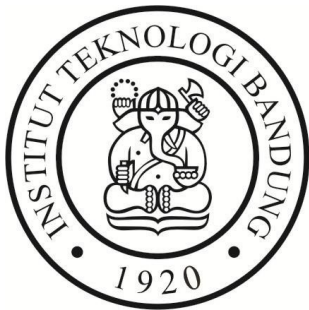


PETUNJUK PRAKTIKUM

**PRAKTIKUM
SISTEM
KOMUNIKASI
EL3216**



**Laboratorium Sistem
Kendali dan Komputer**

**Sekolah Teknik Elektro dan Informatika
Institut Teknologi Bandung**

2024

MODUL PRAKTIKUM SISTEM KOMUNIKASI



LABORATORIUM SISTEM KENDALI DAN KOMPUTER
SEKOLAH TEKNIK ELEKTRO DAN INFORMATIKA
INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG
SEMESTER II TAHUN 2023-2024

Daftar Isi

MODUL 1	2
PERCOBAAN 1 – PENGENALAN ALAT PENGUKURAN NI ELVIS.....	2
PERCOBAAN 2 – PENGENALAN KONTROL <i>SOFT FRONT-PANEL</i>	10
PERCOBAAN 3 – AM DAN DSBSC.....	13
MODUL 2	24
PERCOBAAN 1 – DEMODULASI AM.....	24
PERCOBAAN 2 – MODULASI FREKUENSI.....	34
MODUL 3	45
PERCOBAAN 1 – DEMODULASI FM.....	45
PERCOBAAN 2 – <i>SIGNAL-TO-NOISE RASIO</i> DAN <i>EYE DIAGRAMS</i>	55
MODUL 4	63
PERCOBAAN 1 – <i>SAMPLING</i> DAN REKONSTRUKSI.....	63
PERCOBAAN 2 - <i>PCM ENCODING</i>	77
PERCOBAAN 3 - AMPLITUDE SHIFT KEYING.....	86
MODUL 5	94
PERCOBAAN 1 – MENGHASILKAN FSK (DENGAN METODE <i>SWITCHING</i>) DAN DEMODULASI.....	94
PERCOBAAN 2 - BINARY PHASE SHIFT KEYING.....	101
PERCOBAAN 3 - QUADRATURE PHASE SHIFT KEYING.....	107

Tugas Pendahuluan Modul 1

1. Apa itu NI ELVIS? Jelaskan fungsionalitasnya!
2. Apa fungsi dari multimeter digital (DMM), catu daya (*power supply*), osiloskop, dan generator sinyal (*function generator*) di NI ELVIS?
3. Berikan penjelasan tentang AM dan DSBSC!

Modul 1

Percobaan 1 – Pengenalan Alat Pengukuran NI ELVIS

Diskusi awal

Multimeter digital dan osiloskop adalah dua alat pengukuran yang paling umum digunakan dalam industri elektronika. Hampir seluruh pengukuran yang diperlukan untuk pengujian dan/atau perbaikan sistem elektronik dapat dilakukan hanya menggunakan dua alat ini.

Di saat yang sama, hanya ada sedikit laboratorium elektronika dan *workshop* yang tidak memiliki catu daya DC dan generator sinyal. Selain untuk membangkitkan tegangan uji DC, catu daya DC bisa digunakan untuk memberikan daya ke peralatan yang akan diuji. Generator sinyal digunakan untuk memberikan berbagai jenis sinyal uji AC.

Yang terpenting, NI ELVIS memiliki keempat alat uji tersebut dalam satu unit. Namun, alih-alih memiliki bacaan atau tampilan digitalnya sendiri, NI ELVIS mengirimkan informasinya ke sebuah alat akuisisi data, seperti NI USB-6251 yang akan mengkonversi informasinya ke dalam bentuk digital (jika belum) dan mengirimkan data tersebut melalui USB ke komputer untuk ditampilkan ke layar. Di komputer itu, peralatan NI ELVIS disebut dengan “instrumen virtual”. Hal ini bukan berarti simulasi perangkat lunak. Multimeter digital dan osiloskopnya adalah alat ukur nyata. Hal yang sama juga berlaku, yakni catu daya DC dan generator sinyal akan memunculkan tegangan nyata. Percobaan yang dilakukan di panduan ini akan memanfaatkan keempat alat NI ELVIS dan yang lainnya sehingga menjadi penting untuk anda memahami cara pengoperasiannya.

Percobaan yang Dilakukan

Percobaan ini mengenalkan anda dengan multimeter digital NI ELVIS, catu daya DC keluaran variabel (terdapat dua alat), osiloskop, dan generator sinyal. Penting untuk diingat bahwa penggunaan osiloskop cukup sulit apabila belum terbiasa. Oleh karena itu, di percobaan ini akan diberikan prosedur untuk menyiapkan osiloskop untuk menampilkan sinyal 2kHz 4Vp-p dengan stabil setiap saat.

Peralatan

- Komputer yang sudah terpasang perangkat lunak yang mendukung
- NI ELVIS ditambah dengan kabel penyambungannya
- Unit NI Data Acquisition seperti USB-6251 (atau sebuah osiloskop dua kanal 20MHz)
- Modul eksperimen tambahan Emona DATEX
- Dua kabel penghubung BNC ke kabel *banana* 2mm
- Beberapa macam kabel penghubung *banana* ke *banana*

Prosedur Percobaan

Bagian A – Memulai Percobaan

1. Pastikan bahwa saklar daya di belakang unit NI ELVIS di posisi mati.
2. Pasang secara perlahan modul eksperimen tambahan Emona DATEx ke NI ELVIS.
3. Atur saklar Control Mode pada modul DATEx (pojok kanan atas) ke Manual.
4. Periksa apakah unit NI Data Acquisition dalam keadaan mati.
5. Hubungkan NI ELVIS ke unit NI Data Acquisition dan hubungkan unit ini ke PC.

Catatan: Hal ini mungkin sudah dilakukan oleh asisten praktikum.

6. Ubah posisi saklar daya ke posisi menyala di belakang NI ELVIS dan nyalakan saklar Prototyping Board di depan.
7. Nyalakan PC dan biarkan hingga *boot-up* selesai.
8. Setelah proses *boot* selesai, nyalakan unit NI Data Acquisition (DAQ).

Catatan: Jika semua berjalan dengan baik, PC anda akan memberikan tanda visual atau suara bahwa PC mengenali DAQ. Jika belum, panggil asisten untuk bantuan.

9. Jalankan perangkat lunak NI ELVIS Traditional sesuai arahan asisten.

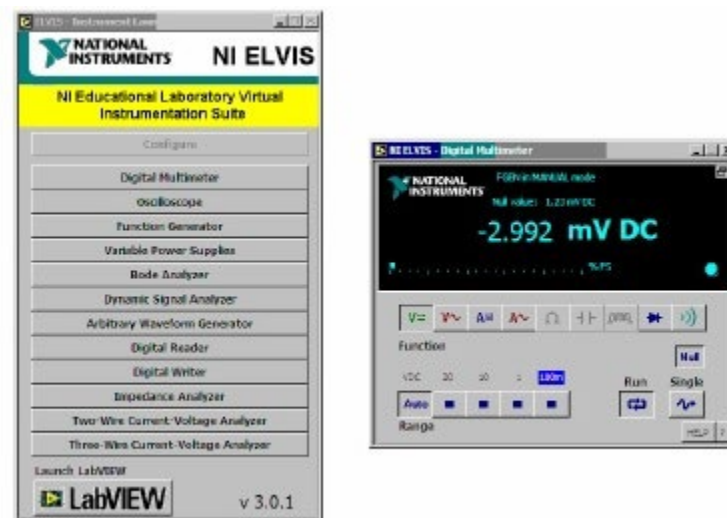
Catatan: Jika perangkat lunak NI ELVIS Traditional sudah berhasil berjalan, tampilan “ELVIS – Instrument Launcher” akan muncul.

Bagian B – Multimeter digital dan catu daya DC NI ELVIS

10. Gunakan *mouse* untuk mengklik tombol “Digital Multimeter” di jendela NI ELVIS – Instrument Launcher

Catatan 1: Abaikan pesan tentang akurasi maksimum dan cukup klik tombol OK.

Catatan 2: Apabila digital multimeter virtual instrument berhasil dijalankan, tampilan di layar anda akan muncul seperti pada Gambar 1 di bawah.



Gambar 1

Digital Multimeter NI ELVIS (DMM) dapat mengukur beberapa besaran listrik berikut: Tegangan DC & AC, arus DC & AC, resistansi, kapasitansi, dan induktansi. Alat ini juga dilengkapi dengan pengujian dioda dan kontinuitas. Opsi-opsi ini dapat dipilih dengan menggunakan kontrol Functions di *virtual instrument*-nya. Memindahkan penunjuk kursor ke opsi-opsi ini akan menunjukkan mode pengukuran apa yang akan digunakan.

11. Cobalah bereksperimen dengan kontrol Functions-nya dengan mengeklik setiap tombol sambil melihat nilai bacaan DMM.

Catatan 1: Perhatikan bahwa terdapat animasi untuk setiap tombol pada *virtual instruments*. Setiap kali anda mengeklik setiap tombol, tampilannya akan berubah seolah-olah seperti ditekan masuk (saat aktivasi) dan keluar (saat dinonaktifkan) secara nyata.

Catatan 2: Saat mengeklik tombolnya, coba dengarkan suara “clicks” yang berasal dari dalam NI ELVIS. Ini adalah suara relay yang dinyalakan sesuai dengan aksi pencetan tombol virtual yang dilakukan.

NI ELVIS DMM memungkinkan anda untuk memilih rentang pengukuran yang akan digunakan secara manual saat melakukan pengukuran. Alternatifnya, rentang ini dapat diubah menjadi otomatis sehingga rentang pengukurannya akan berubah menyesuaikan. Mengubah-ubah pengaturan ini untuk sekarang tidak akan memberikan efek signifikan sehingga akan dicoba nanti. Momen persis *sampling* dilakukan itu diindikasikan dengan kilatan lampu biru di pojok kanan bawah di bacaan *virtual instrument*-nya.

12. Cobalah untuk mengubah-ubah *sampling* DMM dengan menekan tombol *Run* dan *Single* di *virtual instrument* dan amati efeknya di pembacaan.

Selain dapat mengambil pengukuran terhadap nilai nol (seperti multimeter lainnya), NI ELVIS DMM juga dapat mengambil pengukuran terhadap pengukuran sebelumnya. Kontrol *Null* di *virtual instrument* digunakan untuk melakukan tujuan ini, tetapi fungsi ini tidak akan digunakan untuk percobaan saat ini sehingga tidak akan dicoba.

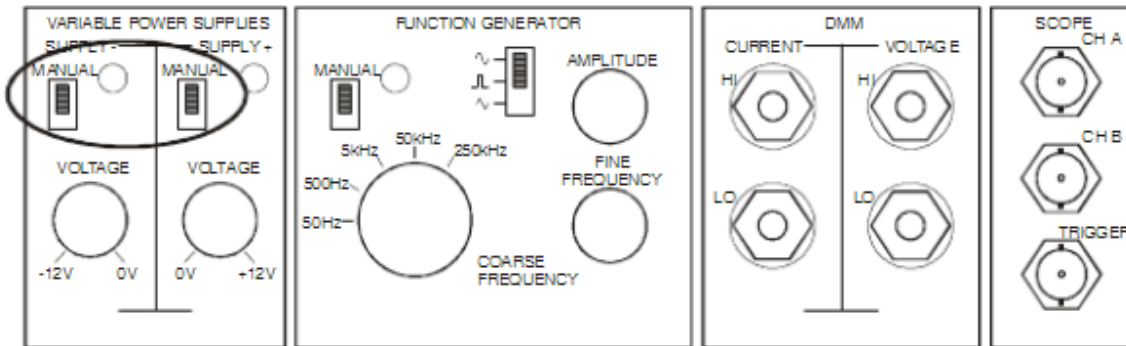
13. Gunakan *virtual instrument* untuk mengatur DMM dengan pengaturan berikut

Function : DC
Voltage Range : Auto
Sampling : Run
Null : Deactivated

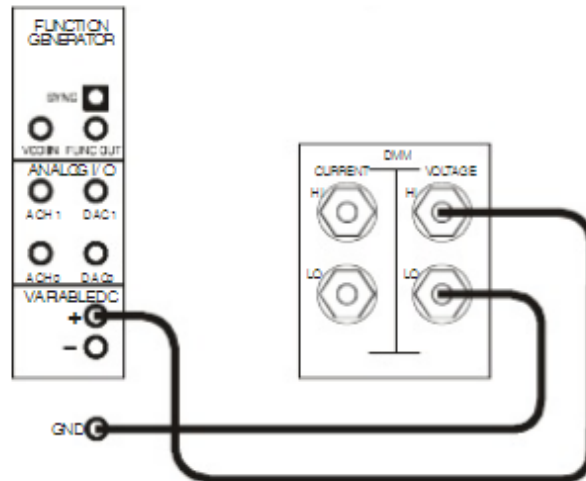
Catatan: Ini adalah setelan yang harus anda gunakan untuk mengukur tegangan DC di setiap percobaan di panduan ini.

14. Temukan NI ELVIS Variable Power Supplies di panel depan unitnya dan atur kedua saklar *Control Mode* ke posisi *Manual* seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2 di bawah.
15. Atur kontrol tegangan Variable Power Supplies ke posisi tengah.
16. Hubungkan rangkaian sesuai dengan Gambar 3 di bawah.

Catatan: Saat melakukannya, anda akan melihat beberapa aktivitas di DMM virtual instrument dan pengukuran yang terbaca akan berubah menjadi sekitar 6V.



Gambar 2



Gambar 3

17. Tentukan nilai minimum dan maksimum tegangan keluaran positif Variable Power Supplies. Catat hasilnya di Tabel 1 di bawah ini.
18. Hubungkan DMM ke keluaran negatif Variable Power Supplies dan ulangi langkah sebelumnya.

Tabel 1

	Minimum output voltage	Maximum output voltage
Positive (+) output		
Negative (-) output		

19. Variasikan tegangan keluaran Variable Power Supplies’ sambil membaca pengaturan *Range* di NI ELVIS DMM’s *virtual instrument*.

Catatan: Hasil yang seharusnya teramati adalah pengaturan *Range* akan berubah secara otomatis.

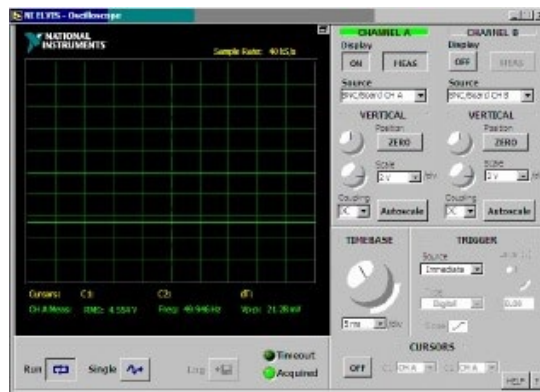
20. Cobalah untuk mengubah-ubah kontrol *Range* dengan menekan setiap tombol yang ada sambil melihat bacaan DMM.

Bagian C – Osiloskop NI ELVIS

21. Tutup jendela DMM *virtual instrument*.

22. Tekan tombol “Oscilloscope” di jendela NI ELVIS – Instrument Launcher.

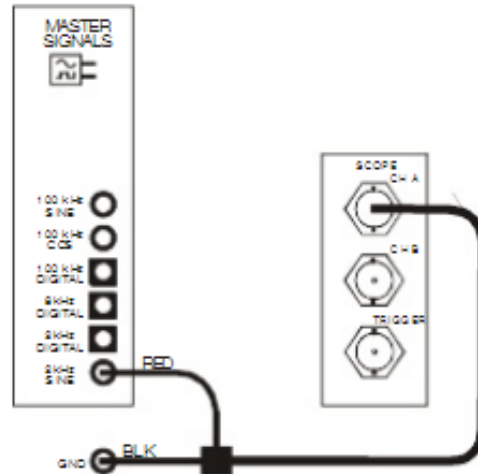
Catatan: Jika jendela *virtual instrument* osiloskop sudah berhasil diluncurkan, tampilannya akan terlihat seperti pada Gambar 4 di bawah.



Gambar 4

Osiloskop NI ELVIS adalah osiloskop dua kanal yang sepenuhnya fungsional yang dikendalikan dengan menggunakan *virtual instrument* yang sudah muncul di layar.

23. Hubungkan rangkaian seperti pada Gambar 5 di bawah.



Gambar 5

Catatan: Perhatikan bahwa koneksi dengan output Master Signals 2kHz SINE harus dihubungkan dengan plug banana berwarna merah. Plug banana hitam harus dihubungkan ke soket ground (GND) di modul DATEx.

24. Cobalah untuk mengoperasikan osiloskopnya dengan mengatur beberapa kontrol di *virtual instrument*.

Catatan 1: Seperti pada NI ELVIS DMM, tombol yang ada di *virtual instrument* ini juga disertai dengan animasi.

Catatan 2: Beberapa tombol yang ada tidak selalu tampak ditekan ketika melepas tombol mouse. Ini adalah kontrol sementara seperti tombol untuk memanggil lift yang tidak perlu ditekan lama.

Catatan 3: Kontrol putar atau knob dapat diputar dengan menggerakkan penunjuk mouse ke kontrolnya, kemudian menekan dan menahan tombol kiri mouse, lalu menggerakkan mouse.

Prosedur untuk menyiapkan NI ELVIS Oscilloscope

25. Ikuti prosedur di bawah. Mintalah bantuan ke asisten apabila tidak dapat menemukan pengaturan yang dibutuhkan.

Catatan: Beberapa pengaturan yang tertera di bawah ini adalah setelan bawaan. Akan tetapi, periksalah tetap periksa pengaturan tersebut untuk memastikan sudah sama.

Umum

- Atur kontrol *Sampling* ke *Run*.
- Atur kontrol *Marker* ke posisi *Off*.

Vertikal

- Tetap nyalakan Kanal A, tetapi matikan Kanal B (untuk sekarang) dengan menekan tombol ON/OFF *Display*.
- Atur kontrol *Source* Kanal A ke posisi *BNC/Board CH A* dan atur kontrol *Source* Kanal B ke posisi *BNC/Board CH B*.
- Atur kontrol *Position* untuk kedua kanal ke posisi tengah dengan menekan tombol *Zero*.
- Atur kontrol *Scale* untuk kedua ke posisi *1V/div*.
- Atur kontrol *Coupling* untuk kedua kanal ke posisi *AC*.

Horizontal

- Atur kontrol *Timebase* ke posisi *500μs/div*.

Trigger

- Atur kontrol *Source* ke posisi *CH A*.
- Atur kontrol *Level* ke posisi tengah.
- Atur kontrol *Slope* ke posisi \int .

26. Gambarkan bentuk sinyal yang muncul di BCL.

27. Jika belum diaktifkan, nyalakan fitur pengukuran osiloskopnya dengan menekan tombol *Meas* Kanal A.

Catatan: Saat sudah menekan tombolnya, hasil pengukuran tegangan RMS, frekuensi, dan tegangan peak-to-peak sinyal akan ditampilkan dengan warna yang sama dengan warna sinyalnya.

28. Catat hasil pengukuran tegangan dan frekuensi sinyal di Tabel 2.

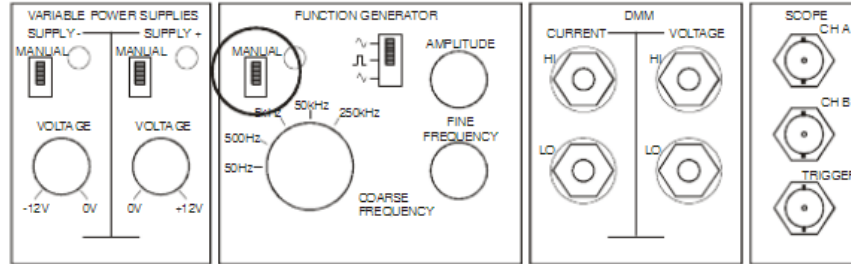
29. Gunakan nilai frekuensi sinyal itu untuk menghitung periodenya.

Tabel 2

RMS voltage	
Frequency	
Pk-Pk voltage	
Period	

Bagian D – Generator sinyal NI ELVIS

30. Temukan posisi NI ELVIS Function Generator di panel depan unitnya dan ubah saklar *Control Mode* ke posisi *Manual* seperti yang ditunjukkan Gambar 6 di bawah.



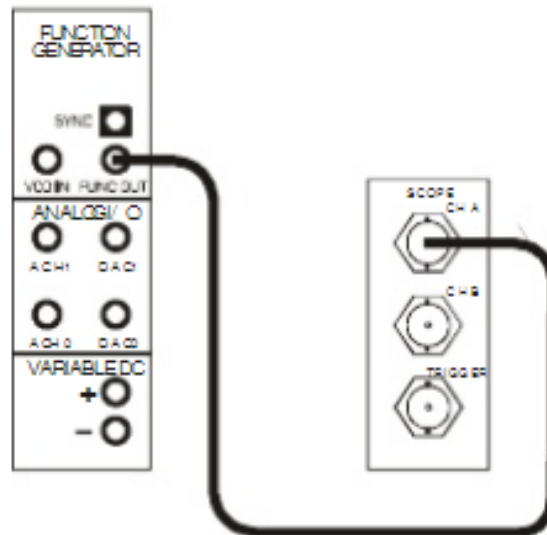
Gambar 6

31. Atur kontrol Function Generator's lainnya seperti berikut:

- *Coarse Frequency* ke posisi 5kHz
- *Fine Frequency* ke posisi tengah
- *Amplitude* ke posisi tengah
- *Waveshape* ke posisi *sinewave*

32. Hubungkan rangkaian seperti pada Gambar 7 di bawah.

Catatan: Ingat, output Function Generator harus dihubungkan dengan kabel banana merah.



Gambar 7

33. Variasikan kontrol Function Generator yang tertera di Langkah 30 dan amati efeknya ke sinyal yang ditampilkan di osiloskop.
34. Kembalikan kontrol Function Generator kembali seperti di Langkah 30.
35. Atur Function Generator untuk mendapatkan tegangan keluaran *peak-to-peak* minimum.
36. Ukur nilai tegangan keluaran ini dan catat hasilnya di Tabel 3.
37. Gambarkan bentuk sinyal untuk keluaran *peak-to-peak* minimum ini di BCL.

Tabel 3

Minimum output V	
Maximum output V	

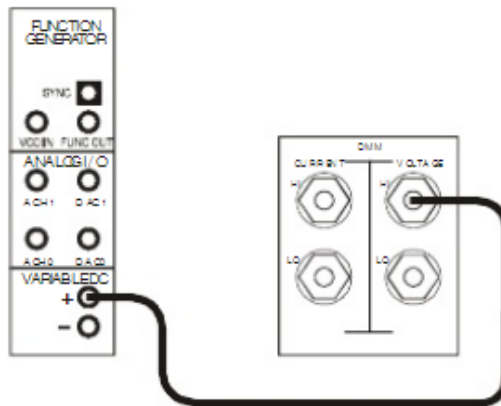
38. Atur Function Generator untuk mendapatkan tegangan keluaran *peak-to-peak* maksimum dan ulangi Langkah 36.
39. Gambarkan bentuk sinyal untuk keluaran *peak-to-peak* maksimum ini di BCL.

Percobaan 2 – Pengenalan Kontrol *soft front-panel*

Prosedur Percobaan

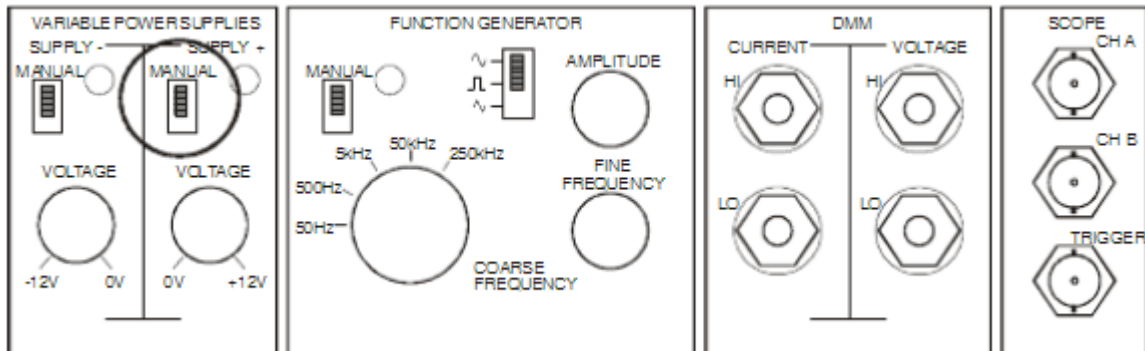
Bagian A – Soft control NI ELVIS Variable Power Supplies dan Function Generator

1. Hubungkan rangkaian seperti pada Gambar 8 di bawah.



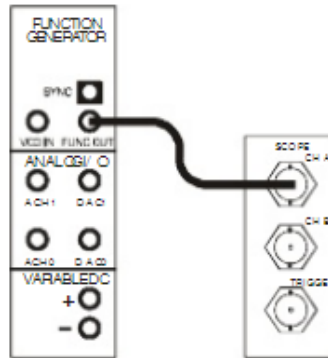
Gambar 8

2. Jalankan NI ELVIS DMM virtual instrument (VI).
3. Jalankan NI ELVIS Variable Power Supplies VI.
4. Geser saklar keluaran positif Variable Power Supplies *Control Mode Manual* ke posisi OFF.



Gambar 9

5. Variasikan keluaran positif Variable DC menggunakan *mouse* untuk mengatur kontrol tegangan Variable Power Supplies VI's.
6. Hubungkan DMM ke keluaran negatif Variable DC.
7. Ulangi Langkah 4 dan 5 untuk mengubah keluaran negatif Variable DC.
8. Tutup jendela Variable Power Supplies dan DMM VI.
9. Jalankan NI ELVIS Function Generator VI.
10. Geser saklar *Control Mode Manual* Function Generator ke posisi OFF.
11. Tekan kontrol *ON/OFF* Function Generator VI untuk menyalakannya.
12. Atur Function Generator menggunakan VI (atau kontrol "soft") untuk spesifikasi sinyal output seperti berikut:
 - Waveshape : Triangular
 - Frequency : 2.5kHz
 - Amplitude : 4Vp-p (which is 2Vp on the VI)
 - DC Offset : 0V
13. Hubungkan rangkaian seperti Gambar 10 di bawah.



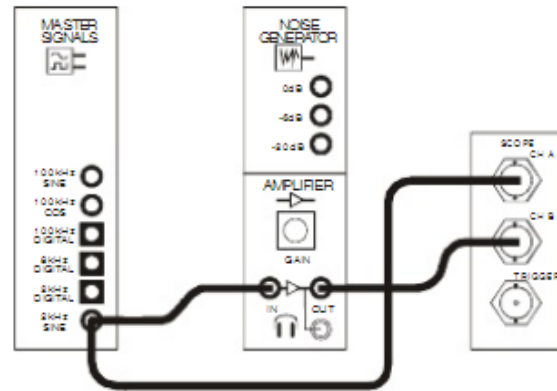
Gambar 10

14. Jalankan NI ELVIS Oscilloscope VI.
15. Atur osiloskopnya dengan pengaturan yang sama seperti pada Percobaan 1 dengan memastikan bahwa kontrol Trigger Source-nya diubah ke CH A.
16. Gunakan fitur pengukuran osiloskop untuk memeriksa apakah keluaran generator sinyal sudah sesuai dengan spesifikasi.
17. Gambarkan bentuk sinyal yang tampak pada tampilan osiloskop di BCL.

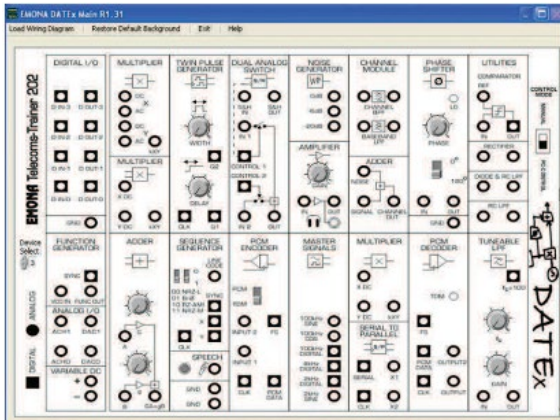
Bagian B – Soft control untuk Emona DATEx

18. Tutup jendela Function Generator VI.
19. Hubungkan rangkaian seperti pada Gambar 11.

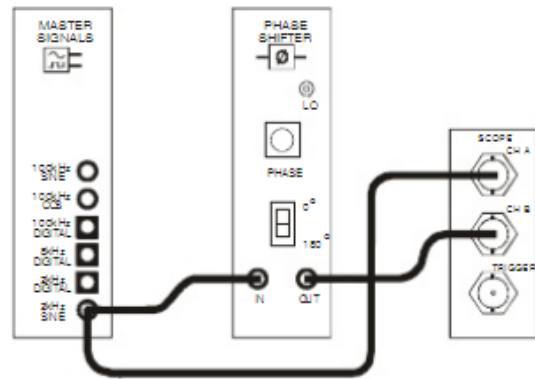
Gambar 11



20. Atur kontrol *Timebase* untuk menampilkan kira-kira sebanyak dua periode sinyal keluaran 2kHz SINE dari modul Master Signals.
21. Aktifkan input osiloskop kanal B dengan menekan tombol *ON/OFF Display control*.
22. Pastikan modul Amplifier beroperasi dengan memvariasikan kontrol *Gain*-nya secara langsung di modul DATEx-nya.
23. Jalankan DATEx soft front-panel (SFP) sehingga akan muncul tampilan seperti pada Gambar 12.
24. Ubak saklar *Control Mode* modul DATEx (pojok kanan atas) ke posisi *PC Control*.
25. Variasikan kontrol *soft G* modul Amplifier menggunakan DATEx SFP dan *mouse*.
26. Gunakan kontrol *soft G* modul Amplifier untuk mengubah *gain* tegangan sehingga outputnya kira-kira menjadi 2 kali lebih besar.
27. Gambarkan sinyal input dan output yang muncul pada tampilan osiloskop di BCL.
28. Hubungkan rangkaian seperti pada Gambar 13 di bawah.
29. Cobalah untuk mengubah-ubah kedua pengaturan kontrol *soft* di modul Phase Shifter sambil mengamati sinyal input dan outputnya di tampilan osiloskop.
30. Atur modul Phase Shifter untuk mendapatkan sinyal output dengan pergeseran fasa mendekati 180°.
31. Ulangi Langkah 27 setelah melakukan modifikasi pada rangkaiannya.



Gambar 12

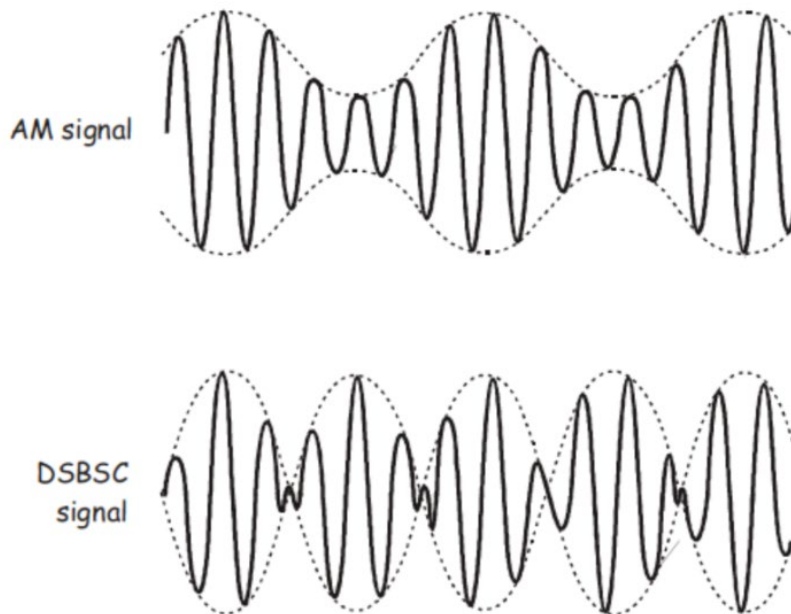


Gambar 13

Percobaan 3 – AM dan DSBSC

Diskusi Awal

Gambar 14 di bawah ini menunjukkan sinyal AM dan DSBSC yang akan dihasilkan dengan input yang sama (misalnya, sinyal sinusoidal 1 kHz untuk sinyal pesan dan sinyal sinusoidal 100 kHz untuk sinyal pembawanya).



Gambar 14

Kedua sinyal ini tampak berbeda karena masing-masing memuat dua sinyal sinusoidal yang berbeda. Maksudnya adalah, keduanya memiliki komposisi spektrum yang berbeda. Alasannya bisa dijelaskan

dengan melihat model matematika untuk AM dan DSBSC. Jika dibandingkan secara berdampingan, persamaan untuk AM dan DSBSC sedikit berbeda.

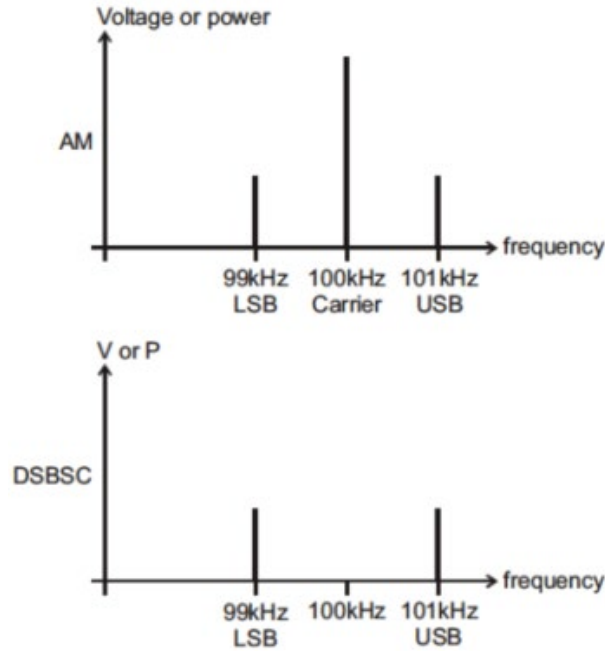
$$\text{AM} = (\text{DC} + \text{pesan}) \times \text{pembawa} \quad \text{DSBSC} = \text{pesan} \times \text{pembawa}$$

Dan juga, ketika persamaan di atas diselesaikan untuk input di atas, kita dapatkan bahwa sinyal AM dan DSBSC terdiri dari:

AM	DSBSC	Deskripsi
100kHz	-	Sinyal sinusoidal pada frekuensi sinyal pembawa
101kHz	101kHz	Sinyal sinusoidal dengan frekuensi yang sama dengan penjumlahan frekuensi sinyal pesan dan pembawa (<i>upper sideband</i> atau USB)
99kHz	99kHz	Sinyal sinusoidal dengan frekuensi yang sama dengan selisih frekuensi sinyal pesan dan pembawa (<i>lower sideband</i> atau LSB)

Seperti yang anda lihat, sinyal AM mengandung sinyal pembawa sementara sinyal DSBSC tidak. Bila kita perhatikan lagi, tampilan osiloskop sebenarnya adalah grafik waktu (di sumbu-X) terhadap tegangan (di sumbu-Y). Grafik yang diplot dengan cara ini dikatakan sebagai grafik domain waktu.

Cara lain untuk merepresentasikan sinyal seperti AM dan DSBSC adalah dengan menggambarkan seluruh sinyal sinusoidal yang terkandung di dalamnya dengan sumbu-X yang digunakan bukan untuk mewakili waktu, melainkan frekuensi. Dengan kata lain, grafik ini digambarkan dalam domain frekuensi. Ketika sinyal AM and DSBSC di Gambar 14 digambarkan dengan cara ini, kita akan mendapatkan grafik seperti pada Gambar 15 di bawah.



Gambar 15

Representasi domain frekuensi dari sinyal yang kompleks sangat berguna untuk melihat komposisi spektrumnya. Representasi ini memberikan anda sebuah alat untuk memvisualisasikan sinyal sinusoidal apa saja yang menyusun sinyal kompleks itu. Visualisasi ini juga dapat membantu anda untuk melihat seberapa banyak spektrum yang ditempati oleh sinyal ini. Istilah ini disebut dengan *bandwidth* sinyal yang merupakan isu penting dalam dunia komunikasi dan telekomunikasi.

Bandwidth dari sinyal AM dan DSBSC dapat dihitung dengan dua cara. Grafik domain frekuensi di gambar bawah pada Gambar 15 menunjukkan bahwa sinyal ini menempati sebagian spektrumnya dari *lower sideband* ke *upper sideband*. Maka dari itu, *bandwidth*-nya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$BW = USB - LSB$$

Dengan persamaan ini, kita mendapatkan *bandwidth* untuk kedua sinyal AM dan DSBSC adalah 2kHz. Untuk kasus sinyal dengan *sideband* yang memuat lebih dari satu sinusoidal, persamaan ini harus diselesaikan dengan frekuensi tertinggi di USB dan frekuensi terendah di LSB.

Sekarang, bandingkan *bandwidth* sinyal di Gambar 15 dengan sinyal asli yang digunakan untuk membentuk sinyal tersebut (yakni, sinyal pesan 1kHz dan sinyal pembawa 100kHz). Perhatikan bahwa *bandwidth* keduanya bernilai dua kali frekuensi sinyal pesannya. Hasil pengamatan inilah yang memberikan kita persamaan kedua untuk menghitung *bandwidth*:

$$BW = 2f_m, \text{ dengan } f_m = \text{frekuensi sinyal pesan}$$

Di situasi yang melibatkan lebih dari satu sinyal sinusoidal, nilai *bandwidth* ini dapat dihitung dengan menggunakan frekuensi tertinggi pada sinyal pesannya.

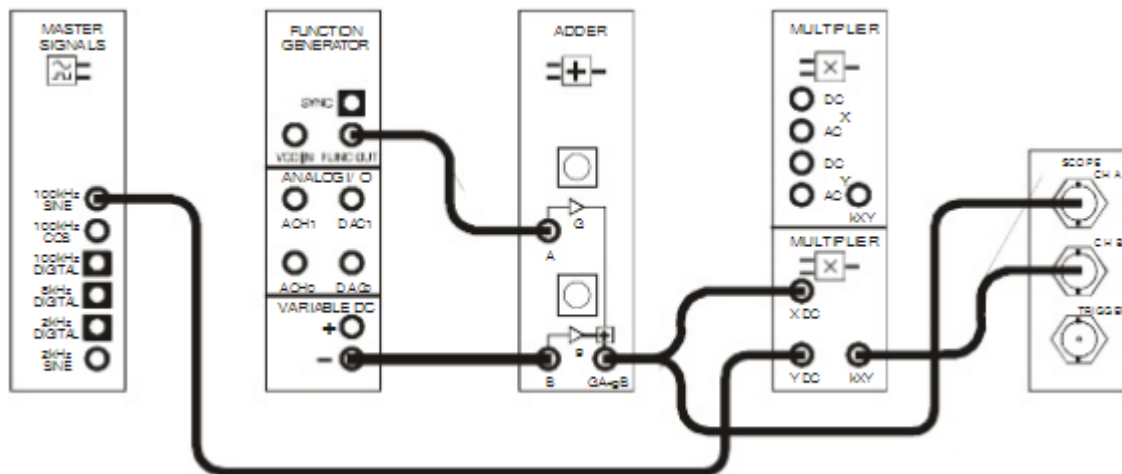
Percobaan yang Dilakukan

Untuk percobaan ini, anda akan menggunakan Emona DATEx untuk membangkitkan sinyal AM dan DSBC nyata untuk kemudian dianalisis komponen spektrum sinyalnya menggunakan NI ELVIS Dynamic Signal Analyzer.

Prosedur Percobaan

Bagian A – Membangkitkan sinyal AM dengan menggunakan sinyal pesan sederhana

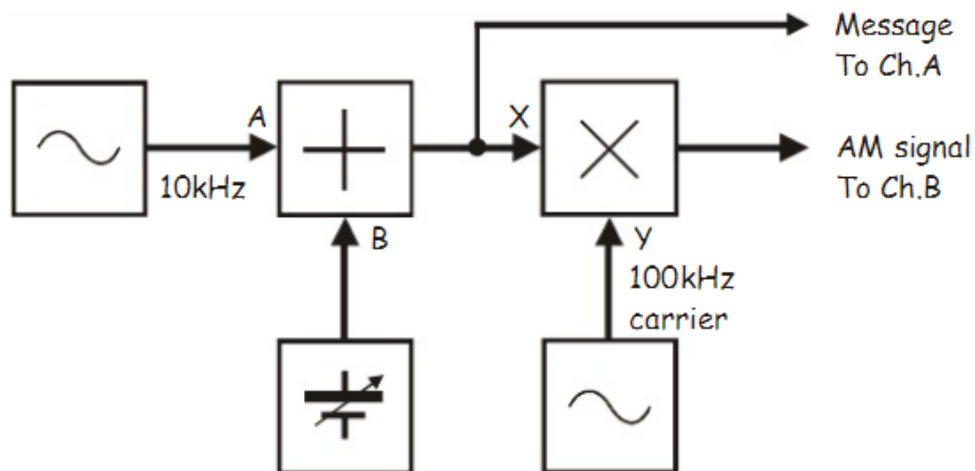
1. Jalankan perangkat lunak NI ELVIS.
2. Jalankan DATEx soft front-panel (SFP).
3. Periksa apakah anda sudah dapat mengontrol modul DATEx dengan mengaktifkan kontrol PDM/TDM di modul PCM Encoder pada DATEx SFP.
4. Geser saklar *Control Mode Manual* di output negatif NI ELVIS Variable Power Supplies ke posisi OFF.
5. Jalankan Variable Power Supplies VI.
6. Putar kontrol *soft Voltage* output negatif Variable Power Supplies ke posisi tengah.
7. Anda tidak perlu mengatur lagi Variable Power Supplies VI sehingga cukup *minimize* jendelanya (jangan ditutup karena akan menghentikan kontrol VI ke alatnya).
8. Temukan modul Adder di DATEx SFP dan putar penuh kontrol *soft G* dan *g* berlawanan jarum jam.
9. Jalankan NI ELVIS DMM VI.
10. Setel DMM untuk mengukur tegangan DC.
11. Hubungkan rangkaian seperti pada Gambar 16 di bawah.



Gambar 16

12. Atur modul kontrol *soft g* di modul Adder untuk memperoleh tegangan DC 1 V di output Adder. Pastikan nilainya sudah sesuai dengan mengukur tegangan tersebut menggunakan DMM.
13. Tutup DMM VI – anda tidak perlu menggunakannya lagi (kecuali kontrol *soft g*-nya tidak sengaja berubah).
14. Jalankan Function Generator VI.
15. Atur generator sinyal dengan menggunakan *soft controls* sehingga dapat mengoutput sinyal dengan spesifikasi berikut:
 - Waveshape: Sine
 - Frequency: 10 kHz
 - Amplitude: 4Vpp
 - DC Offset: 0V
16. Jalankan NI ELVIS Oscilloscope VI dan setel osiloskopnya
 - Kontrol Coupling Kanal A ke posisi DC
 - Kontrol Scale Kanal A ke posisi 50mV/div
 - Kontrol Timebase ke posisi 50µs/div
17. Sambil memperhatikan output modul Adder di osiloskop, putar kontrol *soft G*-nya searah jarum jam untuk memperoleh sinyal sinusoidal 1Vp-p.
18. Atur kontrol *Timebase* untuk menampilkan kira-kira sebanyak dua periode sinyal pesannya.
19. Aktifkan input Kanal B osiloskop untuk menampilkan output modul Multiplier dan sinyal pesannya.
20. Gunakan kendali posisi Kanal A osiloskop untuk melapisi sinyal pesan dengan selubung atas dan bawah sinyal AM sehingga kedua sinyal bisa dibandingkan.

Pengesetan ini dapat direpresentasikan dengan diagram blok seperti pada Gambar 17 di bawah. Pengesetan ini mengimplementasikan persamaan AM = (1 VDC + 1 Vp-p 10 kHz sinusoidal) x 4Vp-p 100kHz sinusoidal.



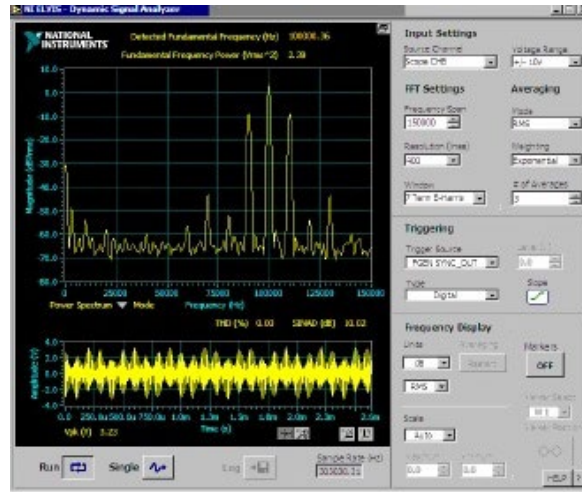
Gambar 17

Pertanyaan 1: Untuk input modul Multiplier yang diberikan, berapakah frekuensi sinyal sinusoid di outputnya?

Pertanyaan 2: Gunakan informasi ini untuk menghitung bandwidth sinyal AM.

Bagian B – Menyiapkan NI ELVIS Dynamic Signal Analyzer (DSA)

21. Tutup jendela VI osiloskop.
22. Jalankan NI ELVIS Dynamic Signal Analyzer VI.



Gambar 18

23. Atur kontrol Signal Analyzer seperti berikut:

Umum

- Sampling ke Run

Averaging

- Mode ke RMS
- Weighting ke Exponential # Averages ke 3

Pengaturan Input

- Source Channel ke Osiloskop CHB
- Voltage Range ke $\pm 10V$

Triggering

- Triggering ke FGEN SYNC_OUT

Pengaturan FFT

- Frequency Span ke 150,000
- Resolution ke 400
- Window ke 7 Term B-Harris

Tampilan Frequency

- Units ke dB
- RMS/Peak ke RMS
- Scale ke Auto
- Markers ke OFF (untuk sekarang)

24. Gambarkan grafik yang muncul pada tampilan Signal Analyzer di BCL.

Catatan: Jika Signal Analyzer VI sudah diatur dengan benar, tampilannya akan terlihat seperti Gambar 18 di atas

Diperlukan sedikit penjelasan mengenai tampilan pada Signal Analyzer. Terdapat dua buah tampilan, tampilan besar di atas dan yang lebih kecil di bawah. Tampilan yang kecil merepresentasikan sinyal input dalam domain waktu (dengan kata lain, tampilan ini merupakan osiloskop). Perhatikan bahwa tampilan ini menunjukkan sinyal AM yang sudah dibuat sebelumnya.

Tampilan yang lebih besar merupakan representasi domain frekuensi dari sinyal input. Perhatikan bahwa bentuknya cukup mirip dengan grafik domain frekuensi untuk sinyal AM pada Gambar 15 (pada bagian diskusi awal). Tampilan Signal Analyzer tidak memiliki garis lurus tajam untuk setiap sinusoidal yang terdapat pada sinyalnya karena implementasi praktik FFT tidak sepresisi ekspektasi teoritisnya.

Bagian C – Analisis spektrum sinyal AM

Bagian selanjutnya dari percobaan ini dilakukan untuk menganalisis representasi domain frekuensi sinyal AM untuk melihat apakah komponen frekuensi sinyal ini sesuai dengan perhitungan matematis pada Pertanyaan 1 dan 2.

25. Aktifkan penanda di Signal Analyzer dengan menekan tombol Markers.
26. Gunakan *mouse* secara perlahan untuk memindahkan dan menggerakkan penanda M1.
27. Ulangi Langkah 25 untuk penanda M2.
28. Gerakkan kedua penanda tersebut sambil mengamati bacaan pengukuran untuk melihat efeknya.
29. Posisikan kedua penanda itu sehingga saling bertumpuk dan catat nilai bacaannya.
30. Pindahkan M1 ke bagian paling kiri tampilan.
31. Posisikan M2 ke titik tertinggi *lower sideband* sinyal AM-nya.
32. Ukur frekuensi gelombang sinusoidalnya dan catat hasilnya di Tabel 4.
33. Posisikan M2 ke titik tertinggi sinyal pembawa untuk sinyal AM ini dan ulangi Langkah 31.
34. Posisikan M2 ke titik tertinggi *upper sideband* sinyal AM ini dan ulangi Langkah 31.
35. Posisikan M1 ke titik tertinggi *lower sideband* sinyal AM dan ukur *bandwidth* sinyal AM-nya. Catat hasilnya pada Tabel 4.

Tabel 4

LSB frequency	
Carrier frequency	
USB frequency	
Bandwidth	

Pertanyaan 3: Bagaimana perbandingan nilai pada Tabel 4 dengan hasil teoritis (lihat Pertanyaan 1 dan 2)? Jelaskan perbedaannya!

Sebagai catatan, saat ini besar sinyal *sideband* tampak sama besarnya dengan sinyal pembawanya. Akan tetapi, hal yang sebenarnya terjadi bukan demikian karena sumbu vertikal yang digunakan adalah logaritmik (yakni, tidak linier). Sinyal *sidebands* sebenarnya memiliki ukuran yang lebih kecil dibandingkan dengan sinyal pembawa. Hal ini dapat dibuktikan dengan cara berikut:

36. Ubah kontrol Signal Analyzer's Units ke *Linear*.
37. Perhatikan ukuran relatif gelombang sinusoidal di sinyalnya.
38. Kembalikan kontrol Signal Analyzer's Units ke dB.
39. Besarkan kembali Function Generator's VI dan naikan frekuensi outputnya ke 20kHz.
40. Gambarkan bentuk sinyal yang muncul di Signal Analyzer pada BCL.
41. Gunakan dua penanda pada Signal Analyzer untuk menentukan *bandwidth* baru untuk sinyal AM ini. Catat hasilnya di Tabel 5 di bawah ini.
42. Naikkan lagi frekuensi output Function Generator's menjadi 30kHz.
43. Ulangi Langkah 40 setelah perubahan ini.
44. Ulangi Langkah 41 untuk menentukan dan mencatat *bandwidth* baru untuk sinyal AM ini.

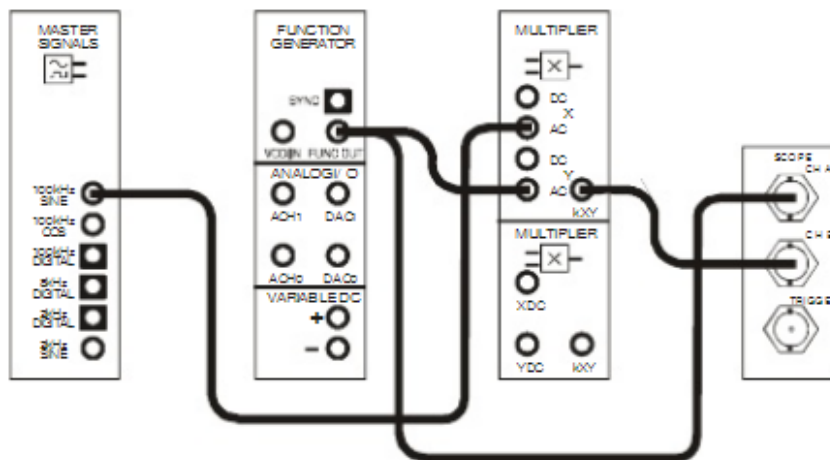
Tabel 5

Bandwidth for $f_m = 20\text{kHz}$	
Bandwidth for $f_m = 30\text{kHz}$	

Pertanyaan 4: Apa hubungan antara frekuensi sinyal pesan dengan bandwidth sinyal AM-nya?

Bagian D – Menyiapkan modulator DSBSC

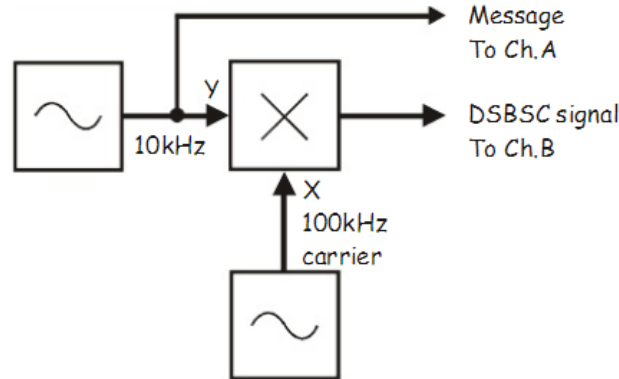
45. Bongkar rangkaian yang sudah ada dan tutup jendela Signal Analyzer VI.
46. Tampilkan kembali Function Generator VI dan ubah frekuensi outputnya menjadi 10kHz.
47. Ubah output Function Generator output ke 1Vp-p.
48. Hubungkan rangkaian seperti pada Gambar 19 di bawah.



Gambar 19

Rangkaian ini dapat direpresentasikan dengan diagram blok pada Gambar 20. Diagram ini mengimplementasikan persamaan:

$$\text{DSBSC} = 1\text{Vp-p } 10\text{kHz sinusoidal} \times 4\text{Vp-p } 100\text{kHz sinusoidal.}$$



Gambar 20

49. Jalankan NI ELVIS Oscilloscope virtual instrument (VI).
50. Ubah pengaturan osiloskop sesuai dengan prosedur pada Percobaan 1 dengan memastikan bahwa *Trigger Source* control diubah ke Kanal A.
51. Aktifkan Kanal B osiloskop untuk menampilkan sinyal DSBSC yang keluar dari modul Multiplier serta sinyal pesan. (Gunakan Timebase: 50 us)
52. Gambarkan bentuk sinyal yang muncul pada tampilan osiloskop di BCL.

Uji Diri: Osiloskop seharusnya sudah menampilkan sinyal DSBSC dengan sebagian selubung berselang-seling membentuk sinyal pesan dengan ukuran yang sama.

Pertanyaan 5: Untuk kedua input yang diberikan ke modul Multiplier, berapakah frekuensi kedua gelombang sinusoidal di outputnya?

Pertanyaan 6: Gunakan informasi dari Pertanyaan 5 untuk menghitung bandwidth sinyal DSBSC ini.

Bagian E – Analisis Spektrum Sinyal DSBSC

53. Tutup VI osiloskopnya.
54. Jalankan kembali NI ELVIS Dynamic Signal Analyzer VI dan atur kontrolnya sama seperti pada Bagian B untuk percobaan ini.
55. Gambarkan bentuk sinyal yang muncul pada Signal Analyzer di BCL

Anda juga bisa melihat bahwa sinyal DSBSC ini memiliki sinyal pembawa juga. Akan tetapi, meskipun tetap terlihat, sinyal ini sangat kecil dibandingkan dengan sinyal *sideband*-nya (ingat, skala untuk sumbu-Y itu dalam desibel yang merupakan satuan ukur logaritmik). Keterbatasan desain dalam implementasi DSBSC itu berarti akan selalu ada komponen karier yang ada dalam sinyal DSBSC ini. Itulah mengapa sebutan teredam “*suppressed*” untuk penamaan sinyal ini digunakan.

56. Aktifkan penanda pada Signal Analyzer dengan menekan tombol Markers.
57. Posisikan M1 ke *lower sideband* untuk sinyal DSBSC ini.
58. Ukur frekuensi gelombang sinusoidal ini dan catat hasilnya pada Tabel 6 di bawah.
59. Posisikan M1 ke *upper sideband* untuk sinyal DSBSC ini dan ulangi Langkah 53.
60. Gunakan kedua penanda M1 dan M2 untuk menentukan *bandwidth* sinyal DSBSC ini dan catat hasilnya pada Tabel 6 di bawah.

Tabel 6

LSB frequency	
USB frequency	
Bandwidth	

Pertanyaan 7: Bagaimana nilai pengukuran pada Tabel 6 bila dibandingkan dengan nilai teoritis yang sudah didapatkan? (lihat Pertanyaan 9)

Pertanyaan 8: Bandingkan *bandwidth* sinyal DSBSC dengan sinyal AM untuk sinyal pesan 10 kHz (di Tabel 4). Apa yang bisa anda simpulkan terkait kebutuhan *bandwidth* untuk sinyal AM dan DSBSC?

61. Tentukan *bandwidth* sinyal DSBSC untuk dua frekuensi sinyal pesan lainnya (misalnya 20kHz dan 30kHz).

Pertanyaan 9: Apa hubungan antara frekuensi sinyal pesan dengan *bandwidth* sinyal DSBSC?

Tugas Pendahuluan Modul 2

Percobaan 1 – Demodulasi AM

- Pelajari teori tentang demodulasi AM!
- Jawablah pertanyaan ini:
 1. Apa hubungan antara sinyal pesan asli dan sinyal pesan hasil pemulihan?
 2. Menurut anda, apa penyebab distorsi yang terjadi pada sinyal hasil demodulasi?
 3. Mengapa *over-modulation* menyebabkan distorsi?

Percobaan 2 – Modulasi frekuensi (FM)

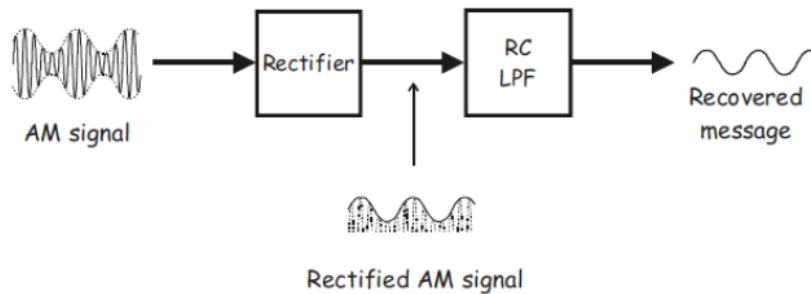
- Pelajari teori tentang modulasi FM!
- Jawablah pertanyaan ini:
 1. Apa yang menyebabkan frekuensi sinyal pembawa berubah-ubah pada modulasi FM?
 2. Hitung *bandwidth* dari sinyal pembawa 50kHz yang dimodulasi AM dengan gelombang sinusoidal 2kHz!
 3. Bagaimana perbandingan antara *bandwidth* dari sinyal FM dengan sinyal AM untuk input yang sama?
 4. Bagaimanakah hubungan antara amplituda sinyal pesan dengan *bandwidth* sinyal FM?

Modul 2

Percobaan 1 – Demodulasi AM

Diskusi awal

Memulihkan pesan asli dari sinyal pembawa yang termodulasi disebut dengan demodulasi yang merupakan tujuan utama *receiver* komunikasi dan telekomunikasi. Rangkaian yang umum digunakan untuk mendemodulasi sinyal AM adalah *envelope detector*. Diagram blok untuk rangkaian *envelope detector* ditunjukkan pada Gambar 2. 1 di bawah.



Gambar 2. 1

Seperti yang tertera di gambar, tahap *rectifier* memangkas sinyal AM menjadi setengah dengan hanya melewati salah satu selubung (dalam kasus ini digunakan selubung atas, tetapi selubung bawah juga dapat digunakan). Sinyal ini kemudian dimasukkan ke RC LPF yang dapat mencatat setiap puncak dari sinyal inputnya. Ketika input RC LPF adalah sinyal AM yang sudah disearahkan (*rectified*), rangkaian ini akan membaca selubung sinyalnya. Karena selubung yang terdapat pada sinyal AM itu memiliki bentuk yang sama seperti sinyal pesan, tegangan output RC LPF juga pasti memiliki bentuk yang sama dengan sinyal pesan aslinya sehingga sinyal AM ini sudah didemodulasi.

Keterbatasan *envelope detector* yang ditunjukkan pada Gambar 2. 1 ini adalah tidak dapat memulihkan sinyal AM yang mengalami *over-modulation* secara akurat. Untuk menjelaskan perihal ini, ingat bahwa ketika sinyal pembawa AM itu mengalami *over-modulation*, selubung sinyal ini tidak akan memiliki bentuk yang sama seperti sinyal pesan aslinya. Yang terjadi adalah sebaliknya, yakni selubungnya ini mengalami distorsi yang berarti *envelope detector* ini akan menghasilkan sinyal pesan yang terdistorsi.

Percobaan yang Dilakukan

Untuk percobaan ini, anda akan menggunakan Emona DATEx untuk membangkitkan sinyal AM dengan mengimplementasikan model matematikanya. Setelah itu anda akan menyiapkan sebuah *envelope detector* dengan menggunakan *rectifier* dan RC LPF di modul Utilities.

Setelah selesai, anda akan menghubungkan sinyal AM ini ke input *envelope detector* sehingga dapat dibandingkan output dari proses demodulasi dengan sinyal pesan aslinya serta dengan selubung sinyal

AM-nya. Anda juga akan mengamati pengaruh yang dihasilkan dari sinyal AM yang *over-modulated* pada output *envelope detector*.

Terakhir, jika masih terdapat waktu, anda akan mendemodulasi sinyal AM menggunakan implementasi perkalian dengan *local carrier* alih-alih dengan *envelope detector*.

Bagian A sampai D untuk percobaan ini akan memakan waktu sekitar 50 menit untuk diselesaikan dan tambahan 20 menit untuk menyelesaikan bagian E.

Peralatan

- Komputer yang sudah terpasang perangkat lunak yang mendukung
- NI ELVIS, NI-DAQ, kabel USB, dan adaptor daya
- Modul eksperimental tambahan Emona DATEx
- Dua kabel penghubung BNC ke kabel *banana* 2mm
- Berbagai macam kabel penghubung *banana* ke *banana*

Prosedur Percobaan

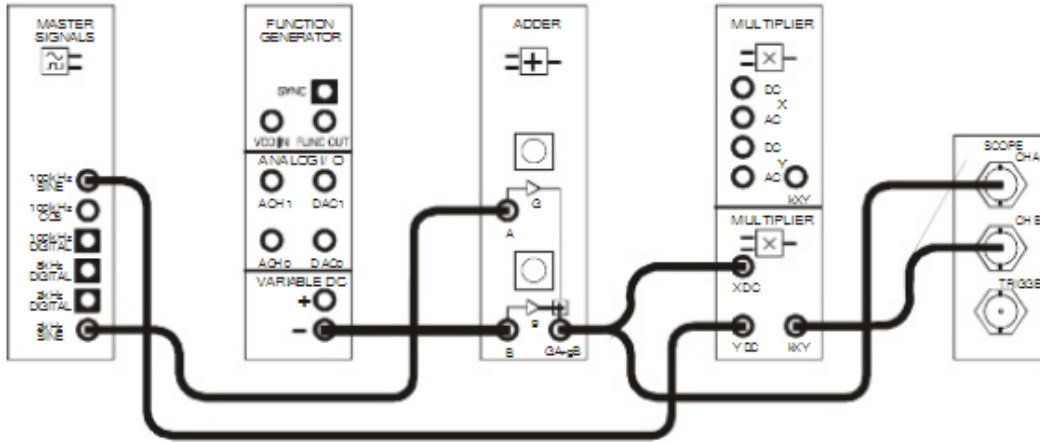
Bagian A – Menyiapkan modulator AM

Untuk mencoba demodulasi AM, anda memerlukan sinyal AM. Bagian pertama percobaan ini akan menuntun anda untuk menyiapkannya.

1. Pastikan bahwa saklar daya di belakang unit NI ELVIS di posisi mati.
2. Colokkan secara perlahan modul eksperimental tambahan Emona DATEx ke NI ELVIS.
3. Atur saklar Control Mode pada modul DATEx (pojok kanan atas) ke PC Control.
4. Hubungkan NI ELVIS ke PC menggunakan kabel USB.

Catatan: Hal ini mungkin sudah dilakukan oleh asisten praktikum.

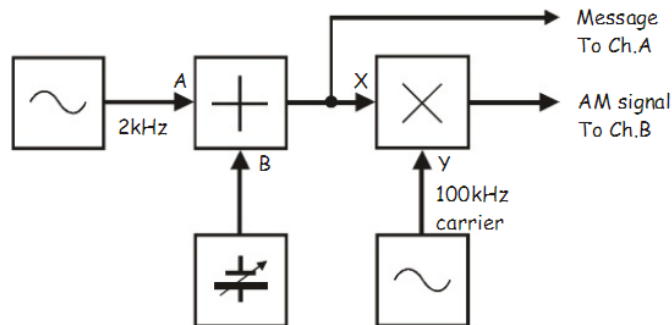
5. Nyalakan saklar daya NI ELVIS dan nyalakan saklar daya Prototyping Board-nya.
6. Jalankan perangkat lunak NI ELVIS Traditional dan jalankan NI ELVIS Variable Power Supplies VI.
7. Atur kontrol tegangan dari output negatif Variable Power Supplies ke posisi tengah lalu *minimize* jendela tampilannya.
8. Jalankan DATEx *soft front-panel* dan periksa apakah anda dapat mengendalikan DATEx *board-nya* dari perangkat lunaknya.
9. Temukan modul Adder di DATEx SFP dan putar penuh berlawanan jarum jam kontrol *soft G* dan *g*.
10. Hubungkan rangkaian seperti pada Gambar 2. 2 di bawah.



Gambar 2. 2

11. Jalankan NI ELVIS DMM VI dan atur DMM VI untuk mengukur tegangan DC.
12. Hubungkan output modul Adder ke input DMM dan atur kontrol *soft g* untuk mendapatkan output tegangan DC 1 V.
13. Tutup DMM VI.
14. Jalankan NI ELVIS Oscilloscope VI.
15. Atur osiloskopnya dengan pengaturan sebagai berikut:
 - Trigger Source : Immediate
 - Channel A Coupling : DC
 - Channel A Scale : 1V/div position
 - Timebase : 100 μ s/div
16. Atur kontrol kontrol *soft G* modul Adder untuk mendapatkan gelombang sinusoidal 1 Vp-p.
17. Atur kontrol Trigger Source ke CH A dan atur kontrol Trigger Level ke 1V di osiloskop.
18. Aktifkan input Kanal B osiloskop untuk menampilkan sinyal pesan dan sinyal pembawa yang sudah termodulasi.
19. Gambarkan bentuk sinyal yang muncul pada tampilan osiloskop di BCL.

Rangkaian pada Gambar 2. 2 dapat direpresentasikan dengan diagram blok pada Gambar 2. 3 di bawah. Rangkaian ini akan membangkitkan sinyal pembawa 100kHz yang termodulasi AM dengan sinyal pesan gelombang sinusoidal 2kHz.

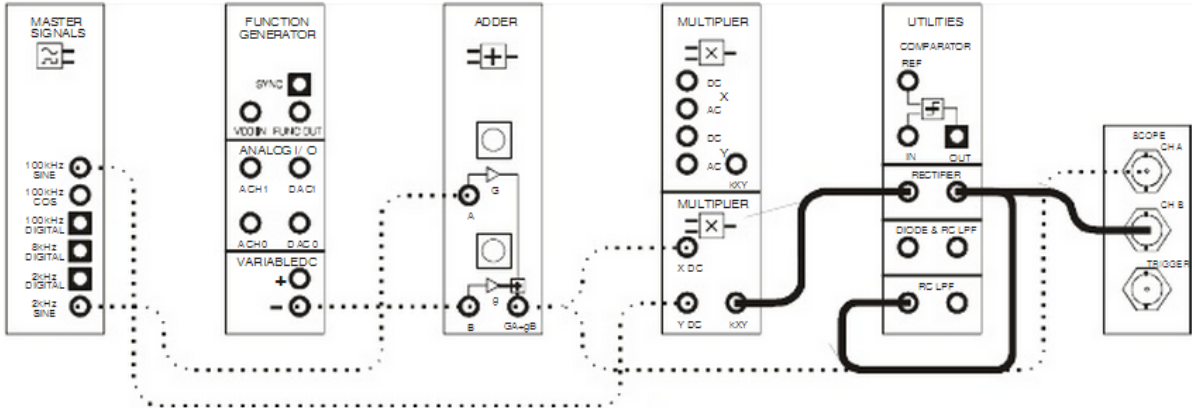


Gambar 2. 3

Bagian B – Memulihkan pesan dengan menggunakan *envelope detector*

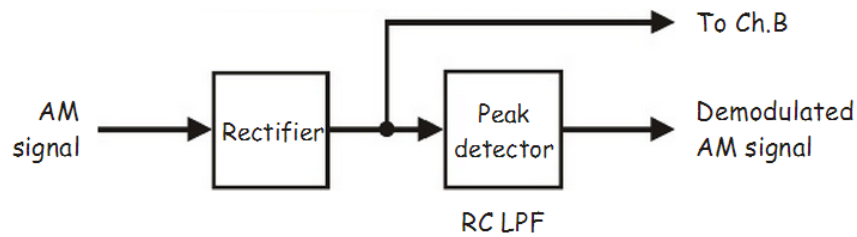
20. Modifikasi rangkaian menjadi seperti pada Gambar 2. 4 di bawah.

Ingat: *Garis putus-putus menunjukkan kabel yang sudah dipasang.*



Gambar 2. 4

Penambahan yang dilakukan ke rangkaian pada Gambar 2. 3 dapat direpresentasikan dengan diagram blok pada Gambar 2.5 di bawah ini.



Gambar 21

21. Atur kontrol *Scale* dan *Timebase* osiloskop untuk menyesuaikan tampilan sehingga dapat menampilkan sinyal.
22. Gambarkan dua gelombang tersebut di BCL.

Tips: *Gambar sinyal pesan di sepertiga atas grafik dan gambar sinyal AM yang sudah disearahkan di sepertiga tengah grafik*

23. Putuskan sambungan input *Kanal B* dari output *Rectifier* dan sambungkan kanal osiloskop dengan output *RC LPF*.
24. Ulangi Langkah 22 setelah melakukan perubahan di atas.

Pertanyaan 1: *Apa hubungan antara sinyal pesan asli dengan sinyal pesan yang dipulihkan?*

Bagian C – Melihat Pengaruh Amplitudo Sinyal Pesan terhadap Sinyal Pesan yang Dipulihkan

25. Variasikan amplitudo sinyal pesan (dengan cara memutar kontrol *soft G* ke kanan dan kiri) sambil mengamati bentuk sinyal yang didemodulasi. Ambil tiga buah posisi *soft G*.

Pertanyaan 2: *Apa hubungan antara amplitudo kedua sinyal pesan tersebut?*

26. Perlahan naikkan amplitudo sinyal pesan hingga tampak sinyal hasil demodulasi mengalami *overmodulation* dan gambarkan kedua sinyal ini di BCL.

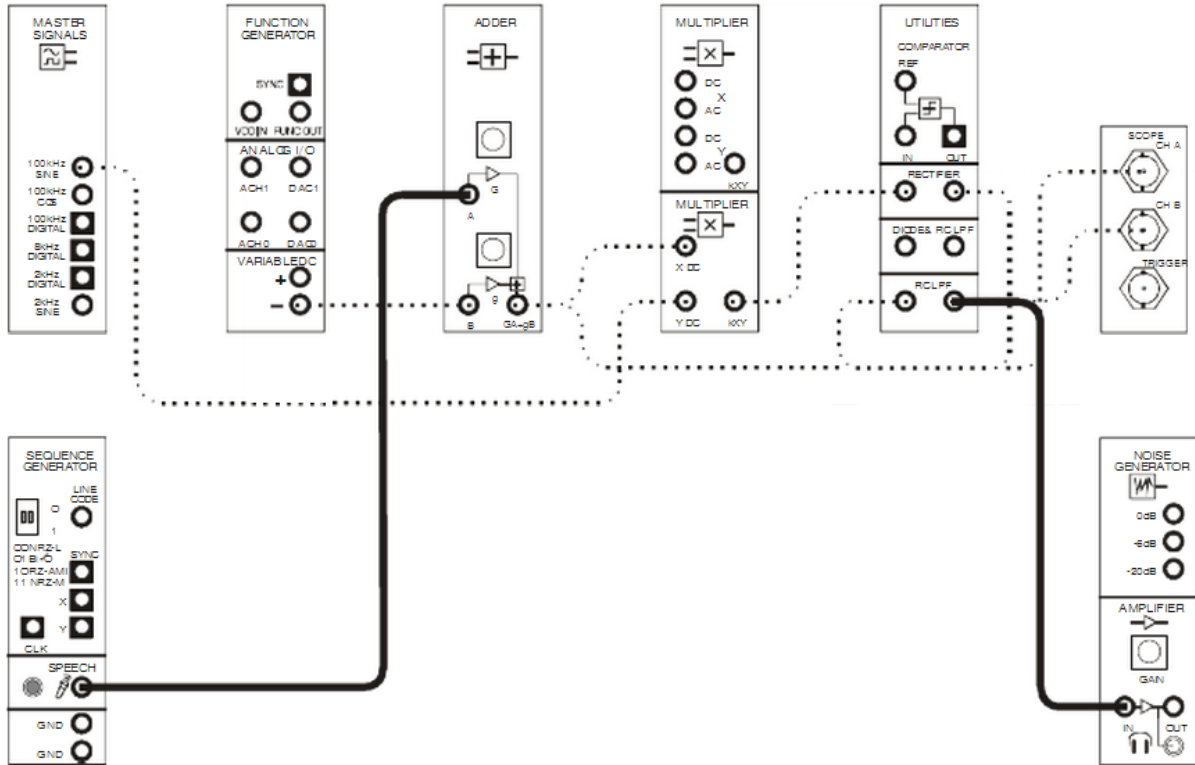
Pertanyaan 3: *Menurut anda apa yang menyebabkan distorsi yang terjadi pada sinyal hasil demodulasi?*

Pertanyaan 4: *Mengapa sinyal yang ter-over-modulated menyebabkan distorsi?*

Bagian D – Mentransmisikan dan Memulihkan Suara dengan AM

Di percobaan ini telah disiapkan sebuah sistem komunikasi AM untuk mentransmisikan pesan berupa gelombang sinusoid 2kHz. Bagian selanjutnya dari percobaan ini akan mempersiapkan anda untuk memodulasi, mentransmisi, mendemodulasi, dan mendengarkan pesan suara.

27. Hubungkan input Kanal A ke output modul Adder.
28. Atur amplitudo sinyal pesan menjadi 1Vp-p (dengan mengatur kontrol *soft G* pada modul Adder).
29. Modifikasi rangkaian seperti pada Gambar 2. 5 di bawah.



Gambar 2. 5

30. Atur kontrol *Timebase* osiloskop ke posisi 2ms/div.
31. Putar penuh kontrol *soft G* pada modul Amplifier berlawanan jarum jam.
32. Tanpa digunakan terlebih dahulu *headphone*-nya, colok kabelnya ke soket *headphone* modul Amplifier.
33. Kenakan *headphone*.
34. Sembari melakukan langkah selanjutnya, atur kontrol *soft G* pada modul Amplifier ke tingkat suara yang nyaman.
35. Cobalah untuk mendengar dan berbicara ke *microphone* sambil melihat tampilan osiloskop dan mendengar *headphones*-nya.
36. Gambarkan kedua bentuk sinyal yang muncul di osiloskop.

Bagian E – Matematika Demodulasi AM

Demodulasi AM dapat dijelaskan secara matematis karena proses ini menggunakan perkalian untuk menghasilkan pesan aslinya. Untuk menjelaskan ini, ingat bahwa dua buah gelombang sinusoidal yang dikalikan (proses matematisnya tidak akan ditunjukkan di sini) akan menghasilkan dua buah gelombang sinusoidal baru:

- Satu sinyal dengan frekuensi sama dengan jumlah frekuensi kedua sinyal
- Satu sinyal dengan frekuensi sama dengan selisih frekuensi kedua sinyal

Envelope detector dapat digunakan untuk mendemodulasi sinyal AM karena *rectifier* adalah sebuah alat yang dapat mengalikan semua sinyal di inputnya dengan satu sama lain. Umumnya, proses ini adalah efek samping yang tidak diharapkan, tetapi tidak untuk aplikasi seperti demodulasi AM. Ingat bahwa sinyal AM terdiri dari sinyal pembawa, pembawa ditambah dengan pesan, dan pembawa dikurangi dengan pesan. Jadi, ketika sinyal AM dihubungkan dengan inpur *rectifier*, secara matematis dapat dituliskan hasil perkalian silang seluruh gelombang sinusoidalnya adalah sebagai berikut:

$$\text{Output Rectifier} = \text{pembawa} \times (\text{pembawa} + \text{pesan}) \times (\text{pembawa} - \text{pesan})$$

Jika sinyal yang digunakan untuk membangkitkan sinyal AM adalah sinusoidal sederhana, persamaan tersebut ketika diselesaikan akan menghasilkan enam gelombang sinusoidal dengan frekuensi sebagai berikut:

- Pembawa + (pembawa + pesan)
- Pembawa + (pembawa - pesan)
- (pembawa + pesan) + (pembawa - pesan)
- Pembawa - (pembawa + pesan) yang disederhanakan menjadi pesan saja
- Pembawa - (pembawa - pesan) yang diserdahanakan menjadi pesan juga
- (pembawa + pesan) - (pembawa - pesan)

Untuk memberikan penjelasan terkait ini akan diberikan contoh konkret dengan angka. Modulator AM yang telah disiapkan di awal percobaan itu menggunakan sinyal pembawa 100kHz dan sinyal pembawa 2kHz (dengan komponen DC). Jadi, sinyal AM yang dihasilkan terdiri dari tiga gelombang sinusoidal: satu dengan frekuensi 100 kHz, yang lainnya pada frekuensi 102 kHz, dan yang ketiga pada 98 kHz. Tabel 2. 1 di bawah menunjukkan apa yang terjadi apabila ketiga sinusoidal tersebut dikalisilangkan oleh *rectifier*.

Tabel 2. 1

	100kHz×102kHz	100kHz×98kHz	98kHz×102kHz
Sum	202kHz	198kHz	200kHz
Difference	2kHz	2kHz	4kHz

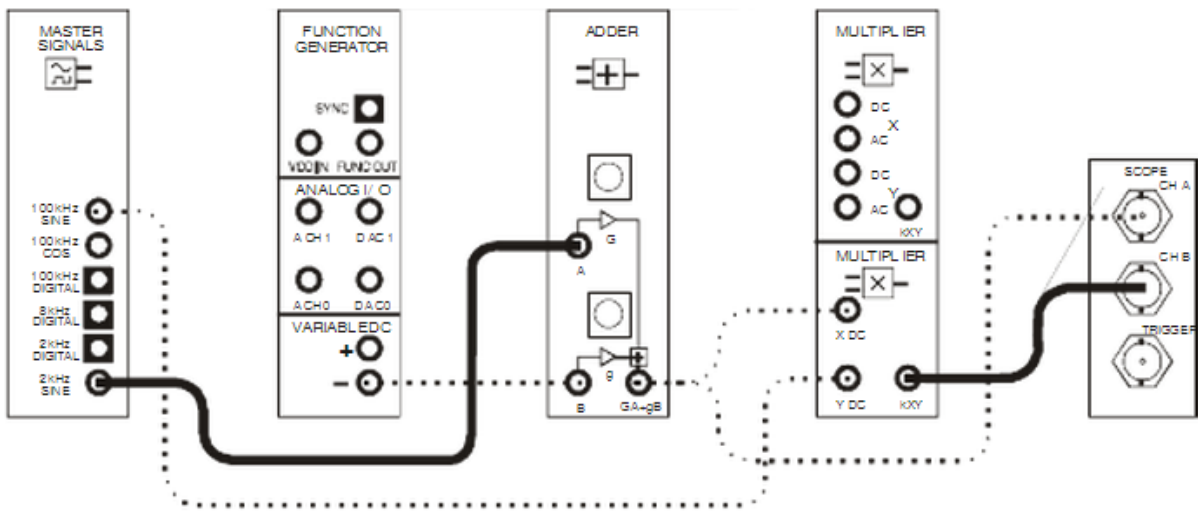
Perhatikan bahwa dua dari sinusoidal ini berada pada frekuensi sinyal pesan. Dengan kata lain, sinyal pesannya berhasil dipulihkan. Dan oleh karena kedua pesan ini dalam fasa yang sama, keduanya saling menambahkan dan membentuk sinyal pesan yang lebih besar.

Hal yang lebih penting, kita tidak ingin sinusoidal yang bukan sinyal pesan sehingga untuk membuangnya akan digunakan filter *low-pass* di output *rectifier*. Idealnya, output dari filter ini hanya akan mengandung sinyal pesannya. Peningkatan efektivitas filter ini dapat dilakukan dengan meningkatkan frekuensi sinyal pembawa jauh lebih besar dari sinyal pesan. Hal ini akan membuat frekuensi sinyal yang sudah dijumlahkan memiliki nilai yang jauh lebih besar dan akan lebih mudah untuk disaring oleh filter.

[Sebagai tambahan, sinusoidal 4kHz yang dibangkitkan tetap akan melewati filter *low-pass* dan akan tetap ada di outputnya bersamaan dengan sinusoidal 2kHz. Hal ini tentu tidak diinginkan karena sinyal itu bukanlah sinyal yang ada di pesan aslinya. Untungnya, karena sinyal ini dibangkitkan dengan mengalikan dengan *sideband*, amplitudonya jauh lebih kecil dari sinyal pesan dan dapat diabaikan.]

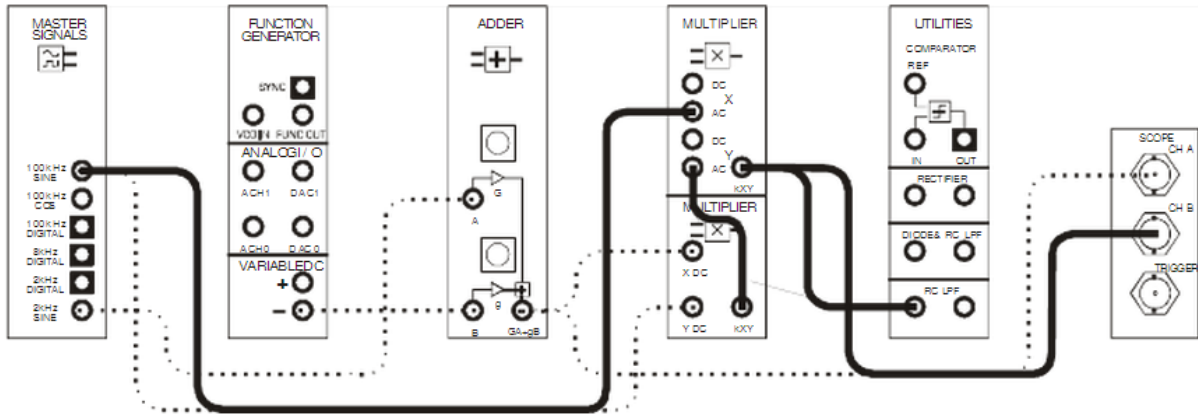
Proses matematis yang identik dapat dimodelkan dengan menggunakan modul Multiplier pada Emona DATEx. Akan tetapi, proses yang dilakukan bukan dengan mengaliskan sinusoidal yang terdapat di sinyal AM tersebut (modul Multiplier tidak dapat melakukan itu), melainkan dikalikan dengan sinusoidal 100kHz. Bagian percobaan selanjutnya akan memberikan anda kesempatan untuk mendemodulasikan sinyal AM dengan cara ini.

37. Modifikasi rangkaian sebelumnya menjadi modulator AM saja dengan menggunakan sinyal pesan berupa gelombang sinusoidal 2 kHz seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. 6 di bawah.



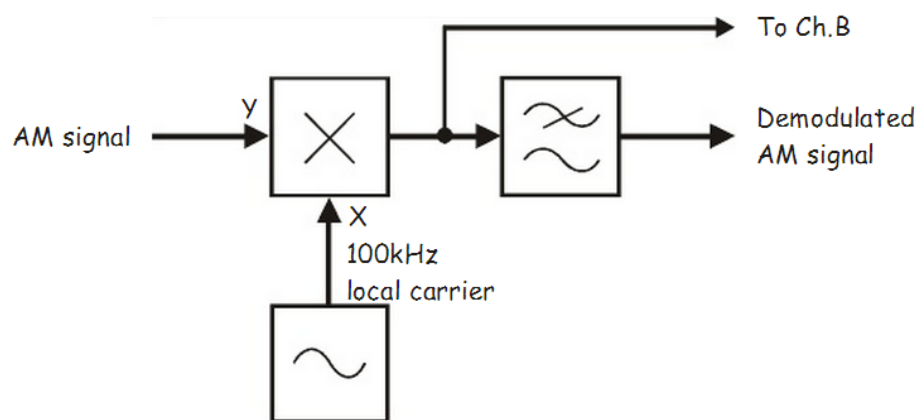
Gambar 2. 6

38. Atur amplitudo sinyal pesan menjadi 0.5 Vp-p (menggunakan kontrol *soft G* modul Adder) dan gambarkan kedua sinyal yang muncul pada osiloskop di BCL.
39. Modifikasi rangkaian seperti pada Gambar 2. 7 di bawah.



Gambar 2. 7

Penambahan ini dapat direpresentasikan dengan diagram blok pada Gambar 2. 8. Modul Multiplier memodelkan basis matematis dari demodulasi AM dan filter *RC Low-pass* pada modul Utilities akan mengambil sinyal pesan sambil membuang sinyal sinusoidal lainnya.



Gambar 2. 8

40. Gambarkan kedua sinyal yang muncul di osiloskop pada BCL. Gunakan hasil ini untuk membandingkan output modul Mutliplier dengan output Rectifier pada bagian B.
41. Putuskan sambungan input osiloskop Kanal B dari output modul Multiplier dan hubungkan Kanal B ke output RC LPF.
42. Gambarkan kedua sinyal yang muncul di osiloskop pada BCL. Gunakan hasil ini untuk membandingkan output RC LPF dengan sinyal pesan dan output RC LPF di Bagian B.

Miskonsepsi umum terkait AM adalah ketika sinyalnya ter-*overmodulated*, hampir tidak mungkin untuk memulihkan sinyal pesannya. Sebenarnya, peristiwa ini hanya terjadi ketika sinyal AM ini dibangkitkan dengan menggunakan modulator ideal ataupun nonideal yang kemudian didemodulasi dengan *envelope detector*.

Demodulasi AM yang diimplementasikan di bagian ini (disebut dengan *product detection*) tidak mengalami masalah ini karena implementasi ini tidak didesain untuk memulihkan sinyal pesannya

dengan cara melacak salah satu selubung sinyal AM-nya. Bagian terakhir dari dari percobaan ini akan mendemonstrasikan proses ini.

43. Hubungkan Kanal A osiloskop dengan output modulator AM.
44. Perlahan naikkan amplitudo sinyal mendekati 100% modulasi sinyal AM dengan mengatur kontrol *soft G* modul Adder.
45. Perlahan naikkan amplitudo sinyal pesan untuk menghasilkan sinyal AM yang termodulasi lebih dari 100% sambil mengamati bentuk sinyal hasil demodulasinya. Gambarkan sinyal yang muncul di osiloskop pada BCL.

Sebagai tambahan, implementasi modulasi AM komersial umumnya melibatkan penguat Kelas C untuk alasan efisiensi (yakni, untuk meminimalkan rugi-rugi daya). Ketika penguat Kelas C dioperasikan dengan kedalaman modulasi di atas 100%, rangkaianannya tidak lagi beroperasi dengan cara yang sama dengan modulator AM di Gambar 2. 4. Hal yang lebih penting adalah di samping menghasilkan selubung yang tidak sama seperti pesan aslinya, rangkaian kelas C yang mengalami *over-modulation* ini menghasilkan komponen frekuensi tambahan di spektrumnya. Hal ini berarti baik *envelope* maupun *product demodulator* tidak dapat memulihkan sinyal pesan tanpa distorsi.

Percobaan 2 – Modulasi Frekuensi

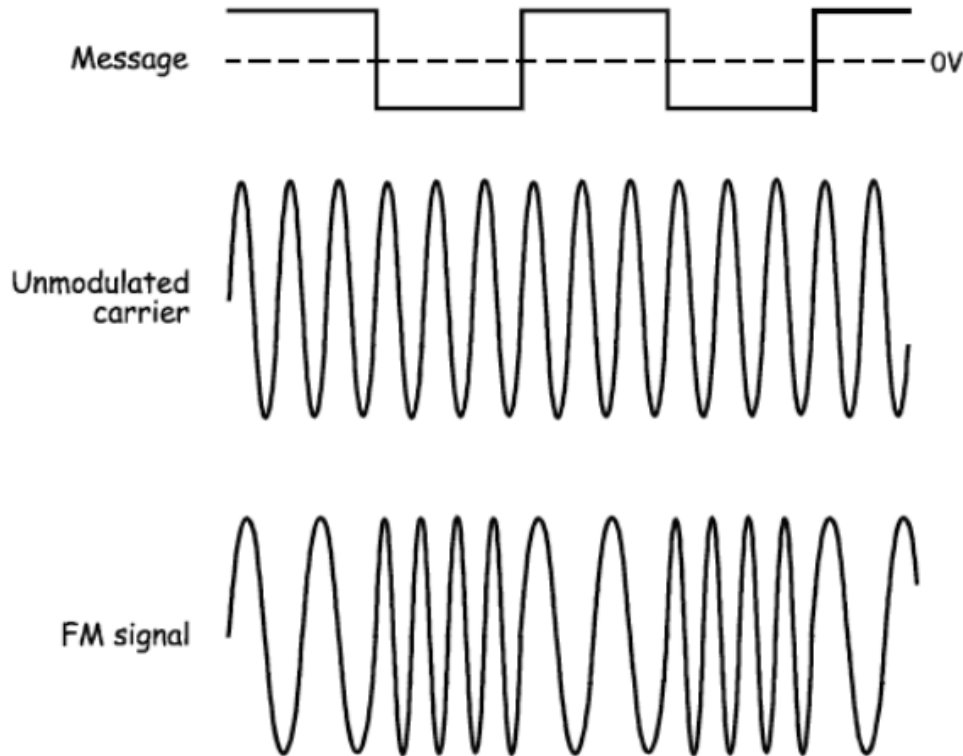
Diskusi Awal

Kekurangan dari sistem komunikasi AM, DSBSC, dan SSB adalah ketiga rawan akan gangguan derau elektrik di medium transmisinya (kanalnya). Hal ini terjadi karena derau mengubah amplitudo sinyal yang ditransmisikan dan demodulator dari sistem ini didesain untuk merespons terhadap perubahan amplitudo.

Sesuai dengan namanya, modulasi frekuensi (FM) menggunakan amplitudo sinyal pesan untuk memvariasikan frekuensi sinyal pembawa alih-alih amplitudonya. Hal ini berarti demodulator FM didesain untuk menemukan perubahan frekuensi. Dengan demikian, sinyal ini akan kurang terpengaruh dengan variasi amplitudo sehingga lebih tahan terhadap derau. Hal ini menyebabkan sistem komunikasi FM lebih baik dalam konteks ini.

Ada beberapa metode untuk membangkitkan sinyal FM, tetapi pada dasarnya semua cara ini melibatkan osilator dengan frekuensi yang dapat divariasikan dengan sinyal elektrik. Osilator ini menggunakan tegangan input untuk mempengaruhi frekuensi di outputnya. Biasanya, ketika inputnya 0 V, osilatornya akan mengoutput sinyal dengan frekuensi tenang (biasa disebut dengan frekuensi bebas atau frekuensi tengah). Jika tegangan yang diinputkan bervariasi di atas atau di bawah 0 V, frekuensi output dari osilatornya akan berdeviasi ke atas atau ke bawah frekuensi tenangnya. Ditambah lagi, banyaknya deviasi dipengaruhi oleh amplitudo oleh tegangan inputnya. Hal ini berarti semakin besar tegangan inputnya, semakin besar deviasinya.

Gambar 2. 9 di bawah ini menunjukkan sinyal pesan berbentuk gelombang kotak bipolar dan sinyal pembawa yang taktermodulasi. Gambar ini juga menunjukkan hasil modulasi frekuensi sinyal pembawa dengan sinyal pesan.



Gambar 2. 9

Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan terkait sinyal FM. Pertama, selubungnya datar – ingat bahwa sinyal FM tidak memvariasikan amplitudo sinyal pembawanya. Kedua, periodenya (yang berarti frekuensinya) berubah ketika amplitudo sinyal pesan berubah. Ketiga, karena sinyal pesan berubah-ubah nilainya di atas dan bawah 0 V, frekuensi sinyalnya juga berubah di atas dan di bawah frekuensi sinyal pembawanya. (Catatan: Kita juga mungkin untuk merancang sebuah modulator FM sehingga frekuensi berubah ke arah yang berlawanan dengan perubahan polaritas pesan.

Sebelum membahas terkait sinyal FM lebih lanjut, ada poin penting yang harus dijelaskan. Sinyal pesan gelombang persegi digunakan untuk membantu anda memvisualisasikan bagaimana sinyal pembawa FM menghasilkan respons terhadap sinyal pesannya. Hal ini ditunjukkan oleh grafik pertama pada Gambar 2.9 yang menunjukkan bahwa sinyal FM yang terbentuk hanya terdiri dari dua gelombang sinus (satu dengan frekuensi di atas frekuensi sinyal pembawa dan satu di bawahnya). Akan tetapi, penjelasan yang terjadi sebenarnya tidak sesederhana itu. Komposisi spektrum sinyal FM ini akan memiliki bentuk yang lebih kompleks. Untuk detailnya bisa dipelajari lebih lanjut di perkuliahan.

Hal ini menjelaskan perbedaan penting antara FM dengan skema modulasi yang dibahas sebelumnya. Model matematis dari sinyal FM menjelaskan bahwa akan ada banyak gelombang sinusoidal yang membentuk sinyal FM tersebut meskipun hanya menggunakan gelombang sinusoidal sederhana sebagai sinyal pesannya. Sebaliknya, untuk sinyal pesan gelombang sinusoidal yang sama, sinyal AM akan terdiri dari tiga gelombang sinus, sinyal DSBSC akan terdiri dari dua, dan sinyal SSBSC hanya akan terdiri dari satu. Hal ini tidak otomatis berarti sinyal FM akan memiliki *bandwidth* yang lebih lebar

dibandingkan dengan sinyal AM, DSBSC, dan SSBSC (dengan sinyal pesan yang sama). Akan tetapi umumnya akan demikian.

Ada perbedaan penting lainnya antara FM dan skema modulasi lainnya. Daya pada sinyal AM, DSBSC and SSBSC berubah-ubah tergantung pada indeks modulasinya. Hal ini terjadi karena tegangan RMS sinyal pembawa itu tetap, tetapi RMS tegangan *sideband* berbanding lurus dengan indeks modulasi sinyalnya. Hal ini tidak berlaku untuk sinyal FM. Tegangan RMS sinyal pembawa dan *sideband* berubah naik turun seiring perubahan indeks modulasi sehingga kuadrat dari tegangannya selalu sam dengan kuadrat dari tegangan RMS sinyal pembawa yang tidak dimodulasi.

Dengan demikian, daya pada sinyal FM adalah konstan. Terakhir, saat anda mencermati bagian pengoperasian modulator FM, anda mungkin mengenali bahwa ada modul pada Emona DATEx yang beroperasi dengan cara yang sama – keluaran VCO dari generator sinyal. Faktanya, osilator terkontrol tegangan (*voltage-controlled oscillator*) terkadang digunakan untuk modulasi FM (meskipun ada metode lain yang memiliki keunggulan dari VCO).

Percobaan yang Dilakukan

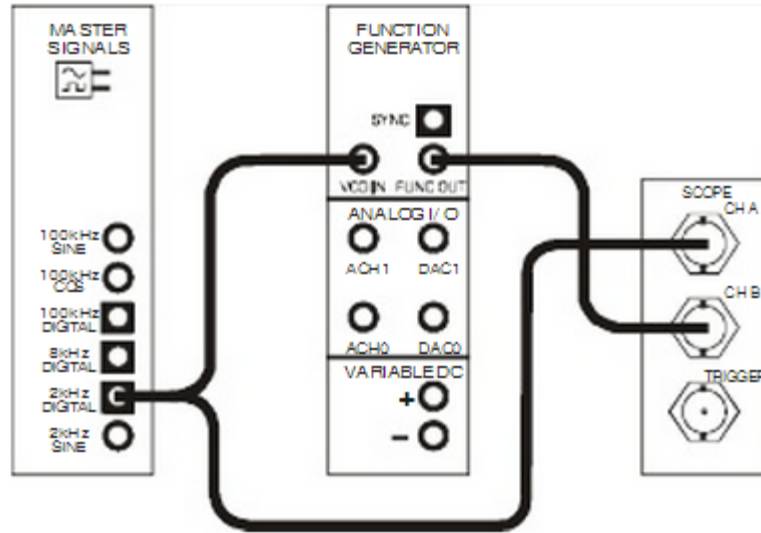
Prosedur Percobaan

Bagian A – Memodulasi Frekuensi Gelombang Persegi

1. Jalankan perangkat lunak NI ELVIS Traditional.
2. Jalankan DATEx *soft front-panel* (SFP) dan periksa apakah anda dapat mengendalikan *board* DATEx dari perangkat lunak itu.
3. Geser saklar Control Mode NI ELVIS Function Generator's *Control Mode* sehingga tidak lagi di posisi *Manual*.
4. Jalankan Function Generator's VI.
5. Tekan kontrol ON/OFF Function Generator VI's untuk menyalakannya.

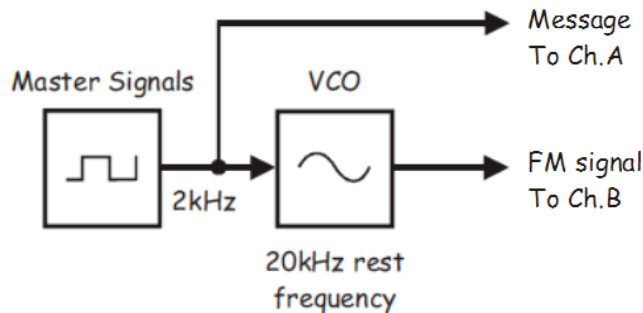
Atur Function Generator dengan *soft controls* untuk menghasilkan sinyal output dengan spesifikasi berikut:

- Waveshape : Sine
 - Frequency : 20 kHz
 - Amplitude : 4Vp-p
 - DC Offset : 0V
6. Tunggu hingga bacaan frekuensi Function Generator's sudah berubah lalu *minimize* jendelanya.
 7. Hubungkan rangkaian seperti pada Gambar 2. 10 di bawah.



Gambar 2. 10

Rangkaian ini dapat direpresentasikan dengan diagram blok seperti pada Gambar 2. 11 di bawah. Modul Master Signals digunakan untuk menyediakan sinyal pesan gelombang persegi 2kHz dan VCO digunakan sebagai modulator FM dengan sinyal pembawa 20kHz.



Gambar 2. 11

8. Jalankan NI ELVIS Oscilloscope VI.
9. Atur osiloskop dengan pengaturan berikut:
 - *Trigger Source* : *Immediate*
 - *Timebase* : *100μs/div*
10. Nyalakan input Kanal B osiloskop untuk melihat sinyal FM pada output VCO serta sinyal pesan. Gambarkan kedua sinyal ini di BCL.
11. Atur *Trigger Source* osiloskop ke posisi CH A.
12. Atur kontrol *Trigger Level* osiloskop ke 2.5V.

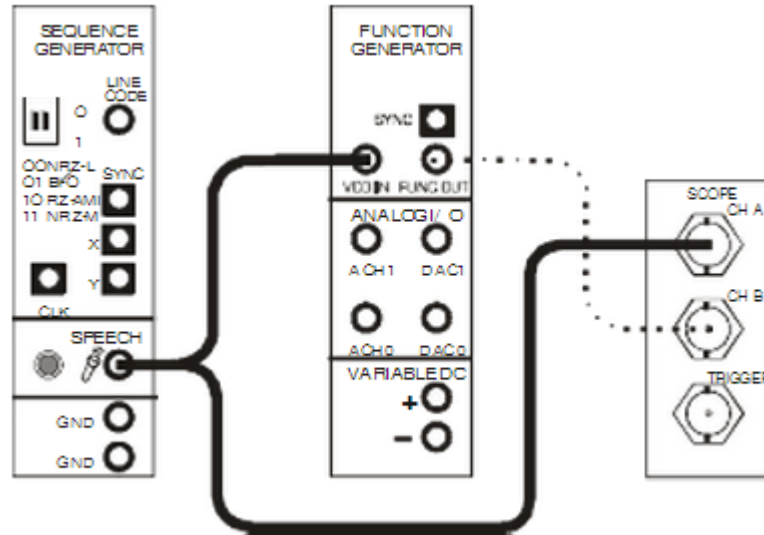
Pertanyaan 1: Mengapa frekuensi sinyal pembawa berubah-ubah?

Bagian B – Menghasilkan Sinyal FM Menggunakan Ucapan

Sejauh ini, percobaan yang dilakukan telah menghasilkan sinyal FM menggunakan gelombang persegi untuk sinyal pesannya. Akan tetapi, sinyal pesan di sistem komunikasi komersial kemungkinan besar

dalam bentuk ucapan dan musik. Bagian selanjutnya dari percobaan ini akan memungkinkan anda untuk melihat bagaimana tampilan sinyal FM ketika dimodulasi oleh ucapan.

13. Kembalikan kontrol *Trigger Level* osiloskop ke 0V.
14. Lepaskan kabel dari output 2kHz SINE pada modul Master Signal.
15. Hubungkan kabel tersebut ke output modul Speech seperti pada Gambar 2. 12 di bawah.



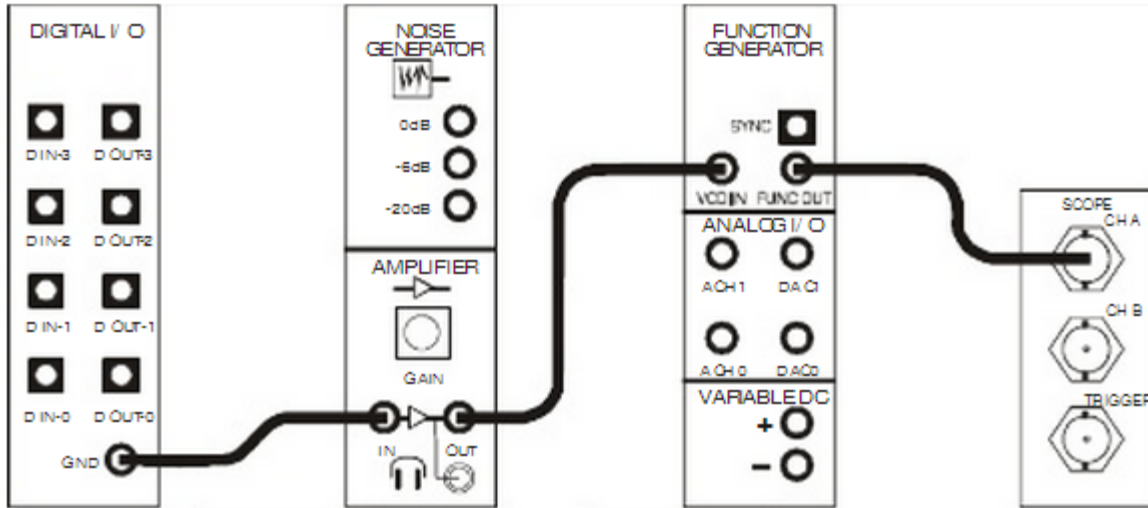
Gambar 2. 12

16. Bicaralah ke dalam mikrofon sambil memperhatikan tampilan pada osiloskop. Gambarkan hasil yang muncul di osiloskop pada BCL.

Bagian C – Daya pada Sinyal FM

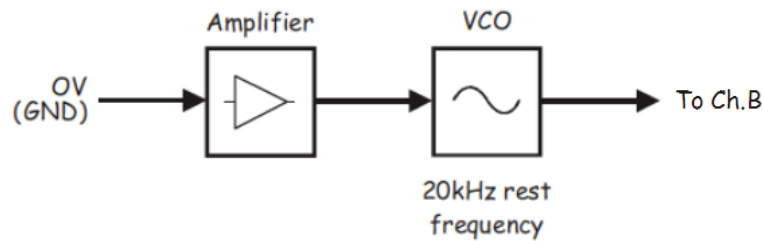
Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, daya pada sinyal FM itu konstan terlepas dari tingkat modulasinya. Bagian percobaan ini memungkinkan anda untuk mengamatinya secara langsung.

17. Putuskan sambungan ke input VCO IN pada Function Generator dari output modul Speech.
18. Atur frekuensi diam VCO ke 20kHz dengan mengatur Function Generator sesuai kebutuhan.
19. *Minimize* jendela Function Generator VI.
20. Temukan modul Amplifier pada DATEX SFP dan putar kontrol *soft G* sepenuhnya ke arah berlawanan jarum jam.
21. Hubungkan rangkaian seperti pada Gambar 2. 13 di bawah.



Gambar 2. 13

Rangkaian di atas dapat direpresentasikan dengan diagram blok seperti pada Gambar 2. 14 di bawah. Dengan input VCO yang terhubung ke *ground*, keluarannya adalah sebuah gelombang sinus tunggal pada frekuensi 20kHz.



Gambar 2. 14

22. Gambarkan sinyal yang muncul pada tampilan osiloskop di BCL lalu tutup jendela VI osiloskop.
23. Jalankan NI ELVIS Dynamic Signal Analyzer VI.
24. Atur kontrol pada Signal Analyzer dengan pengaturan berikut:

Input Settings

- *Source Channel* : Scope CHA
- *Voltage Range* : ±10V

Triggering

- *Triggering* : FGEN SYNC_OUT

FFT Settings

- *Frequency Span* : 100,000
- *Resolution* : 400
- *Window* : 7 Term B-Harris

Frequency Display

- *Units* : Linear
- *RMS/Peak* : RMS
- *Scale* : Auto

Averaging

- *Mode* : RMS
- *Weighting* : Exponential
- *# of Averages* : 3

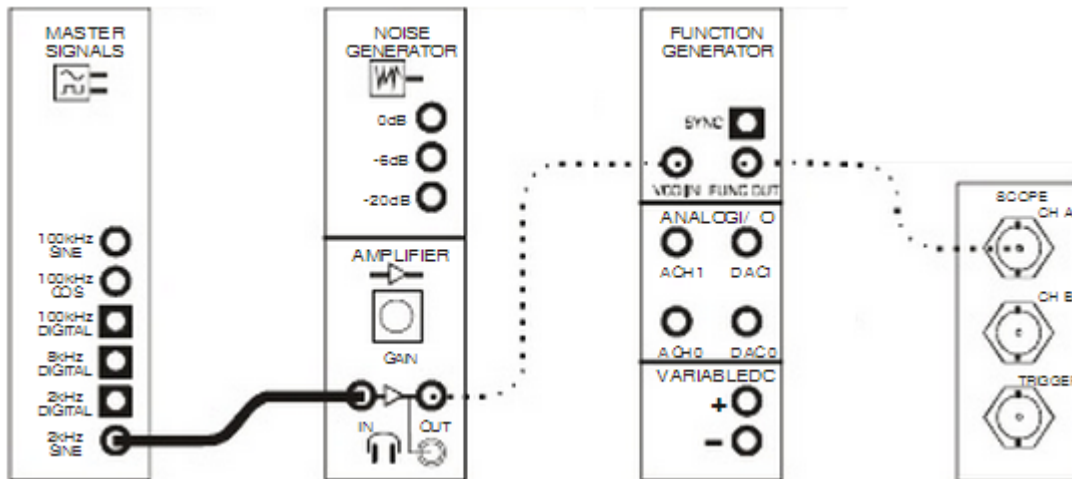
25. Saat selesai, satu gelombang sinus yang paling menonjol akan terlihat. Gambarkan sinyal ini pada BCL.
26. Gunakan *marker* M1 dari Signal Analyzer-nya untuk melihat nilai frekuensi gelombang sinusnya dan pastikan bahwa frekuensi itu adalah frekuensi diam VCO-nya (yakni, 20kHz).
27. Di sisi kiri bacaan pengukuran frekuensi adalah hasil pengukuran tegangan kuadrat RMS gelombangnya. Catat hasilnya pada Tabel 2. 2 di bawah.

Tabel 2. 2

Unmodulated Carrier V_{RMS}^2

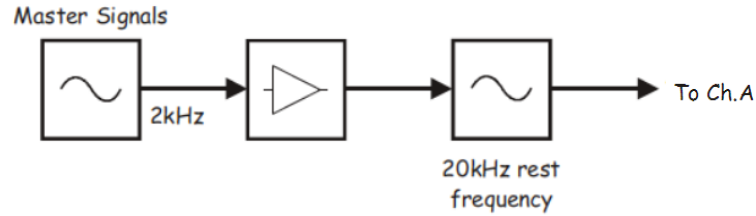
Mengapa Signal Analyzer mengukur kuadrat dari tegangan RMS sinyalnya? Untuk menjawab pertanyaan itu, ingat bahwa daya dapat dihitung dengan persamaan $P = \frac{V_{RMS}^2}{R}$. Hal ini berarti bahwa daya dan kuadrat tegangan RMS itu adalah nilai yang berbanding lurus. Atas dasar itulah, apapun nilai V_{RMS}^2 juga pasti berlaku untuk perhitungan dayanya.

28. Modifikasi rangkaian seperti pada Gambar 2. 15 di bawah.



Gambar 2. 15

Rangkaian ini dapat direpresentasikan dengan diagram blok seperti pada Gambar 2. 16 di bawah. Penting untuk dicatat, karena *gain* minimum modul Amplifier tidak nol, sinyal pembawa kini akan dimodulasi frekuensi oleh sinyal pesan berlevel rendah. Hal ini berarti tampilan Signal Analyzer akan menampilkan empat *sidebands*.



Gambar 2. 16

29. Gambarkan sinyal yang muncul pada Signal Analyzer di BCL.
30. Gunakan *marker* untuk mengukur tegangan kuadrat RMS dari kelima gelombang sinus yang ada di spektrum sinyalnya. Catat hasilnya di Tabel 2. 3 di bawah.
31. Jumlahkan semua nilai tegangan ini dan tuliskan pula di Tabel 2. 3.

Tabel 2. 3

Sinewave	V_{RMS}^2
1	
2	
3	
4	
5	
Total	

32. Gunakan kontrol *soft G* untuk meningkatkan modulasi sinyal FM-nya sehingga sinyal pembawanya menurun menjadi nol.
33. Ulangi Langkah 29 sampai 31 untuk gelombang sinus yang paling menonjol di spektrum sinyal FM ini dan catat hasil pengukurannya pada Tabel 2. 4 di bawah.

Tabel 2. 4

Sinewave	V_{RMS}^2
1	
2	
3	
4	
5	
6	
Total	

Bagian D – Bandwidth dari Sinyal FM

Komposisi spektral dari sinyal FM dapat menjadi rumit dan akan banyak mengandung berbagai *sidebands*. Sering kali, beberapa *sideband* ini berukuran kecil sehingga perlu dibuat sebuah keputusan praktis tentang berapa banyak yang harus dimasukkan sebagai bagian dari *bandwidth* ini. Dalam hal ini, ada beberapa standar untuk menentukan *sideband* ini dan salah satu cara umum yang digunakan adalah dengan menyertakan semua *sideband* yang sama atau lebih besar dari 1% dari daya pada sinyal pembawa. Bagian percobaan ini memungkinkan anda untuk menggunakan kriteria ini untuk mengukur *bandwidth* sinyal FM.

34. Gunakan *marker* M1 Signal Analyzer untuk menentukan frekuensi terendah dari gelombang sinus sinyal FM ini yang memiliki nilai tegangan sama atau lebih besar dari 1% nilai-nilai pada Tabel 2. 2.
35. Gunakan *marker* M2 Signal Analyzer untuk menentukan frekuensi tertinggi dari gelombang sinus sinyal FM ini yang memiliki nilai tegangan sama atau lebih besar dari 1% dari nilai-nilai pada Tabel 2. 2.
36. Bacaan df (Hz) pada Signal Analyzer adalah ukuran selisih frekuensi di antara kedua *marker*. Mengikuti Langkah 33 dan 34, bacaan ini adalah *bandwidth* sinyal FM-nya. Catat nilai ini pada Tabel 2. 5 di bawah.

Tabel 2. 5

FM signal's bandwidth

37. Naikkan *gain* pada modul Amplifier hingga penunjuk pada kontrol *soft G*-nya berada pada posisi jam 9. Gambarkan sinyal yang terbentuk di tampilan Signal Analyzer di BCL.
38. Ulangi Langkah 33 sampai 35 dan catat hasil pengukurannya pada Tabel 2. 6 di bawah.

Tabel 2. 6

FM signal's bandwidth

Tugas Pendahuluan Modul 3

Percobaan 1 – Demodulasi FM

1. Jelaskan apa hubungan sinyal pesan dengan sinyal pesan hasil pemulihan pada FM!

Percobaan 2 – *Signal-to-Noise Ratio* dan *Eye Diagrams*

1. Jelaskan apa itu *eye diagrams*!
2. Jelaskan apa itu *signal-to-noise ratio* dan tuliskan persamaannya!
3. Jelaskan cara mengurangi *noise* sebuah sinyal!

Modul 3

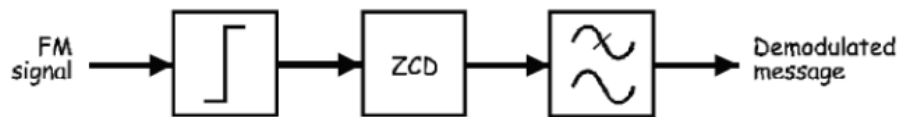
Percobaan 1 – Demodulasi FM

Diskusi Awal

Ada banyak metode untuk mendemodulasi sinyal FM seperti halnya dalam menghasilkannya. Beberapa contohnya: *slope detector*, diskriminator *Foster-Seeley*, *ratio detector*, *phase-locked loop* (PLL), demodulator FM kuadratur, dan *zero-crossing detector*. Beberapa metode ini dapat diimplementasikan menggunakan Emona DATEx, tetapi untuk pengenalan prinsip-prinsip demodulasi FM akan digunakan *zero-crossing detector*.

Zero-crossing Detector

Zero-crossing detector merupakan cara yang sederhana, tetapi efektif untuk memulihkan sinyal pesan dari sinyal FM. Diagram bloknya ditunjukkan pada Gambar 3. 1 di bawah.

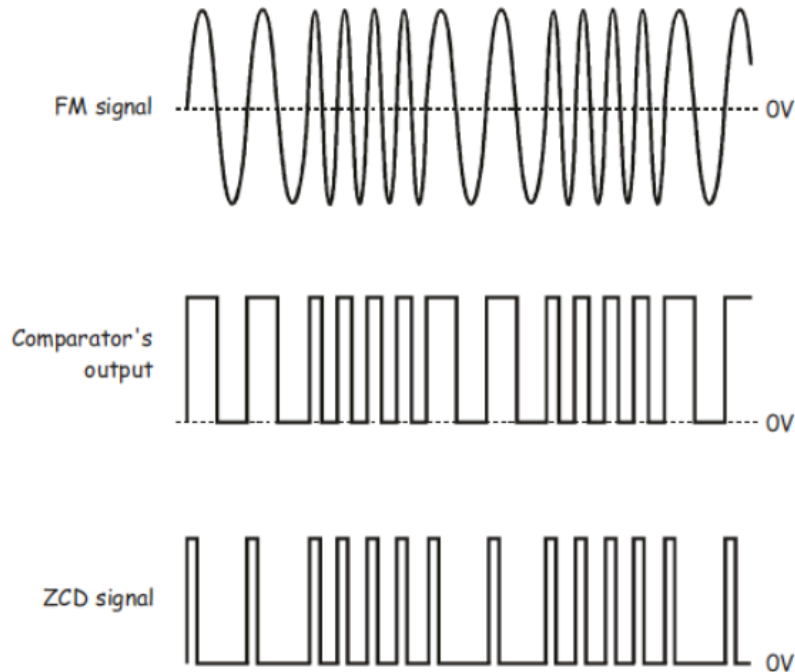


Gambar 3. 17

Sinyal FM yang diterima pertama kali dilewatkan melalui komparator untuk memotongnya secara signifikan sehingga mengubahnya menjadi gelombang persegi. Hal ini memungkinkan sinyal tersebut untuk digunakan sebagai sinyal *trigger* bagi rangkaian *zero-crossing detector* (ZCD).

ZCD menghasilkan pulsa dengan durasi tetap setiap kali sinyal FM yang telah diubah menjadi gelombang persegi melintasi nilai 0 volt (baik pada transisi positif atau negatif tetapi tidak keduanya). Mengingat bahwa sinyal FM yang sudah diubah menjadi gelombang kotak ini terus-menerus melintasi nilai nol, ZCD pada dasarnya mengubah gelombang persegi tersebut menjadi gelombang persegi panjang dengan *mark time* yang tetap.

Ketika frekuensi sinyal FM berubah (sebagai respons terhadap sinyal pesan), frekuensi gelombang persegi panjangnya pun ikut berubah. Yang penting, karena durasi *mark* pada gelombang persegi panjang ini tetap, perubahan frekuensinya dicapai dengan mengubah durasi pada *space* sehingga akan mengubah rasio *mark/space* (atau *duty cycle*). Hal ini ditunjukkan pada Gambar 3. 2 di bawah menggunakan sebuah sinyal FM yang hanya berganti antara dua frekuensi (karena dihasilkan oleh sinyal pesan gelombang persegi).



Gambar 3. 2

Teori bentuk gelombang kompleks menyatakan bahwa *pulse trains* sebenarnya terdiri dari gelombang sinus dan, dalam kasus Gambar 3. 2 di atas, sebuah tegangan DC. Besarnya tegangan DC dipengaruhi oleh *duty cycle* sinyal *pulse train*. Semakin besar *duty cycle*-nya, semakin besar pula tegangan DC tersebut.

Dengan demikian, ketika sinyal FM pada Gambar 3. 2 di atas beralih antara dua frekuensi, tegangan DC yang membentuk gelombang persegi panjang dari ZCD berubah antara dua nilai. Dengan kata lain, komponen DC dari gelombang persegi panjang merupakan salinan dari gelombang persegi yang membentuk sinyal FM di awal. above switches between the two frequencies, the DC voltage that makes up the rectangular wave out of the ZCD changes between two values. Memulihkan salinan ini adalah masalah yang relatif sederhana, yakni dengan memisahkan tegangan DC yang berubah-ubah ini menggunakan filter *low-pass*.

Yang terpenting, teknik demodulasi ini dapat bekerja sama baiknya ketika sinyal pesannya adalah gelombang sinus atau ucapan.

Peralatan

- Komputer yang sudah terpasang perangkat lunak yang mendukung
- NI ELVIS, NI-DAQ, kabel USB, dan adaptor daya
- Modul eksperimental tambahan Emona DATEX
- Dua kabel penghubung BNC ke kabel *banana* 2mm
- Berbagai macam kabel penghubung *banana* ke *banana*

Percobaan yang Dilakukan

Untuk percobaan ini, anda akan menggunakan Emona DATEx untuk membangkitkan sinyal FM menggunakan VCO. Lalu, anda akan menyiapkan ZCD dan memverifikasi pengoperasiannya terhadap variasi amplitudo sinyal pesan. Percobaan ini akan memakan waktu sekitar 50 menit untuk menyelesaikannya.

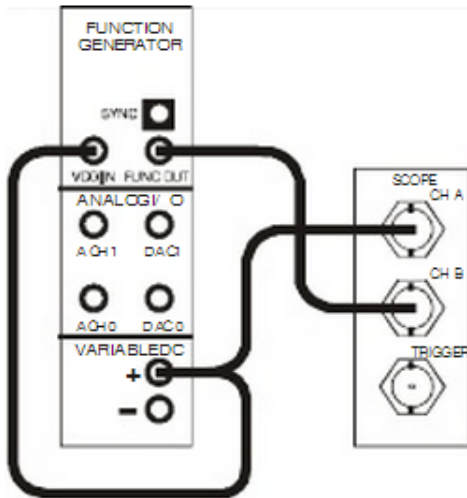
Prosedur Percobaan

Bagian A – Menyiapkan Demodulator FM

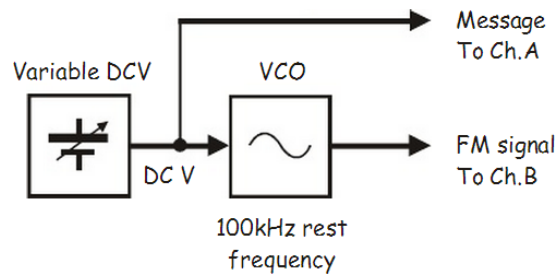
Untuk mencoba melakukan demodulasi FM, anda tentunya memerlukan sinyal FM. Bagian pertama percobaan ini membantu anda untuk menyiapkannya. Untuk memudahkan melihat sinyal di sekitar demodulator, kita akan mulai dengan tegangan DC sebagai sinyal pesannya.

1. Siapkan PC, NI ELVIS dan NI Data Acquisition
2. Jalankan perangkat lunak NI ELVIS Traditional.
3. Jalankan DATEx *soft front-panel* (SFP) dan periksa apakah anda dapat mengendalikan *board* DATEx dengan *soft control*-nya.
4. Geser saklar *Control Mode* pada NI ELVIS Function Generator sehingga tidak lagi berada dalam posisi *Manual*.
5. Jalankan Function Generator VI dan nyalakan.
6. Atur Function Generator dengan kontrol *soft*-nya untuk menghasilkan keluaran dengan spesifikasi berikut:
 - Waveshape : Sine
 - Frequency : 15kHz
 - Amplitude : 4Vp-p
 - DC Offset : 0V
7. *Minimize* jendela Function Generator VI.
8. Geser saklar *Control Mode* untuk output positif dari NI ELVIS Variable Power Supplies sehingga tidak lagi dalam posisi *Manual*.
9. Jalankan Variable Power Supplies VI.
10. Putar kontrol *soft* Voltage pada output positif dari Variable Power Supplies sepenuhnya berlawanan jarum jam.
11. *Minimize* jendela Variable Power Supplies' VI.
12. Hubungkan rangkaian seperti pada Gambar 3. 3 di halaman selanjutnya.
Rangkaian pada Gambar 3. 3 dapat direpresentasikan dengan diagram blok pada Gambar 3. 4. Output positif Variable DC Power Supplies digunakan untuk menyediakan sinyal pesan DC sederhana dan VCO Function Generator mengimplementasikan modulator FM dengan frekuensi sinyal pembawa 100kHz.
13. Jalankan NI ELVIS Oscilloscope VI.
14. Atur osiloskop dengan pengaturan berikut:
 - *Scale* : 2V/div
 - *Trigger Source* : *Immediate*

- *Coupling* : DC



Gambar 3. 18



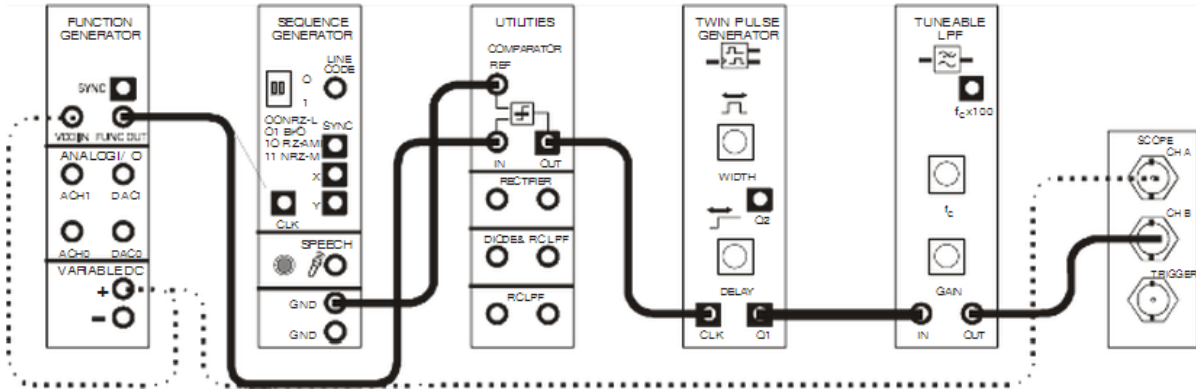
Gambar 3. 4

15. Nyalakan input Kanal B osiloskop untuk menampilkan sinyal FM pada output VCO serta sinyal pesan DC.
16. Atur kontrol *Timebase* pada osiloskop untuk melihat dua atau lebih periode sinyal output VCO.
17. Variasikan kontrol *soft Voltage* pada output positif dari Variable Power Supplies dan periksa apakah frekuensi keluaran pada output VCO berubah sesuai dengan nilai tegangan DC itu. Gunakan tiga variasi nilai tegangan DC dan untuk masing-masing variasi, gambarkan kedua sinyal yang muncul di tampilan osiloskop di BCL.

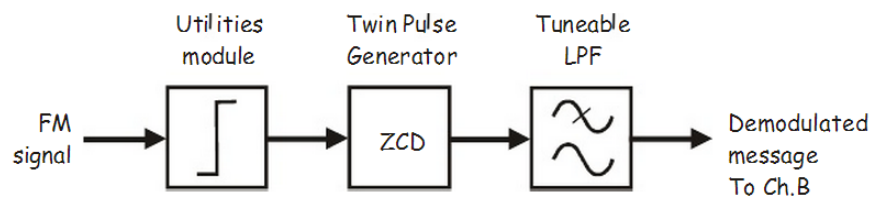
Catatan: Pastikan untuk menggunakan tiga variasi nilai tegangan DC yang memiliki selisih jauh agar dampak perubahan frekuensi VCO-nya bisa lebih terlihat dengan jelas. Pastikan juga untuk mencatat variasi tegangan yang digunakan karena nilai-nilai ini akan digunakan di bagian selanjutnya dari percobaan ini.

Bagian B – Menyiapkan *Zero-crossing Detector*

18. Temukan modul Twin Pulse Generator pada DATEX SFP dan putar kontrol *soft Width*-nya sepenuhnya ke arah berlawanan jarum jam.
19. Atur kontrol *soft Delay* pada modul Twin Pulse Generator sepenuhnya ke arah berlawanan jarum jam.
20. Temukan modul Tuneable Low-pass Filter pada DATEX SFP dan putar kontrol *soft Gain*-nya ke posisi tengah.
21. Putar kontrol *soft Cut-off Frequency Adjust* pada modul Tuneable Low-pass Filter ke posisi tengah.
22. Modifikasi rangkaian seperti pada Gambar 3. 5 di bawah.



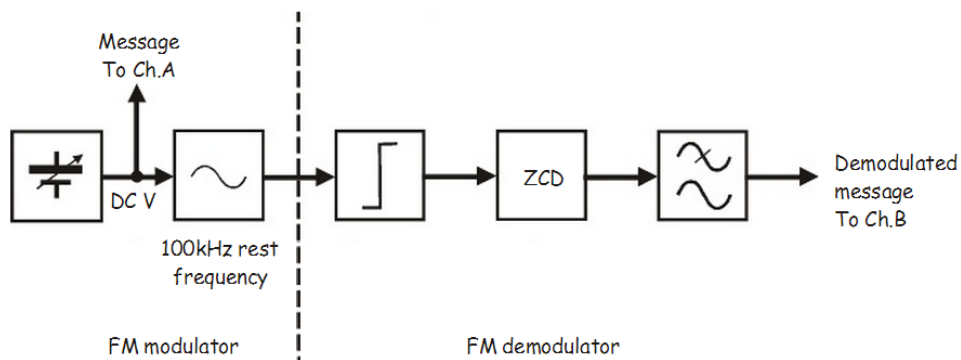
Gambar 3. 19



Gambar 3. 20

Penambahan rangkaian ini dapat direpresentasikan dengan diagram blok pada Gambar 3. 6. Komparator pada modul Utilities digunakan untuk memotong sinyal FM, yang pada dasarnya mengubahnya menjadi gelombang persegi. Modul Twin Pulse Generator yang diaktifkan oleh *positive edge-trigger* digunakan untuk mengimplementasikan ZCD. Untuk menyelesaikan rangkaian demodulator FM ini, modul Tuneable Low-pass Filter digunakan untuk melewatkan komponen DC yang berubah-ubah ini dari keluaran modul Twin Pulse Generator.

Seluruh rangkaian ini dapat direpresentasikan dengan diagram blok pada Gambar 3. 7 di bawah.



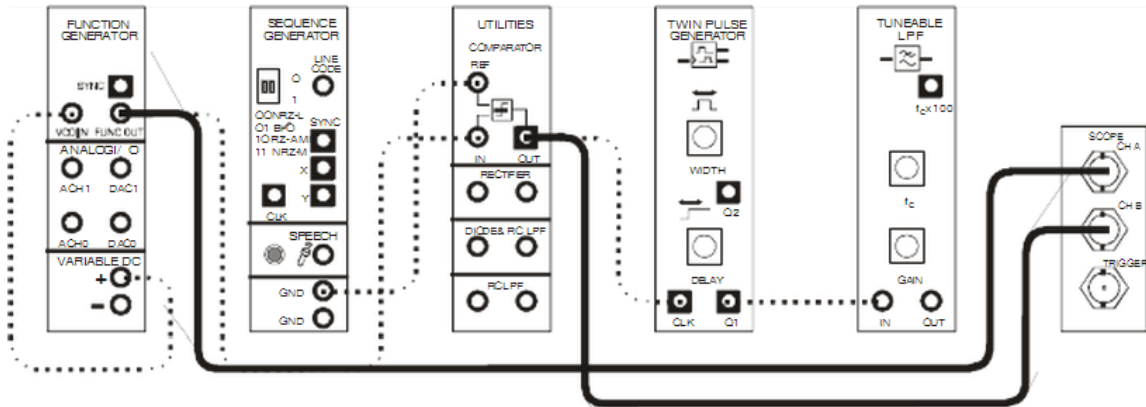
Gambar 3. 7

23. Gunakan tiga variasi nilai tegangan DC yang sama seperti pada Bagian A percobaan ini dan untuk setiap variasi ini, gambarkan bentuk sinyal yang muncul di osiloskop pada BCL.

Bagian C – Mengamati Pengoperasian ZCD

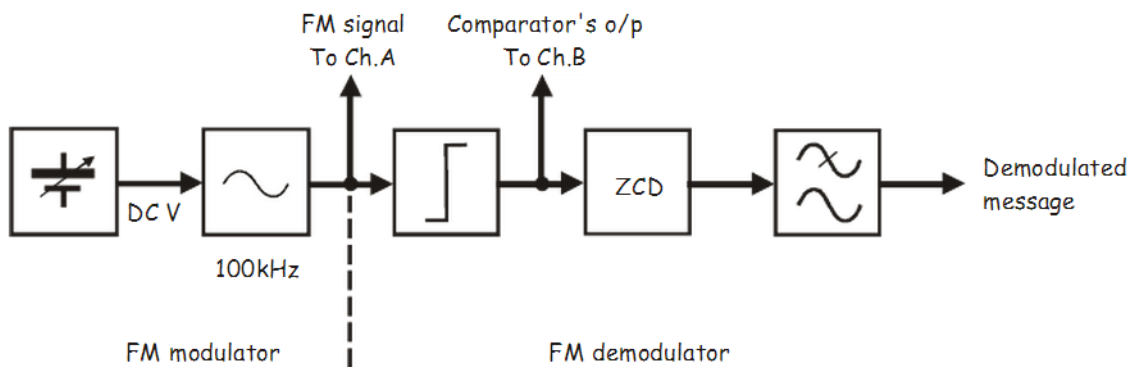
Bagian selanjutnya dari percobaan ini memungkinkan anda untuk mengamati pengoperasian ZCD.

24. Atur ulang koneksi rangkaiannya seperti pada Gambar 3. 8 di bawah.



Gambar 3. 8

Koneksi osiloskop yang baru dapat direpresentasikan dengan diagram blok seperti pada Gambar 3. 9 di bawah.



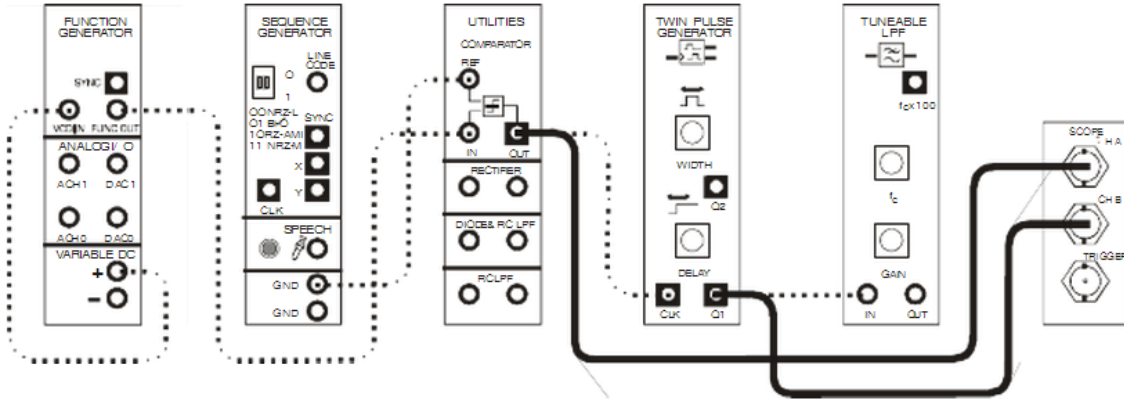
Gambar 3. 9

- 25. Atur kontrol *Trigger Source* osiloskop ke posisi *SYNC_OUT*.
- 26. Gunakan tiga variasi tegangan yang sama seperti pada Bagian A dan B percobaan ini dan gambarkan kedua sinyal yang tampil di osiloskop pada BCL.
- 27. Saat anda mengubah frekuensi sinyal FM, perhatikan dengan seksama juga rasio *mark-space* (yakni, *duty cycle*) dari output Komparator.

Pertanyaan 1: Apakah rasio *mark-space ratio* dari sinyal pada output komparator berubah?

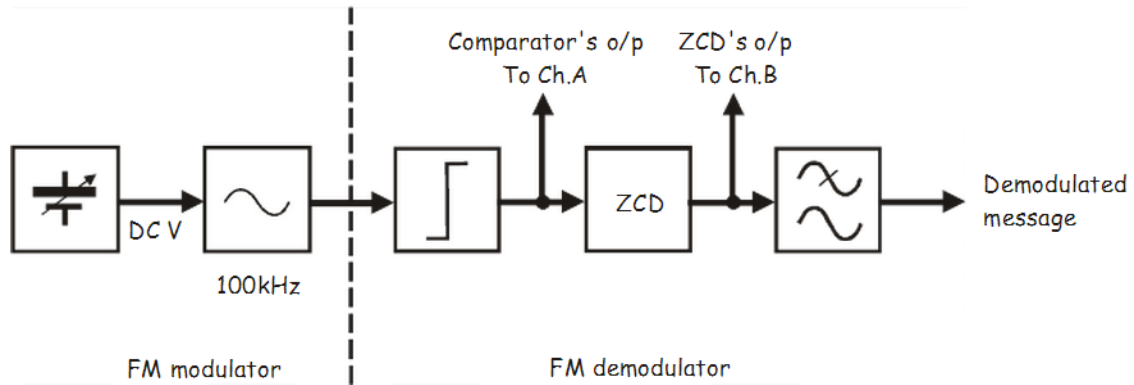
Pertanyaan 2: Apa yang dapat kita ketahui tentang komponen DC dari output komparator?

- 28. Nyalakan kembali Kanal A pada osiloskop.
- 29. Atur ulang kabel dari osiloskop ke rangkaian seperti pada Gambar 3. 10 di bawah.



Gambar 3. 10

Koneksi baru ke osiloskop dapat direpresentasikan dengan diagram blok seperti pada Gambar 3. 11 di bawah.



Gambar 3. 11

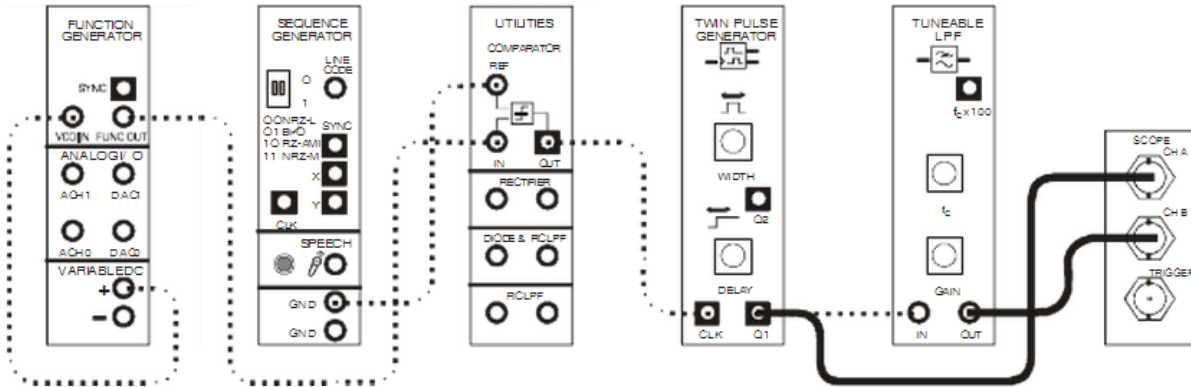
30. Gunakan tiga variasi tegangan yang sama seperti sebelumnya.
31. Saat melakukan langkah di atas, perhatikan perubahan frekuensi yang terjadi pada kedua sinyal. Gambarkan sinyal yang terbentuk di osiloskop pada BCL untuk ketiga variasi ini.
32. Nyalakan *marker* pada osiloskop.
33. Gunakan *marker* osiloskop ini untuk mengukur lebar *mark* dan *space* dari output ZCD untuk setiap variasi tegangan *power supply* tersebut.

Pertanyaan 3: Ketika frekuensi sinyal FM berubah, output ZCD juga berubah. Aspek apa dari sinyal output ZCD yang berubah untuk mencapai hal ini?

- Bukan mark ataupun space dari sinyal
- Hanya mark dari sinyal
- Hanya space dari sinyal
- Baik mark maupun space dari sinyal

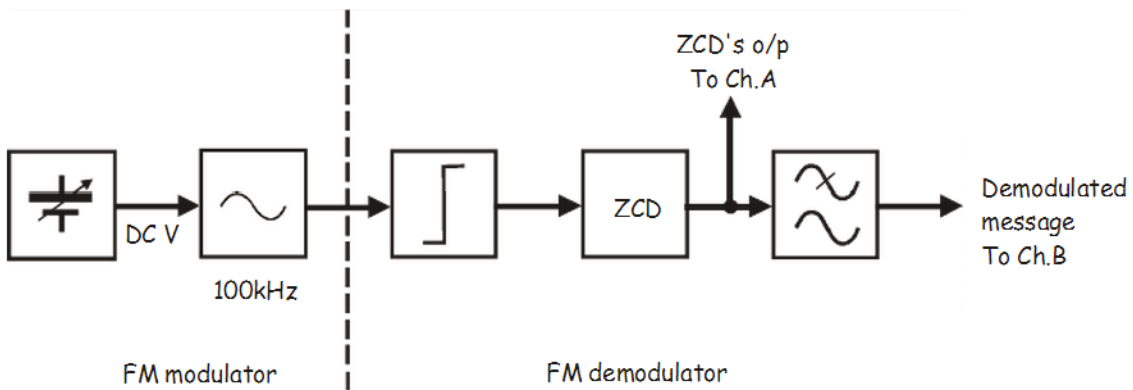
Pertanyaan 4: Apa yang dapat kita ketahui tentang komponen DC dari output komparator?

34. Nyalakan kedua kanal osiloskop.
35. Atur ulang kabel dari osiloskop ke rangkaian seperti pada Gambar 3. 12 di bawah.



Gambar 3. 12

Koneksi baru osiloskop dapat direpresentasikan dengan diagram blok pada Gambar 3. 13 di bawah.



Gambar 3. 13

36. Gunakan tiga variasi tegangan yang sama sebelumnya dan gambarkan sinyal yang terbentuk di osiloskop pada BCL untuk masing-masing variasi.
37. Saat melakukan langkah di atas, bandingkan output dari modul Twin Pulse Generator (ZCD) dan output dari modul Tuneable Low-pass Filter.

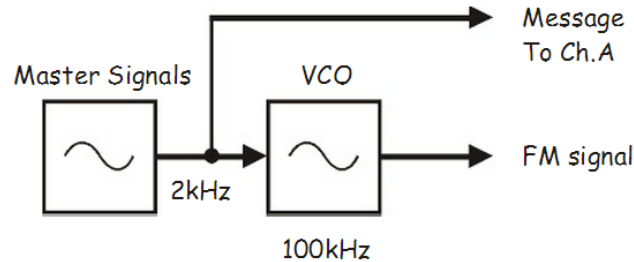
Pertanyaan 5: Mengapa output DC dari modul Tuneable Low-pass Filter meningkat seiring dengan peningkatan rasio mark-space dari output ZCD?

Pertanyaan 6: Jika pesan aslinya merupakan sebuah gelombang sinusoidal dan bukan tegangan DC variabel, apa yang anda perkirakan akan keluar dari modul Tuneable Low-pass Filter?

Bagian D – Mentransmisikan dan Memulihkan Gelombang Sinus dengan FM

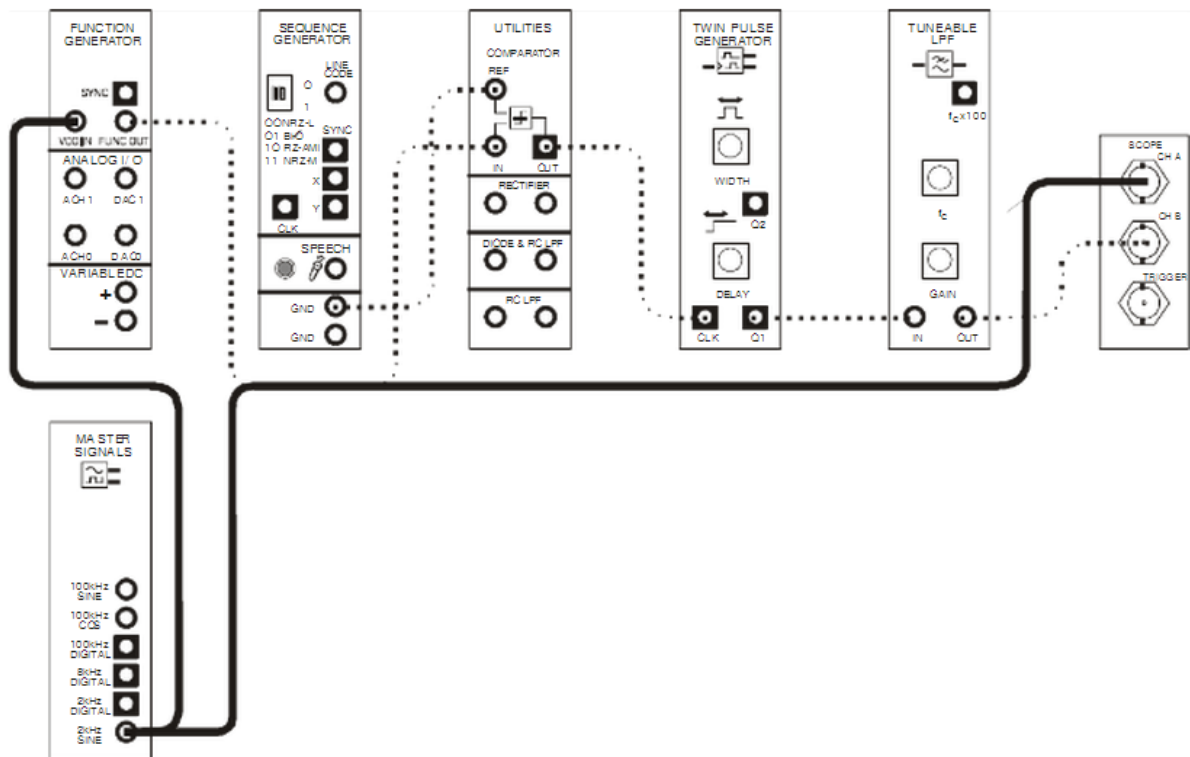
Di percobaan ini sudah dilakukan persiapan sistem komunikasi FM untuk mentransmisikan sinyal pesan yang merupakan tegangan DC. Bagian selanjutnya dari percobaan ini akan memungkinkan anda untuk menggunakan rangkaian ini untuk memodulasi, mentransmisi, dan mendemodulasi sebuah sinyal uji (gelombang sinus).

38. Putar kontrol *soft G* pada modul Tuneable Low-pass Filter sepenuhnya searah jarum jam.
39. Putar kontrol *Cut-off Frequency Adjust* pada modul Tuneable Low-pass Filter sepenuhnya ke arah berlawanan arah jarum jam.
40. Modifikasi rangkaian seperti pada Gambar 3. 15 di bawah.



Gambar 3. 14

Modifikasi pada modulator FM ini bisa direpresentasikan pada diagram blok pada Gambar 3. 14. Perhatikan bahwa sinyal pesannya ini disediakan oleh output 2kHz SINE pada modul Master Signals.



Gambar 3. 15

41. Ubah pengaturan ini pada osiloskop:
 - *Scale Channel A* : 1V/div
 - *Scale Channel B* : 500mV/div
 - *Input Coupling* : AC

- *Trigger Source* : CH A

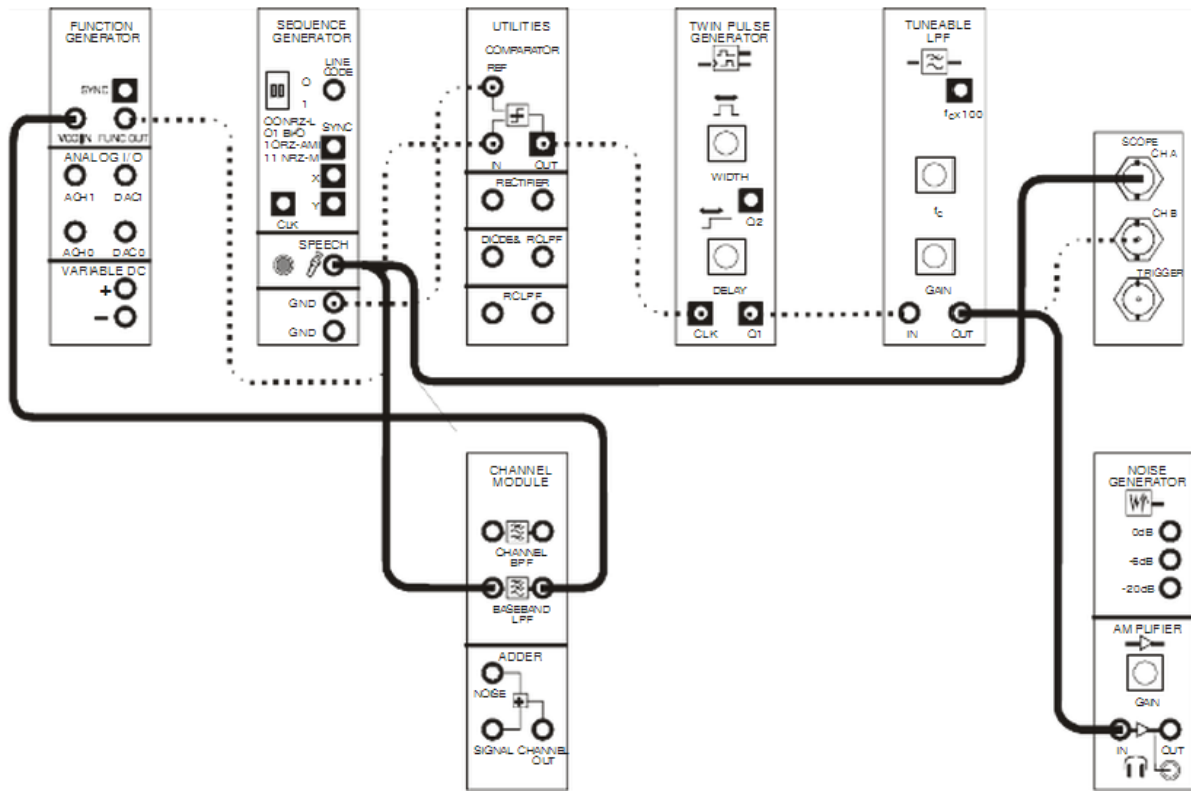
42. Naikkan kontrol *Cut-off Frequency Adjust* pada modul Tuneable Low-pass Filter hingga output modulnya merupakan salinan dari sinyal pesan. Gambarkan sinyal yang terbentuk di tampilan osiloskop pada BCL.

Pertanyaan 7: Apa yang dapat anda ketahui tentang *duty cycle* sinyal ZCD berdasarkan sinyal output modulator FM?

Bagian E – Mentransmisikan dan Memulihkan Ucapan dengan FM

Bagian terakhir dari percobaan ini memungkinkan anda untuk menggunakan rangkaian yang ada untuk memodulasi, mentransmisikan, dan mendemodulasi ucapan.

- 43. Lepaskan kabel dari output SINE 2kHz pada modul Master Signals.
- 44. Modifikasi rangkaian seperti pada Gambar 3. 16 di bawah.



Gambar 3. 16

- 45. Temukan modul Amplifier pada DATEx SFP dan putar kontrol *soft G*-nya sepenuhnya ke arah berlawanan arah jarum jam.
- 46. Kenakan *headphone* dan atur kontrol *soft-G* pada modul Amplifier ke level suara yang nyaman.

- Bicaralah ke dalam mikrofon sambil memperhatikan tampilan osiloskop sekaligus sambil mendengarkan *headphone*. Setelah itu, gambarkan kedua bentuk sinyal yang teramati di osiloskop pada BCL.

Percobaan 2 – *Signal-to-Noise Rasio* dan *Eye Diagrams*

Prosedur Percobaan

Bagian A – Menambahkan *Noise* ke Sinyal

Untuk menentukan *signal-to-noise ratio*, anda perlu sebuah model sinyal pesan dengan *noise* yang ditambahkan ke dalamnya. Bagian pertama dari eksperimen membantu anda untuk menyiapkannya. Untuk tujuan ini, sinyal apapun dapat digunakan untuk memodelkan sebuah pesan termasuk gelombang sinus, ucapan, atau sinyal data digital. Maka dari itu akan digunakan sinyal digital karena sebagian besar sistem komunikasi terkini adalah digital dan anda akan dapat menggunakan sinyal tersebut ketika anda mengamati *eye diagram* di bagian percobaan selanjutnya.

- Temukan modul Sequence Generator pada DATEx SFP dan atur *soft* DIP-switches ke 00.
- Hubungkan rangkaian seperti pada Gambar 3. 17 di bawah.

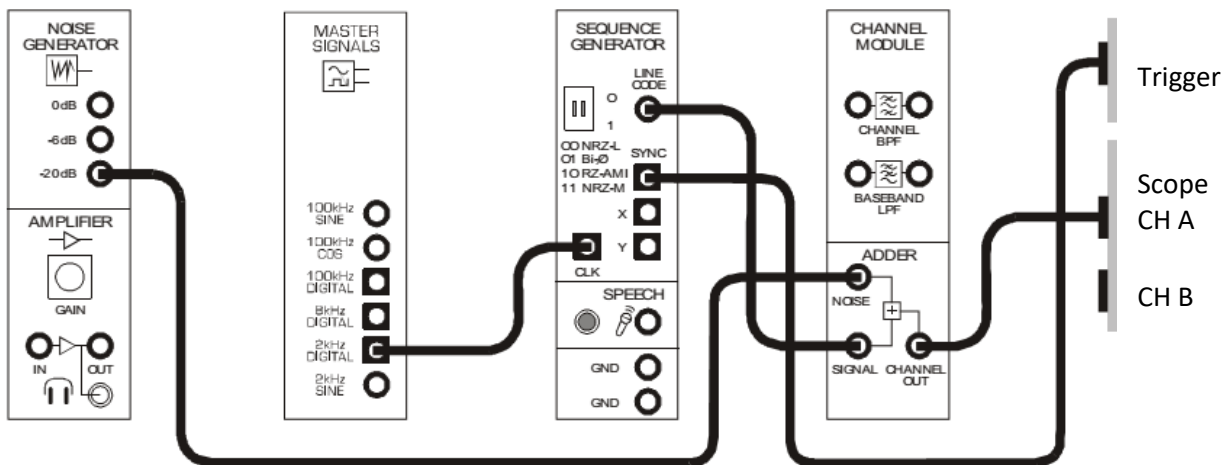
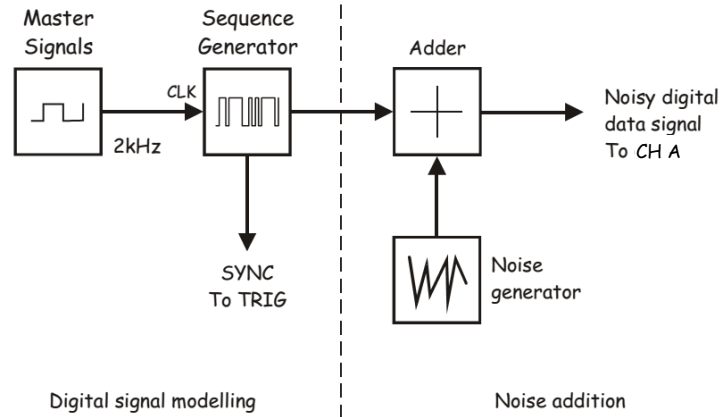


Figure 3. 17

Rangkaian ini dapat direpresentasikan dengan diagram blok seperti pada Gambar 3. 18.



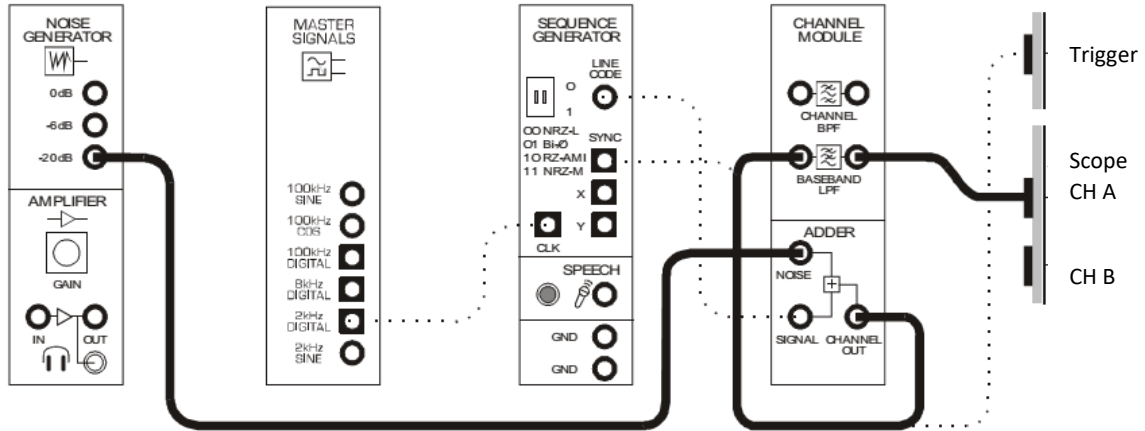
Gambar 3. 18

3. Jalankan NI ELVIS Oscilloscope VI. Amati sinyal dari output modul Adder dan gambarkan sinyal ini di BCL.
4. Lepaskan kabel penghubung dari output -20 dB pada modul Noise Generator dan sambungkan ke output -6 dB-nya. Amati sinyal output dari modul Adder dan gambarkan sinyal ini di BCL.
5. Lepaskan kabel penghubung dari output -6 dB pada modul Noise Generator dan sambungkan ke output 0 dB-nya. Amati sinyal output dari modul Adder dan gambarkan sinyal ini di BCL.

Bagian B – Membatasi Lebar *Bandwidth* Sinyal Ber-noise

Pengukuran SNR pada sistem komunikasi biasanya dilakukan pada output *receiver* dan terdapat implikasi penting dari hal ini. Untuk menjelaskan hal ini, *noise* dapat masuk ke sistem komunikasi pada tahap manapun dalam model komunikasi. Namun, kanal komunikasi biasanya menjadi titik masuk yang paling mungkin karena kerentanannya (dan keterbatasan untuk mengendalikannya). Hal ini berarti bahwa *noise* yang masuk ke sistem selalu dibatasi *bandwidth*-nya oleh respons kanal dengan cara yang sama seperti respons sinyalnya itu sendiri. Dengan demikian, untuk pengukuran SNR yang akan anda lakukan di percobaan agar dapat memodelkan secara akurat pengukuran SNR, anda harus membatasi *bandwidth* sinyalnya maupun *noise*-nya. Bagian selanjutnya dari percobaan ini menginstruksikan anda untuk melakukan hal tersebut.

6. Modifikasi rangkaian seperti pada Gambar 3. 19.



Gambar 3. 19

Hal ini dapat direpresentasikan dengan diagram blok pada Gambar 3. 20.

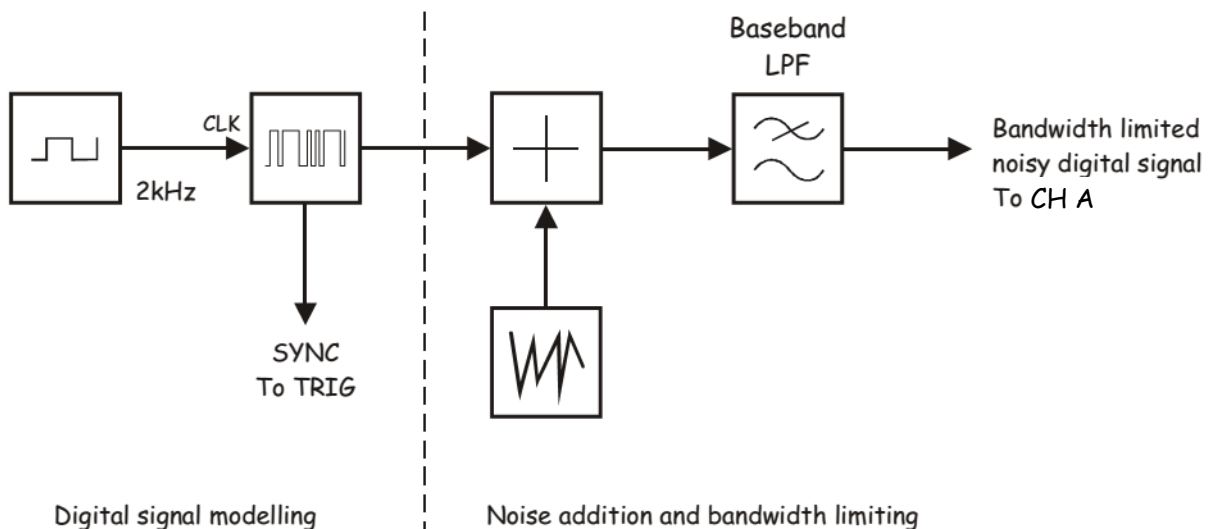


Figure 3. 20

7. Amati sinyal output Baseband LPF dan gambarkan hasilnya di BCL.
8. Lepaskan kabel penghubung dari output -20 dB pada modul Noise Generator dan sambungkan ke output -6 dB-nya. Amati sinyal output dari modul Adder dan gambarkan hasilnya di BCL.
9. Lepaskan kabel penghubung dari output -6 dB pada modul Noise Generator dan sambungkan ke output 0 dB-nya. Amati sinyal output dari modul Adder dan gambarkan hasilnya di BCL.

Bagian C – Menentukan *Signal-to-Noise Ratio (SNR)*

Ingat bahwa *signal-to-noise ratio (SNR)* dapat dihitung dengan dua cara, dan keduanya dituliskan dalam decibel. Bagian selanjutnya dalam percobaan ini akan menginstruksikan anda untuk melakukan hal ini.

10. Lepaskan kabel penghubung ke output 0 dB pada modul Noise Generator dan biarkan terlepas untuk sementara waktu.
11. Tentukan nilai tegangan RMS sinyal data digital dan catat nilainya pada Tabel 3. 1.

12. Hubungkan kembali input NOISE pada modul Adder ke output -20dB pada modul Noise Generator.
13. Lepaskan kabel penghubung antara output LINE CODE pada modul Sequence Generator dan output SIGNAL pada modul Adder.
14. Catat tegangan RMS *noise*-nya pada Tabel 3. 1.
15. Gunakan tegangan sinyal dan *noise* untuk mengukur SNR dari sinyal pada output modul Adder. Catat hasilnya di Tabel 3. 1.
16. Ubah SNR ke decibels dan catat nilai ini juga.
17. Hubungkan kembali kabel sambungan antara output LINE CODE pada modul Sequence Generator dan input SIGNAL pada modul Adder.
18. Catat nilai tegangan RMS “*signal plus noise*”.
19. Gunakan tegangan “*signal plus noise*” dan *noise* untuk menghitung dan mencatat *alternate signal-to-noise ratio* dari sinyal pada output modul Adder.
20. Konversikan *alternate SNR* ke decibels.

Tabel 3. 1

Signal voltage	
Noise voltage	
Signal-to-noise ratio (SNR)	
SNR (in decibels)	
Signal plus noise voltage	
Alternate SNR	
Alternate SNR (in decibels)	

21. Lepaskan kabel penghubung antara output LINE CODE pada modul Sequence Generator dan input SIGNAL pada modul Adder.
22. Lepaskan kabel penghubung ke output -20 dB modul Noise Generator dan hubungkan ke output 0 dB pada modulnya.
23. Ulangi Langkah 14-20 dan catat hasilnya pada Tabel 3. 2.

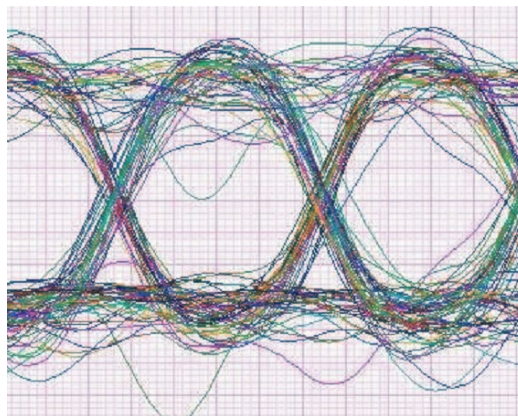
Tabel 3. 2

Signal voltage	See Table 1
Noise voltage	
Signal-to-noise ratio (SNR)	
SNR (in decibels)	
Signal plus noise voltage	
Alternate SNR	
Alternate SNR (in decibels)	

Bagian D – Eye Diagrams

Metode inspeksi visual konvensional pada sinyal data digital yang *noisy* menggunakan osiloskop tidak efektif karena anda hanya akan melihat tegangan sinyalnya dalam jumlah bit yang relatif kecil. Ditambah lagi, sifat acak dari *noise* bisa menyebabkan tingkat logika yang salah ketika anda sedang tidak mengamati layar osiloskop.

Untuk mengatasi masalah ini, anda bisa menggunakan sinyal data digital untuk membuat osiloskop membantu *Eye Diagrams*. *Eye Diagrams* disebut demikian karena bentuk gambar yang mereka ciptakan di layar osiloskop. Contoh *Eye Diagrams* dapat dilihat pada Gambar 3. 21.

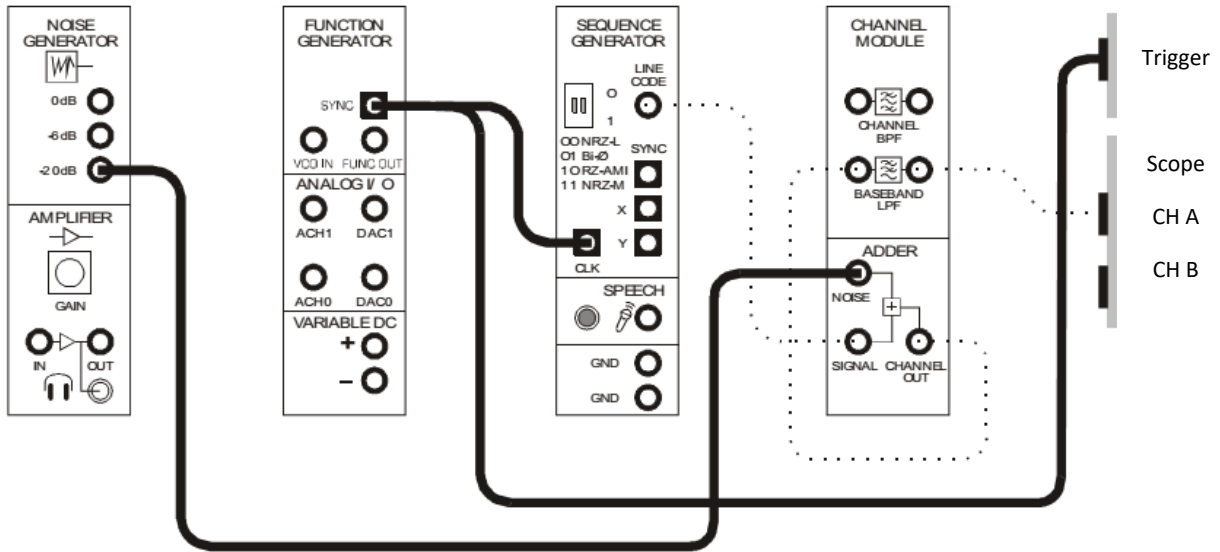


Gambar 3. 21

Eye Diagrams dihasilkan dengan cara mengamati sinyal data digital menggunakan salah satu kanal osiloskop sambil men-*trigger* osiloskop menggunakan bit *clock* dari sinyal data digital tersebut. Hal ini menyebabkan tampilan osiloskop menjadi tidak stabil (yakni, tanpa *trigger*). Akan tetapi, dalam konteks ini, hal inilah yang menyebabkan seluruh kombinasi bentuk gelombang yang dapat dibuat oleh

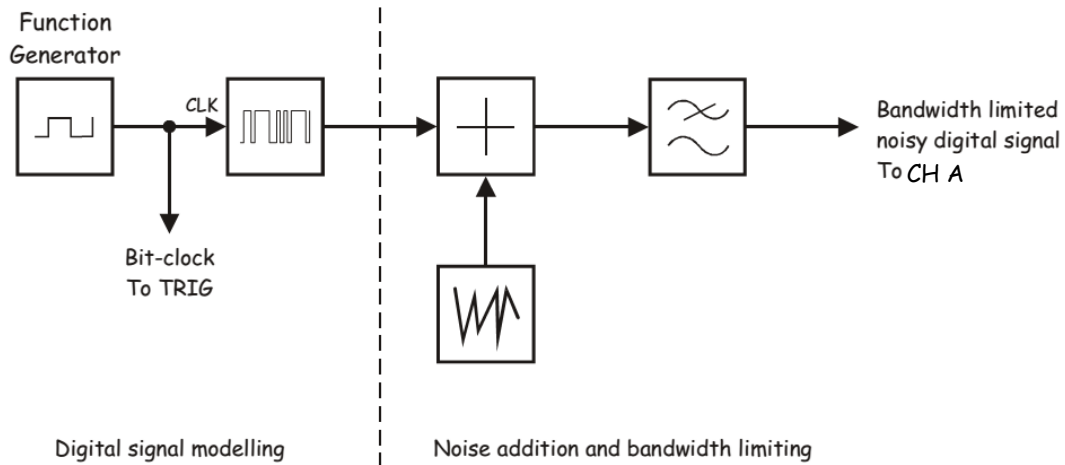
sinyal data digital saling menumpuk (terlihat seakan-akan semuanya muncul di layar secara bersamaan, tetapi sebenarnya ini hanyalah kecenderungan persistensi tampilan layar CRT).

24. Modifikasi rangkaian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. 22 di bawah.



Gambar 3. 22

Rangkaian di atas dapat direpresentasikan dengan diagram blok seperti pada Gambar 3. 23.



Gambar 3. 23

Clock untuk modul Sequence Generator kini disuplai oleh generator sinyal sehingga kecepatan datanya dapat divariasikan (akan dibahas lebih lanjut). Hal yang penting adalah, *clock* tersebut digunakan untuk *men-trigger* osiloskop agar menghasilkan tampilan yang tidak stabil seperti yang telah disebutkan sebelumnya.

25. Buka dan jalankan NI ELVIS Function Generator VI.
26. Setel frekuensi keluaran dari generator sinyal ke 2 kHz.
27. Buka NI ELVIS Oscilloscope VI.

Anda sekarang seharusnya dapat mengamati pada tampilan osiloskop bahwa sinyal data digitalnya mengalami sedikit distorsi. Ingat bahwa distorsi ini disebabkan oleh respons frekuensi kanal (dimodelkan oleh Baseband LFP) dan *noise* level rendah yang ditambahkan ke sinyal.

Anda akan melihat bahwa osiloskop NI ELVIS menampilkan informasi yang sedikit mirip dengan *Eye Diagram*. Namun, tanpa persistensi tampilan osiloskop CRT, inilah hasil terdekat yang bisa dicapai. Oleh karena itu, anda akan menggunakan Eye Diagram Virtual Instrument. VI ini menggunakan perangkat keras osiloskop NI ELVIS untuk melihat sinyal digital seperti yang dilakukan pada umumnya. Akan tetapi, VI ini akan menyimpan *trace* yang dihasilkan oleh setiap *sweep* pada tampilan dengan menuliskan *trace* baru di atas yang lama dengan warna yang berbeda. Hal ini secara efektif mereproduksi persistensi tampilan osiloskop CRT dalam sebuah perangkat lunak.

28. Tutup jendela NI ELVIS Oscilloscope VI.
29. Buka dan jalankan DATEx Eye Diagram Virtual Instrument.
30. Biarkan Eye Diagram VI untuk berjalan hingga satu atau dua menit untuk mengamati pola yang terbentuk kemudian gambarkan pola ini di BCL.
31. Hentikan DATEx Eye Diagram VI dengan mengklik tombol STOP.
32. Naikkan nilai komponen *noise* sinyal digitalnya ke -6 dB dan ulangi Langkah 29-31.
33. Naikkan nilai komponen *noise* sinyal digitalnya ke 0 dB dan ulangi Langkah 29-31.

Seperti yang Anda lihat selama percobaan ini, *noise* bukanlah satu-satunya faktor yang mendistorsi sinyal data digital. Respons frekuensi kanalnya juga berperan. Hal ini terjadi karena sinyal data digital terdiri dari banyak gelombang sinus (baik fundamental maupun harmoniknya) dan banyak di antaranya berada di luar *passband* kanalnya sehingga mengalami atenuasi. Hal inilah yang menyebabkan perubahan bentuk sinyal digital tidak bisa dihindarkan.

Tingkat distorsi merupakan fungsi dari *bit-clock* dari sinyal data digitalnya serta fungsi dari *bandwidth* kana. Bagian selanjutnya dari percobaan ini akan memungkinkan anda untuk mengamatinya secara langsung.

34. Kurangi lagi komponen *noise* sinyal digitalnya menjadi -6dB.
35. Jalankan lagi Eye Diagram VI dan perhatikan selama beberapa menit.
36. Biarkan Eye Diagram VI berjalan selama satu sampai dua menit lalu gambarkan pola *Eye Diagram* yang terbentuk kemudian hentikan DATEx Eye Diagram VI.
37. Naikkan nilai *bit clock* sinyal data digital dengan cara menaikkan frekuensi output generator sinyal ke 4 kHz.
38. Ulangi Langkah 36.

Tugas Pendahuluan Modul 4

1. Apa itu proses *sampling* dan rekonstruksi sebuah sinyal? Jelaskan dengan contoh!
2. Apa pentingnya *encoding* dalam proses komunikasi?
3. Bagaimana proses *encoding* sebuah sinyal?
4. Apa itu Amplitude Shift Keying?
5. Gambarkan sinyal ASK berdasarkan sinyal digital yang digunakan untuk membuatnya!

Modul 4

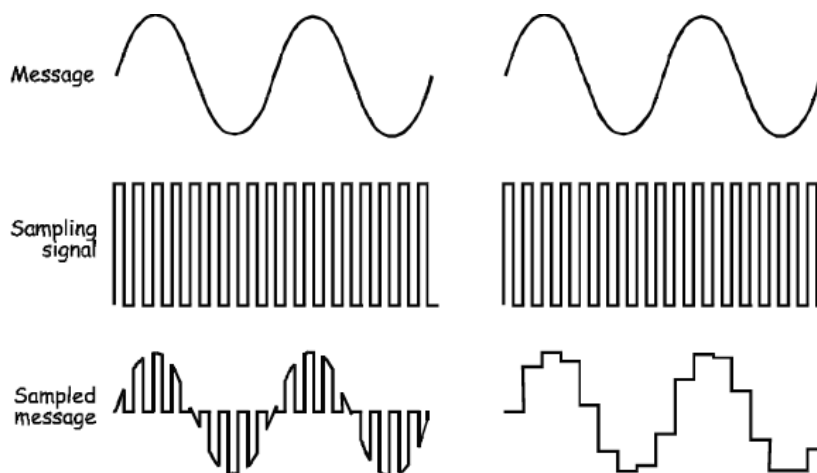
Percobaan 1 – *Sampling* dan Rekonstruksi

Diskusi Awal

Sejauh ini, percobaan yang ada di panduan ini hanya berfokus pada sistem komunikasi yang mentransmisikan sinyal analog. Akan tetapi, transmisi digital semakin cepat menggantikan sistem analog dalam aplikasi komunikasi komersial. Ada beberapa alasan untuk perubahan ini, salah satunya adalah berkat kemampuan sinyal digital untuk tahan terhadap interferensi yang disebabkan oleh *noise* elektrik.

Sudah banyak sistem transmisi digital yang dirancang dan beberapa di antaranya akan dipelajari pada percobaan-percobaan selanjutnya di praktikum ini. Terlepas dari metode apapun yang digunakan, ketika informasi yang akan ditransmisikan (yang disebut sebagai sinyal pesan) merupakan sinyal analog (seperti ucapan atau musik), sinyal tersebut harus dikonversi terlebih dahulu menjadi sinyal digital. Proses ini melibatkan *sampling*, yakni sebuah proses yang melakukan pengukuran tegangan sinyal analog pada interval waktu yang teratur.

Gambar 4. 1 (a) di bawah menunjukkan sebuah gelombang sinus murni sebagai sinyal pesannya. Di bawah gambar sinyal pesan tersebut adalah sinyal *sampling digital* yang digunakan untuk memberitahu rangkaian *sampling*-nya kapan harus membaca nilai tegangan sinyal pesan. Gambar di bawahnya lagi adalah hasil dari "*sampling natural*" dengan kecepatan *sampling* yang ditetapkan oleh sinyal *sampling*. Jenis *sampling* ini disebut "*natural*" karena, selama durasi pembacaan nilai tegangan sinyal analognya, setiap perubahan pada tegangannya juga diukur. Untuk beberapa sistem digital, *sample* yang berubah-ubah tidak dapat ditoleransi. Gambar 4. 1 (b) menunjukkan sistem digital alternatif yang membuat ukuran sampelnya ditetapkan di saat dimulainya pengukuran. Skema ini dikenal dengan istilah *sample-and-hold* (dan dikenal juga dengan sebutan *pulse amplitude modulation*).



Gambar 4. 1 (a)

(b)

Terlepas dari metode *sampling* yang digunakan, menurut definisinya, *sampling* hanya menangkap bagian-bagian dari sinyal pesannya. Jadi, bagaimana sinyal yang di-*sample* bisa digunakan bisa digunakan untuk memulihkan sinyal pesannya secara keseluruhan? Pertanyaan ini dapat dijawab dengan memperhatikan model matematika yang mendefinisikan sinyal hasil *sampling*:

$$\text{Sinyal Pesan Tersampel} = \text{sinyal } \textit{sampling} \times \text{sinyal pesan}$$

Seperti yang bisa anda lihat, *sampling* sebenarnya perkalian antara sinyal pesan dengan sinyal *sampling*. Ditambah lagi, karena sinyal *sampling* adalah sinyal digital yang terdiri dari tegangan DC dan beberapa gelombang sinus (fundamental dan harmoniknya), persamaannya dapat ditulis sebagai:

$$\text{Sinyal Pesan Tersampel} = (\text{DC} + \text{fundamental} + \text{harmonik}) \times \text{sinyal pesan}$$

Ketika sinyal pesannya merupakan gelombang sinus sederhana (seperti pada Gambar 4. 1), solusi persamaannya (yang biasanya melibatkan trigonometri dan tidak akan ditunjukkan di sini) akan memberikan gambaran bahwa sinyal pesan tersampel itu terdiri dari:

- Sebuah gelombang sinus yang memiliki frekuensi yang sama dengan sinyal pesan
- Sepasang gelombang sinus yang merupakan hasil penjumlahan dan selisih frekuensi fundamental dan frekuensi sinyal pesannya.
- Beberapa pasang gelombang sinus lainnya yang merupakan penjumlahan dan selisih harmonik dari sinyal *sampling* dan harmonik dari sinyal pesan.

Hal ini akan mengakibatkan banyaknya gelombang sinus yang terbentuk, tetapi hanya satu yang memiliki frekuensi yang sama seperti frekuensi sinyal pesannya. Jadi, untuk memulihkan sinyal pesannya, hal yang harus dilakukan adalah melewati sinyal tersampelnya ke filter *lowpass*. Sesuai namanya, filter jenis ini akan melewati sinyal dengan frekuensi rendah, tetapi menolak sinyal dengan frekuensi tinggi.

Dengan begitu, untuk menjamin keberhasilan ini, ada sedikit masalah yang harus ditangani yang akan didiskusikan di Bagian E dari percobaan ini.

Percobaan yang Dilakukan

Untuk percobaan ini, anda akan menggunakan Emona DATEx untuk mensampel sinyal pesan menggunakan *sampling* natural lalu menggunakan skema *sample-and-hold*. Anda kemudian akan melihat sinyal pesan tersampel dalam domain frekuensi dengan menggunakan NI ELVIS Dynamic Signal Analyzer. Terakhir, anda akan memulihkan sinyal pesan dari sinyal tersampelnya dan mengamati efek dari sebuah masalah yang disebut dengan *aliasing*.

Peralatan

- Komputer yang sudah terpasang perangkat lunak yang mendukung
- NI ELVIS, NI-DAQ, kabel USB, dan adaptor daya
- Modul eksperimental tambahan Emona DATEx
- Dua kabel penghubung BNC ke kabel *banana* 2mm
- Berbagai macam kabel penghubung *banana* ke *banana*

Prosedur Percobaan

Bagian A – Men-*sampling* Sinyal Pesan Sederhana

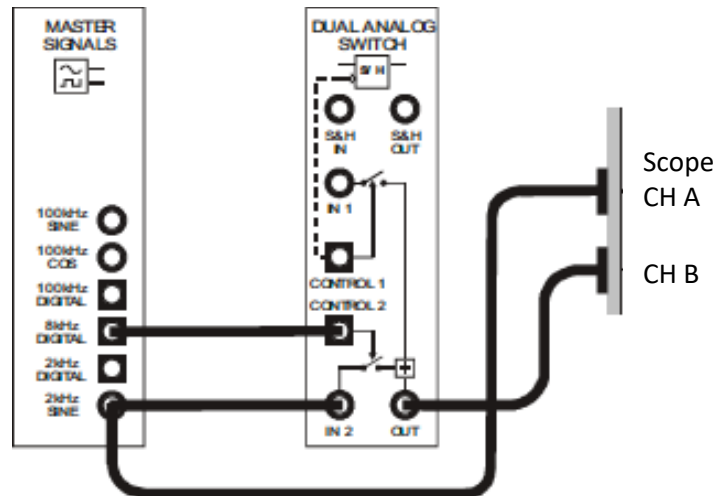
Emona DATEx memiliki modul Dual Analog Switch yang telah didesain untuk melakukan *sampling*. Bagian pertama pada percobaan ini akan memungkinkan anda untuk menggunakan modul ini untuk mensampel sebuah sinyal pesan sederhana dengan dua cara.

1. Pastikan bahwa saklar daya pada NI ELVIS dalam keadaan mati.
2. Pasang secara perlahan modul eksperimen tambahan Emona DATEx ke NI ELVIS.
3. Atur saklar Control Mode pada modul DATEx (pojok kanan atas) ke PC Control.
4. Sambungkan NI ELVIS ke PC menggunakan kabel USB.

Catatan: Hal ini mungkin sudah dilakukan oleh asisten.

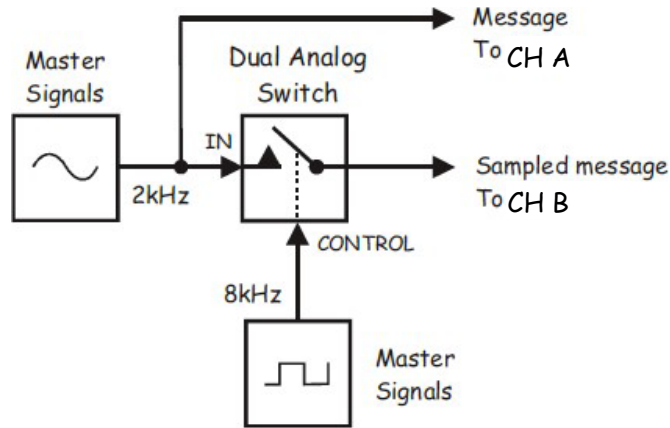
5. Nyalakan saklar daya NI ELVIS di belakang unitnya lalu nyalakan saklar daya Prototyping Board di pojok kanan atas dekat indikator daya.
6. Nyalakan PC hingga selesai *boot-up*.
7. Jalankan perangkat lunak NI ELVIS Traditional.
8. Hubungkan rangkaian seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4. 2 di bawah.

Catatan: Masukkan *plug* hitam dari kabel osiloskop ke soket ground (GND).



Gambar 4. 2

Rangkaian di atas dapat direpresentasikan dengan diagram blok seperti pada Gambar 4. 3 di bawah. Rangkaian ini menggunakan saklar yang dikontrol secara elektrik untuk menghubungkan sinyal pesan (output 2kHz SINE dari modul Master Signals) ke output modulnya. Saklar elektrik ini dibuka dan ditutup oleh output 8kHz Digital dari modul Master Signals.



Gambar 4. 3

9. Buka dan jalankan NI ELVIS Oscilloscope VI.
10. Atur osiloskop dengan pengaturan berikut: Kontrol Timebase ke posisi 100us/div
11. Atur kontrol Timebase osiloskop untuk menampilkan sekitar dua periode dari output SINE 2kHz modul Master Signals.
12. Nyalakan input kanal B osiloskop (dengan mencentang kotak Channel B Enabled) untuk mengamati sinyal pesan tersampel yang keluar dari modul Dual Analog Switch serta mengamati sinyal pesannya.

Tip: Agar dapat mengamati kedua gelombang dengan jelas, Anda mungkin perlu untuk mengatur pengaturan tampilan osiloskopnya sehingga kedua sinyal tidak saling tumpang tindih.

13. Gambarkan kedua gelombang pada BCL.

Tip: Gambar sinyal pesan di sepertiga atas dan sinyal pesan tersampelnya di sepertiga tengah.

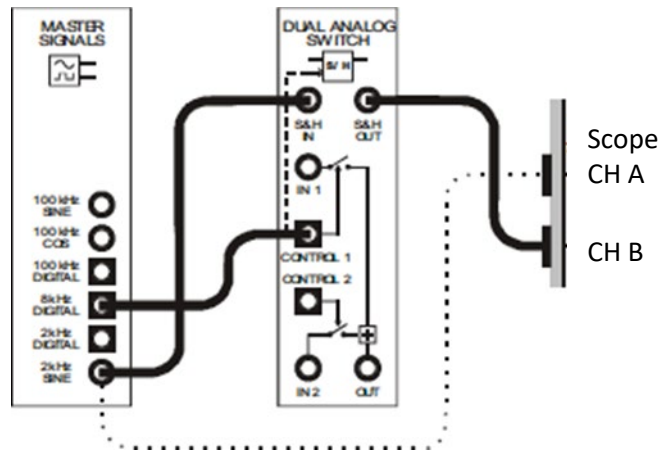
Pertanyaan 1: Apa jenis sampling untuk contoh ini?

- Natural
- Sample-and-hold

Pertanyaan 2: Dua fitur apa sajakah yang dapat mengkonfirmasi jenis sampling apa yang digunakan pada contoh ini sesuai dengan jawaban Anda pada Pertanyaan 1?

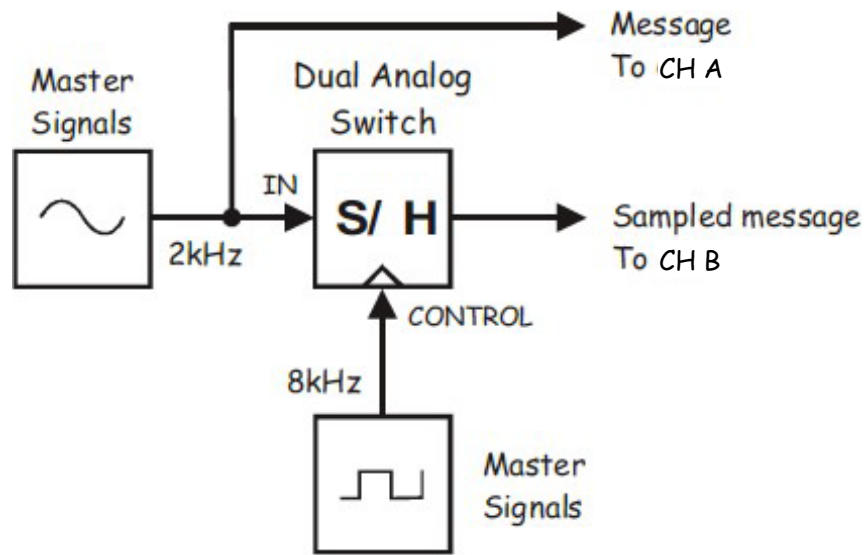
14. Modifikasi rangkaian seperti pada Gambar 4. 4 di bawah.

Modifikasi rangkaian yang ditunjukkan pada Gambar 4. 4 di bawah hanya menambahkan beberapa bagian dari rangkaian yang sudah dibuat sehingga jangan langsung diubah seluruhnya. Untuk menyoroti modifikasi yang perlu anda lakukan, kami akan menampilkan rangkaian yang sudah dibuat dengan garis putus-putus.



Gambar 4. 4

Rangkaian ini dapat direpresentasikan dengan diagram blok seperti pada Gambar 4. 5. Saklar yang terkontrol secara elektrik pada rangkaian sebelumnya telah digantikan dengan rangkaian *sample-and-hold*. Akan tetapi, sinyal pesan dan sinyal *sampling*-nya tetap sama (yakni, gelombang sinus 2kHz dan *pulse train* 8kHz).



Gambar 4. 5

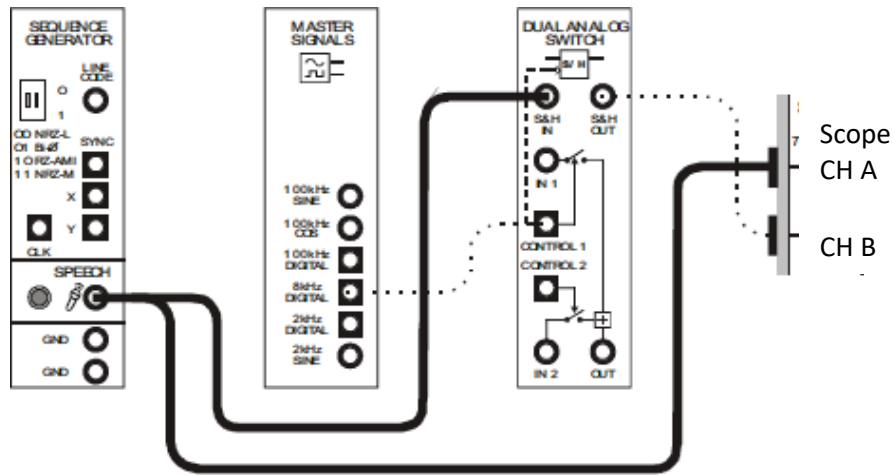
15. Gambarkan kedua sinyal pesan ini (asil dan hasil *sampling*) di BCL.

Pertanyaan 4: Dua fitur apa sajakah yang dapat mengkonfirmasi bahwa rangkaian ini memodelkan skema *sample-and-hold*?

Bagian B – Men-*sampling* Ucapan

Di bagian sebelumnya telah dilakukan pen-*sampling*-an untuk gelombang sinus 2kHz. Akan tetapi, sinyal pesan pada sistem komunikasi digital komersial jauh lebih banyak dalam bentuk ucapan atau musik. Bagian selanjutnya dari percobaan ini memungkinkan anda melihat bentuk dari sinyal ucapan tersampel.

16. Lepaskan kabel dari output 2kHz SINE pada modul Master Signals.
17. Hubungkan kabel tersebut ke output modul Speech seperti pada Gambar 4. 6 di bawah.



Gambar 4. 6

18. Atur kontrol Timebase osiloskop ke posisi 500us/div.
19. Cobalah untuk berdeung dan berbicara ke mikrofon sambil mengamati tampilan osiloskop. Gambarkan kedua sinyal yang terbentuk di osiloskop pada BCL.

Bagian C – Pengamatan dan Pengukuran Sinyal Pesan Tersampel pada Domain Frekuensi

Ingat bahwa sinyal pesan tersampel terdiri dari banyak gelombang sinus. Untuk setiap gelombang sinus di sinyal pesan asli, akan ada gelombang sinus di sinyal pesan pesan tersampel dengan frekuensi yang sama. Hal ini dapat dibuktikan dengan NI ELVIS Dynamic Signal Analyzer. Alat ini melakukan analisis matematis yang disebut dengan Fast Fourier Transform (FFT) yang memungkinkan setiap gelombang sinus yang membuat sebuah bentuk gelombang kompleks untuk ditampilkan secara terpisah pada grafik domain frekuensi. Bagian percobaan ini memungkinkan anda untuk mengamati sinyal pesan tersampel ini pada domain frekuensi.

20. Kembalikan kontrol Timebase osiloskop ke posisi 100us/div.
21. Putuskan kabel dari output modul Speech dan hubungkan kabel itu kembali ke output 2kHz SINE pada modul Master Signals.

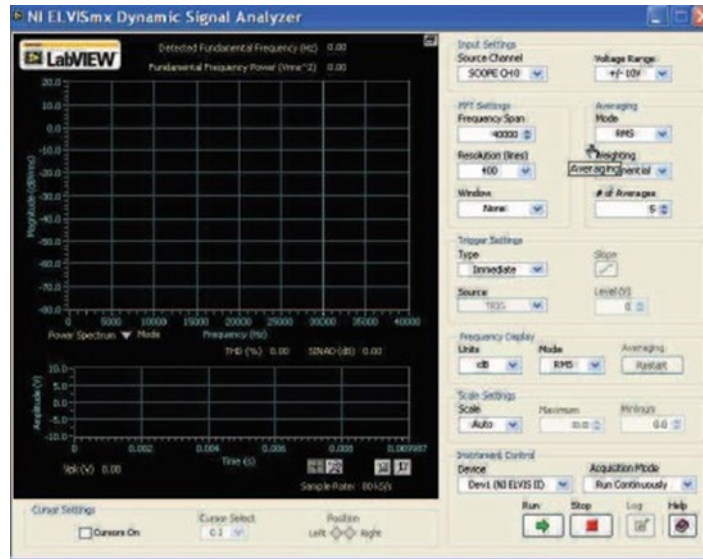
Catatan: Tampilan osiloskop seharusnya menampilkan gelombang sinus yang sudah Anda gambar pada Langkah 15.

22. Pertahankan pengoperasian tampilan VI osiloskop dengan mengklik kontrol Stop-nya sekali.

Catatan: Tampilan osiloskop seharusnya berhenti bergerak dan hardware-nya akan ternonaktifkan. Hal ini adalah langkah yang harus dilakukan karena osiloskop dan signal analyzer menggunakan resource hardware yang sama sehingga mereka tidak dapat dioperasikan secara bersamaan.

23. Jalankan NI ELVIS Dynamic Signal Analyzer VI.

Catatan: Jika VI Signal Analyzer sudah berhasil terbuka, jendela instrumennya akan tampak (lihat Gambar 4. 7).



Gambar 4. 7

24. Atur kontrol Signal Analyzer seperti berikut:

Input Settings

- Source Channel to SCOPE CH B
- Voltage Range to $\pm 10V$

FFT Settings

- Frequency Span to 40,000
- Resolution to 400
- Window to 7 Term B-Harris

Trigger Settings

- Type to Edge

Frequency Display

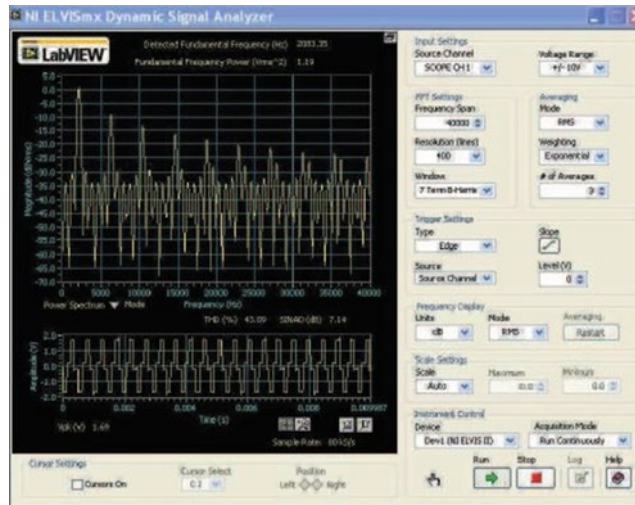
- Units to dB
- Mode to RMS
- Scale to Auto
- Markers to OFF (for now)

Averaging

- Mode to RMS
- Weighting to Exponential
- # of Averages to 3

25. Klik kontrol Run pada Signal Analyzer dan gambarkan bentuk sinyal yang teramati di BCL.

Catatan: Jika VI Signal Analyzer VI sudah berjalan dengan benar, tampilannya akan terlihat seperti Gambar 4. 8 di bawah.



Gambar 4. 8

Signal Analyzer ini sebenarnya memiliki dua tampilan, satu yang besar dan satu yang kecil. Tampilan yang kecil adalah representasi domain waktu dari inputnya (dengan kata lain, tampilan ini adalah tampilan osiloskop).

Tampilan yang lebih besar adalah representasi domain frekuensi dari bentuk gelombang kompleks dari inputnya (sinyal pesan tersampel). Tonjolan yang muncul merepresentasikan gelombang sinus dan, seperti yang bisa anda lihat, sinyal pesan tersampel ini terdiri dari banyak gelombang sinus ini. Sebagai catatan tambahan, tonjolan ini seharusnya berbentuk garis lurus saja. Akan tetapi, implementasi praktis FFT tidak seakurat hasil teoritis.

26. Nyalakan Marker pada Signal Analyzer dengan mencentang kotak Markers.

Catatan: Saat anda melakukannya, garis hijau horizontal dan vertikal akan tampak pada tampilan domain frekuensi pada Signal Analyzer.

NI ELVIS Dynamic Signal Analyzer memiliki dua Markers, M1 dan M2, yang akan selalu muncul dari sisi ter kiri tampilan ketika Signal Analyzer VI pertama kali dibuka. Posisi kedua Marker ini dapat diubah dengan cara “mengambil” garis vertikalnya dengan *mouse* dan menggesernya ke kiri atau kanan.

27. Gunakan *mouse* untuk mengambil dan menggeser garis vertikal dari Marker M1.

Catatan: Saat melakukannya, perhatikan bahwa Marker M1 bergeser mengikuti pola sinyal pada tampilan Signal Analyzer serta garis horizontal dan vertikalnya akan bergeser sehingga keduanya selalu berpotongan di M1.

28. Ulangi Langkah 27 untuk Marker M2.

Catatan: Fine control posisi Marker dapat dilakukan dengan menggunakan kontrol Marker Position pada daerah Marker Settings (di bawah tampilan).

NI ELVIS Dynamic Signal Analyzer memiliki sebuah fitur untuk mengukur perbedaan magnitudo dan frekuensi dari kedua Markers. Informasi ini ditampilkan dengan warna hijau di antara bagian atas dan bawah tampilan.

29. Pindahkan Markers sambil mengamati bacaan hasil pengukuran untuk mengamati dampaknya.
30. Posisikan kedua Markers sehingga keduanya saling tumpang-tindih dan catat hasil ukurnya.

Catatan: Saat Anda melakukannya, hasil pengukuran selisih magnitudo dan frekuensi akan bernilai nol.

Biasanya, ketika salah satu Marker dipindahkan ke sisi paling kiri, posisinya dalam sumbu-x adalah nol. Hal ini berarti Marker-nya berada di posisi 0 Hz. Hal ini juga berarti bahwa bacaan hasil pengukuran akan menjadi referensi nol untuk Marker lainnya, mengingat bahwa bacaan hasil pengukuran ini merupakan selisih antara nilai dua Marker.

31. Geser M2 ke posisi paling kiri dari layar.
32. Pindahkan M1 ke titik tertinggi di antara tonjolan-tonjolan yang ada di tampilan.

Catatan: Bacaan hasil pengukuran akan menampilkan frekuensi gelombang sinus yang direpresentasikan oleh tonjolan tersebut.

Ingat bahwa sinyal pesan yang disampel ini adalah gelombang sinus 2kHz. Recall that the message signal being sampled is a 2kHz sinewave. Ini berarti seharusnya akan ada gelombang sinus 2kHz di sinyal pesan tersampel ini.

33. Gunakan Marker M1 Signal Analyzer untuk mencari gelombang sinus pada sinyal pesan tersampel yang memiliki frekuensi yang sama dengan sinyal pesan aslinya.

Seperti yang sudah dibahas sebelumnya, frekuensi dari seluruh gelombang sinus di sinyal pesan tersampel dapat diprediksi secara matematis. Ingat bahwa sinyal digital, seperti sinyal *clock* pada rangkaian *sampling*, terdiri dari tegangan DC dan banyak gelombang sinus (fundamental dan harmoniknya). Karena skema *sampling*-nya adalah *sample-and-hold*, sinyal digital ini berfungsi sebagai deretan pulsa dan bukan sebagai gelombang persegi. Hal ini berarti komposisi spektrum dari sinyal pesan tersampel ini terdiri dari tegangan DC, frekuensi fundamental, dan frekuensi kelipatan bilangan genap dan ganjil dari frekuensi fundamentalnya. Sebagai contoh, *sampling rate* sebesar 8kHz dari *setup* yang digunakan terdiri dari tegangan DC, sebuah gelombang sinus 8kHz (f_s), sebuah gelombang sinus 16kHz ($2f_s$), sebuah gelombang sinus 24kHz ($3f_s$), dan seterusnya.

Perkalian komponen DC dari sinyal *sampling* dengan sinyal pesan gelombang sinus menghasilkan gelombang sinus pada frekuensi yang sama dengan pesan dan sinyal ini sudah Anda temukan sebelumnya dalam spektrum sinyal pesan tersampelnya.

Perkalian antara sinyal pesan tersampel pada frekuensi fundamental dengan sinyal pesan gelombang sinus akan menghasilkan pasangan gelombang sinus yang memiliki frekuensi sama dengan frekuensi fundamental ditambah dan dikurangi dengan frekuensi sinyal pesannya. Artinya, operasi ini akan menghasilkan gelombang sinus 6kHz ($8\text{kHz} - 2\text{kHz}$) dan 10kHz ($8\text{kHz} + 2\text{kHz}$).

Selain itu, perkalian harmonik dari sinyal pesan tersampel dengan sinyal pesan gelombang sinus akan menghasilkan pasangan gelombang sinus yang memiliki frekuensi sama dengan frekuensi harmonik ditambah dan dikurangi dengan frekuensi sinyal pesan. Artinya, sinyal ini akan memiliki gelombang

sinus dengan frekuensi-frekuensi berikut: 14kHz (16kHz - 2kHz), 18kHz (16kHz + 2kHz), 22kHz (24kHz - 2kHz), 26kHz (24kHz + 2kHz), dan seterusnya.

Semua gelombang sinus jumlah dan selisih dari sinyal pesan tersampel ini disebut dengan *aliases*.

34. Gunakan Marker M1 pada Signal Analyzer untuk menemukan dan mengukur nilai eksak frekuensi dari enam *aliases* pertama sinyal pesan tersampel. Catat hasilnya pada Table 4. 1 di bawah.

Catatan: Frekuensi dari keenam alias ini akan mendekati dengan nilai frekuensi pada penjelasan di atas.

Tabel 4. 1

Alias 1		Alias 4	
Alias 2		Alias 5	
Alias 3		Alias 6	

Mengapa frekuensi aliasnya tidak sama persis dengan yang diprediksi? Anda akan menyadari bahwa frekuensi yang terukur tidak sama persis dengan nilai yang diprediksi secara teoritis. Hal ini bukan merupakan kekurangan dalam teorinya. Untuk menjelaskannya, Emona DATEx telah didesain sedemikian rupa sehingga sinyal yang keluar dari modul Master Signal telah disinkronkan. Kondisi ini diperlukan dalam konteks mengimplementasikan banyak skema modulasi yang digunakan di panduan ini. Untuk mencapai sinkronisasi ini, sinyal 8kHz dan 2kHz diturunkan dari *master crystal oscillator* 100kHz. Konsekuensinya adalah frekuensi sebenarnya adalah 8.3kHz dan 2.08kHz.

Bagian D - Merekonstruksi Sinyal Pesan Tersampel

Setelah membuktikan bahwa sinyal pesan tersampel terdiri dari gelombang sinus pada frekuensi pesan aslinya, tentunya akan lebih mudah untuk memahami bagaimana *low-pass filter* dapat digunakan untuk “merekonstruksi” sinyal pesan aslinya. Rangkaian LPF dapat memilah gelombang sinus yang memiliki frekuensi yang sama dengan frekuensi sinyal pesan aslinya dan menolak gelombang sinus dengan frekuensi yang lebih tinggi. Bagian selanjutnya pada percobaan ini akan memungkinkan Anda untuk melakukan ini.

35. Hentikan pengoperasian Signal Analyzer VI dengan mengklik tombol kontrol Stop-nya sekali.

Catatan: Tampilan Analyzer-nya akan berhenti.

36. Restart VI Osiloskop dengan mengklik tombol kontrol Run-nya sekali.

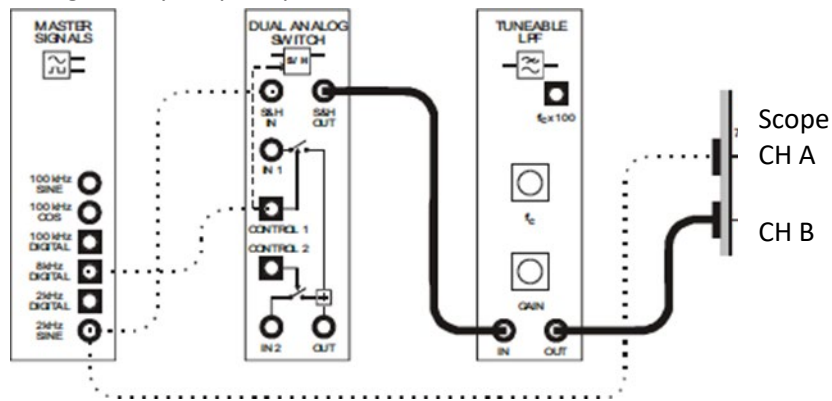
37. Buka DATEx *soft front-panel* (SFP).

38. Periksa apakah Anda dapat menggunakan *soft control* pada DATEx dengan mengaktifkan kontrol PDM/TDM di modul PCM Encoder menggunakan *soft control* dari DATEx SFP.

Catatan: Jika set-up-nya berjalan dengan benar, LED pada modul PCM Decoder di board DATEx-nya akan menyala dan mati.

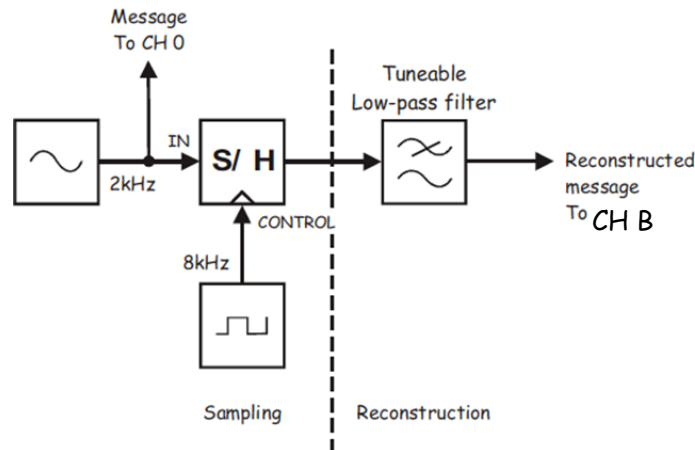
39. Temukan modul Tuneable Low-pass Filter di DATEx SFP dan atur kontrol Gain-nya dengan *soft control* ke posisi tengah.

40. Putar kontrol Cut-off Frequency Adjust pada modul Tuneable Low-pass Filter menggunakan *soft control* sepenuhnya berlawanan arah jarum jam.
41. Modifikasi rangkaiannya seperti pada Gambar 4. 9 di bawah.



Gambar 4. 9

Rangkaian pada Gambar 4. 9 dapat direpresentasikan dengan diagram blok pada Gambar 4. 10 di bawah. Modul Tuneable Low-pass Filter digunakan untuk memulihkan sinyal pesannya. Filter ini disebut "*tuneable*" karena titik saat frekuensinya ditolak (disebut frekuensi *cut-off*) dapat diatur-aturl.



Gambar 4. 10

Untuk sekarang, tidak akan ada sinyal yang keluar dari modul Tuneable Low-pass Filter ini. Hal ini disebabkan karena filter masih diatur untuk menolak semua frekuensi, bahkan sinyal pesannya. Akan tetapi, frekuensi *cut-off*-nya dapat ditingkatkan dengan memutar kontrol Cut-off Frequency Adjust di modulnya searah jarum jam.

42. Putar secara perlahan kontrol Cut-off Frequency pada modul Tuneable Low-pass Filter searah jarum jam dan hentikan saat sinyal pesannya telah berhasil dipulihkan dan dalam keadaan yang cukup sefasa dengan sinyal pesan aslinya. Gambarkan sinyal ini di BCL.

Bagian E - Aliasing

Hingga saat ini, filter hanya melewatkan sinyal pesan ke outputnya. Filter ini dengan mudah menolak gelombang sinus lainnya yang membentuk sinyal pesan tersampelnya (*aliases*-nya). Hal ini hanya bisa terjadi karena frekuensi gelombang sinus lainnya cukup tinggi. Dari hasil pengukuran sebelumnya, kita tahu bahwa frekuensi terendah dari aliasnya adalah 6kHz.

Ingat juga bahwa frekuensi *aliases*-nya ditentukan oleh frekuensi sinyal pesannya (untuk sinyal pesan tertentu). Jadi, misalkan saja frekuensi sinyal *sampling*-nya diturunkan. Salinan sinyal pesannya akan tetap dihasilkan karena salinan ini merupakan fungsi dari komponen DC sinyal *sampling*-nya. Akan tetapi, frekuensi alias-aliasnya akan turun semua. Jika frekuensi sinyal *sampling* cukup rendah satu atau lebih aliasnya akan melewati filter ini bersamaan dengan sinyal pesannya. Tentunya ini akan mendistorsi sinyal pesan yang dipulihkan yang kemudian disebut dengan *aliasing*.

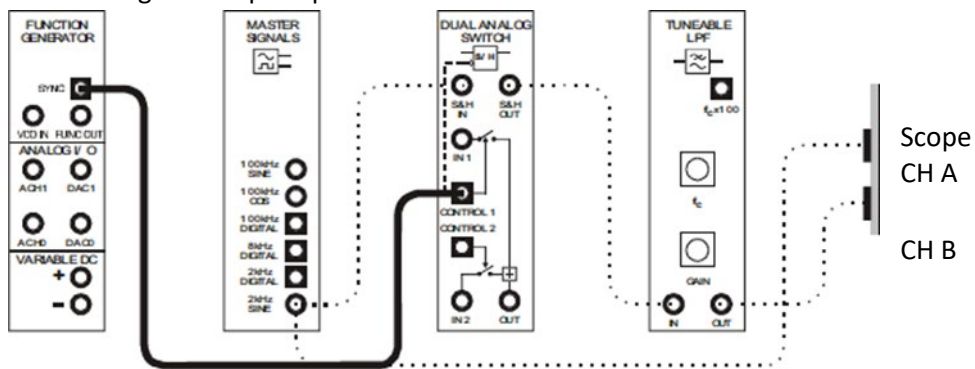
Untuk menghindari *aliasing*, frekuensi minimum sinyal *sampling*, secara teori, haruslah dua kalinya dari frekuensi sinyal pesan (atau dua kalinya dari frekuensi tertinggi pada sinyal pesan apabila sinyal pesannya mengandung lebih dari satu gelombang sinus dan merupakan sinyal *baseband*). Nilai ini dikenal dengan Nyquist Sample Rate dan digunakan untuk membantu memastikan frekuensi sinyal selain pesan pada sinyal pesan tersampel memiliki nilai yang lebih tinggi dari frekuensi sinyal pesannya. Walaupun demikian, tidak ada filter yang sempurna. Penolakan frekuensi di atas frekuensi *cut-off*-nya itu gradual dan tidak instan. Maka dari itu, dalam praktiknya, frekuensi sinyal *sampling* harus sedikit lebih tinggi dari nilai Nyquist Sample Rate.

Bagian selanjutnya dari percobaan ini memungkinkan Anda untuk memvariasikan frekuensi sinyal *sampling*-nya untuk mengamati pengaruh *aliasing*.

- 43. Buka dan jalankan NI ELVIS Function Generator VI.
- 44. Atur frekuensi output generator sinyal ke frekuensi 8kHz.

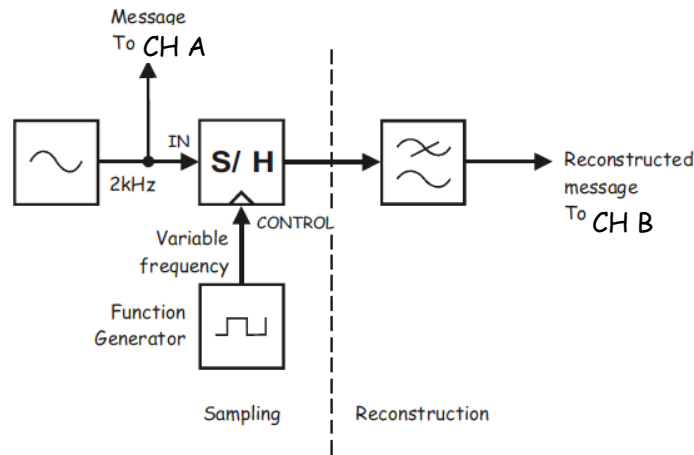
Catatan: Anda tidak perlu mengatur kontrol-kontrol lainnya karena output SYNC generator sinyal akan digunakan dan ini merupakan sinyal digital.

- 45. Modifikasi rangkaian seperti pada Gambar 4. 11 di bawah.



Gambar 4. 2

Rangkaian ini dapat direpresentasikan dengan diagram blok pada Gambar 4. 12 di bawah. Perhatikan bahwa sinyal *sampling*-nya sekarang disediakan oleh generator sinyal yang dapat diubah-ubah frekuensinya.



Gambar 4. 3

Sampai saat ini, proses pen-*sampling*-an sinyal pesan dan pemulihannya seharusnya dapat bekerja seperti sebelumnya.

46. Atur kontrol Timebase osiloskop ke posisi 500us/div. Gambarkan kedua sinyal yang terbentuk pada osiloskop di BCL.
47. Turunkan nilai frekuensi dari output generator sinyalnya menjadi 7000Hz dan amati dampaknya ke sinyal pesan hasil pemulihan. Gambarkan kedua sinyal yang terbentuk di osiloskop pada BCL.

Catatan: Berikan jeda untuk generator sinyal mengeluarkan frekuensi yang baru sebelum mengubahnya lagi.

48. Putuskan sambungan input Kanal B osiloskop dari output modul Tuneable Low-pass Filter dan hubungkan ke output S&H pada modul Dual Analog Switch.
49. Hentikan pengoperasian VI osiloskopnya.
50. *Restart* VI untuk Dynamic Signal Analyzer dan gambarkan bentuk sinyal yang terbentuk pada Signal Analyzer di BCL.

Pertanyaan 4: Apa yang telah terjadi pada alias-alias dari sinyal pesan tersampel?

51. Hentikan pengoperasian VI Signal Analyzer.
52. *Restart* VI Osiloskop.
53. Kembalikan input Kanal B osiloskop ke output modul Tuneable Low-pass Filter.
54. Ulangi Langkah 47 sampai 53 untuk frekuensi generator sinyal 5000Hz dan 3000 Hz.

Pertanyaan 5: Apa nama distorsi yang terjadi apabila frekuensi sampling-nya cukup rendah?

Pertanyaan 6: Apa yang terjadi pada alias dengan frekuensi terendah dari sinyal pesan tersampel ketika sampling rate-nya 4kHz?

55. Tingkatkan frekuensi keluaran generator sinyalnya dengan langkah peningkatan sebesar 200Hz dan hentikan ketika sinyal pesan yang dipulihkan adalah salinan asli yang stabil dan bersih. Gambarkan bentuk sinyal ini di BCL.

56. Catat nilai frekuensi ini di Tabel 4. 2 di bawah.

Tabel 4. 2

	Frequency
Minimum sampling frequency (without aliasing)	

Pertanyaan 7: Apabila sinyal pesannya merupakan gelombang sinus 2kHz, berapakah frekuensi minimum teoritisnya untuk sinyal sampling yang digunakan?

Pertanyaan 8: Mengapa sampling frekuensi sesungguhnya yang digunakan untuk memulihkan sinyal pesan tanpa distorsi aliasing itu lebih tinggi dari nilai teoritis minimum Anda hitung pada pertanyaan sebelumnya?

Percobaan 2 - PCM Encoding

Diskusi Awal

Seperti yang Anda ketahui, sistem transmisi digital telah menggantikan sistem analog pada aplikasi komunikasi komersial secara bertahap, terutama dalam bidang telekomunikasi. Oleh karena itu, pemahaman tentang sistem transmisi digital sangat diperlukan pada profesional di industri komunikasi dan telekomunikasi. Percobaan-percobaan yang tersisa pada modul ini akan menggunakan Emona DATEx untuk memperkenalkan Anda dengan beberapa sistem, dimulai dengan Pulse Code Modulation (PCM).

PCM adalah sebuah sistem untuk mengkonversi sinyal pesan analog menjadi deretan '0' dan '1'. Konversi ini dinamakan *encoding*. Pada dasarnya, *encoding* melibatkan hal-hal berikut:

- *Sampling* tegangan sinyal analog pada interval teratur menggunakan skema *sample-and-hold*
- Membandingkan setiap sampel dengan serangkaian tegangan referensi yang disebut tingkat kuantisasi.
- Menentukan tingkat kuantisasi mana yang paling dekat dengan tegangan yang di-*sampling*.
- Menghasilkan bilangan biner untuk tingkat kuantisasi tersebut.
- Mengeluarkan bilangan biner satu bit pada satu waktu (dalam bentuk serial).
- Mengambil sampel berikutnya dan mengulangi proses.

Isu yang sangat krusial untuk performa dari sebuah sistem PCM adalah frekuensi *clock* dari *encoder*-nya. *Clock* akan memberi tahu *encoder* PCM kapan *sampling* harus dilakukan, dan seperti yang telah ditunjukkan pada eksperimen sebelumnya, frekuensi *clock* ini harus berkisar setidaknya dua kali lipat frekuensi pesan untuk menghindari *aliasing* (atau, jika pesan mengandung lebih dari satu gelombang sinus, setidaknya dua kali lipat frekuensi tertingginya).

Masalah lain pada PCM adalah perbedaan antara tegangan hasil *sampling* dan level tegangan kuantisasi yang tersedia. Untuk memperjelas, hampir seluruh tegangan hasil *sampling* akan memiliki perbedaan dengan satupun level tegangan kuantisasi yang tersedia. Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, PCM Encoder akan memetakan nilai tegangan *sampling* ke level kuantisasi dengan nilai terdekat. Namun dalam proses tersebut, nilai sampel asli hilang dan perbedaan antara nilai tersebut dengan level kuantisasi terdekat disebut sebagai *quantisation error* atau error kuantisasi.

Perlu diperhatikan bahwa *error* tersebut akan direproduksi saat data hasil encoder PCM diterima oleh *receiver* dan didekode karena *receiver* tidak mungkin dapat mengetahui nilai asli dari sampel tersebut. Besarnya kesalahan yang dihasilkan dipengaruhi oleh jumlah level kuantisasi yang digunakan oleh *encoder*. Semakin banyak tingkatan kuantisasi yang ada (untuk rentang tegangan sampel yang diberikan), semakin kecil error yang muncul. Hal tersebut terjadi karena nilai dari tegangan sampel akan semakin mendekati level kuantisasi yang ada, sehingga membuat *error* semakin kecil.

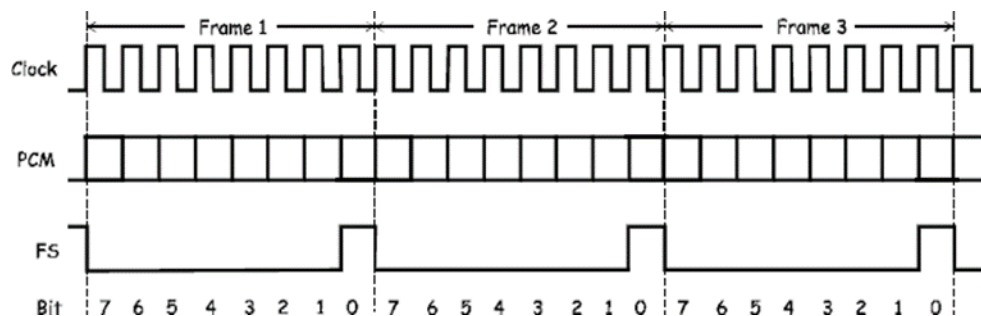
Informasi mengenai modul PCM Encoder pada Emona DATEx

Modul PCM Encoder pada Emona DATEx menggunakan *chip encoding* dan *decoding* PCM (disebut *codec*) untuk mengkonversi tegangan analog antara -2V dan +2V menjadi angka biner 8-bit. Dengan

delapan bit, memungkinkan untuk menghasilkan 256 angka berbeda antara 00000000 dan 11111111. Ini artinya ada 256 tingkat kuantisasi (satu untuk setiap angka).

Setiap angka biner dikirim dalam bentuk *serial* dalam *frame*. Bit yang paling signifikan (bit-7) dikirim terlebih dahulu, bit-6 dikirim selanjutnya, dan seterusnya hingga bit yang paling tidak signifikan (bit-0). Modul PCM Encoder juga menghasilkan sinyal sinkronisasi Frame Synchronisation (FS) terpisah yang akan bernilai 'HIGH' pada saat yang sama ketika bit-0 dihasilkan. Sinyal FS digunakan untuk membantu proses dekoding PCM dan juga dapat digunakan untuk membantu "men-trigger" osiloskop saat melihat sinyal yang dihasilkan oleh modul PCM Encoder.

Gambar 4. 13 di bawah ini menunjukkan contoh dari tiga frame data output modul PCM Encoder (setiap bit ditampilkan sebagai 0 dan 1 karena bisa menjadi salah satu), bersama dengan input clock dan output FS-nya.



Gambar 4. 13

Percobaan yang Dilakukan

Untuk percobaan ini, Anda akan menggunakan modul PCM Encoder pada Emona DATEx untuk mengonversi hal berikut menjadi PCM: tegangan DC tetap, tegangan DC variabel, dan sinyal yang terus berubah. Dalam proses ini, Anda akan memverifikasi operasi *encoding* PCM dan menganalisis *error* kuantisasi.

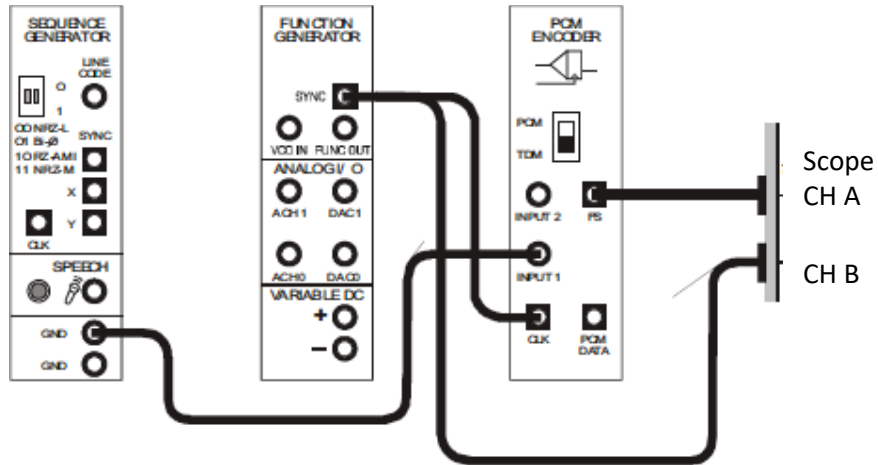
Prosedur Percobaan

Bagian A - Pendahuluan tentang Encoding PCM menggunakan Tegangan DC Statis

1. Buka perangkat lunak NI ELVIS Traditional.
2. Buka dan jalankan NI ELVIS Function Generator VI.
3. Atur generator sinyal dengan keluaran 10kHz.

Catatan: Tidak ada kontrol lain yang perlu disesuaikan karena SYNC output dari generator sinyal akan digunakan dan sinyal yang digunakan merupakan sinyal digital.

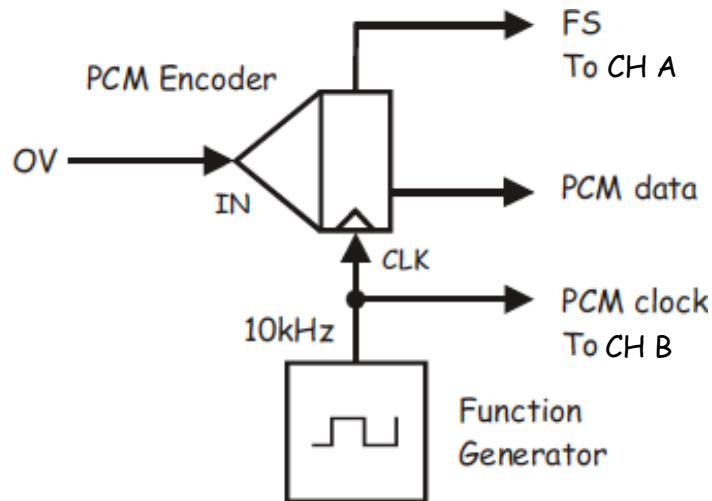
4. Hubungkan rangkaian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. 14 di bawah ini.



Gambar 4. 14

Catatan: Masukkan ujung plug-hitam kabel osiloskop ke dalam soket ground (GND).

Rangkaian di atas dapat direpresentasikan dengan diagram blok pada Gambar 4. 15 di bawah. Modul PCM Encoder di-clock oleh keluaran generator sinyal. Input analognya terhubung ke 0V DC.



Gambar 4. 15

5. Buka soft front-panel DATEx (SFP).
6. Periksa apakah Anda sekarang memiliki kontrol pada komputer atas DATEx dengan mengaktifkan kontrol PDM/TDM lunak modul PCM Encoder pada DATEx SFP.

Catatan: Jika rangkaian Anda berfungsi dengan benar, LED modul PCM Decoder pada papan DATEx seharusnya menyala dan mati.

7. Temukan modul PCM Encoder pada DATEx SFP dan atur saklar Mode lunaknya ke posisi PCM.
8. Buka dan jalankan NI ELVIS Oscilloscope VI.
9. Atur osiloskop dengan konfigurasi berikut:
 - Kontrol Scale untuk kedua saluran menjadi 2V/div
 - Kontrol Coupling untuk kedua kanal ke DC

- Kontrol Trigger Level control ke 2V
- Kontrol Timebase ke 200us/div

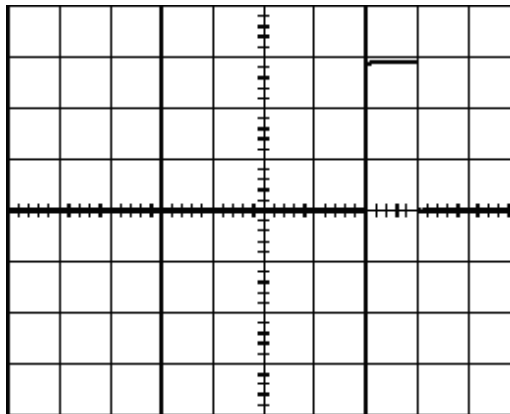
10. Atur kontrol Slope ke posisi "-".

Mengatur kontrol Slope ke posisi "-" membuat osiloskop memulai *sweep*-nya melintasi layar ketika sinyal FS berubah dari tinggi ke rendah daripada dari rendah ke tinggi. Anda dapat benar-benar memperhatikan perbedaan antara dua pengaturan tersebut jika Anda menggeser kontrol Slope osiloskop ke depan dan ke belakang. Jika Anda melakukannya, pastikan bahwa kontrol Slope berakhir pada posisi "-".

11. Atur kontrol Timebase osiloskop ke posisi 100us/div.

Catatan 1: Pulsa sinyal FS seharusnya memiliki lebar satu divisi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.16. Jika tidak, sesuaikan frekuensi keluaran generator sinyal hingga sesuai.

Catatan 2: Mengatur generator sinyal dengan cara ini membuat setiap bit dalam aliran data serial memiliki lebar satu div pada sumbu horizontal.



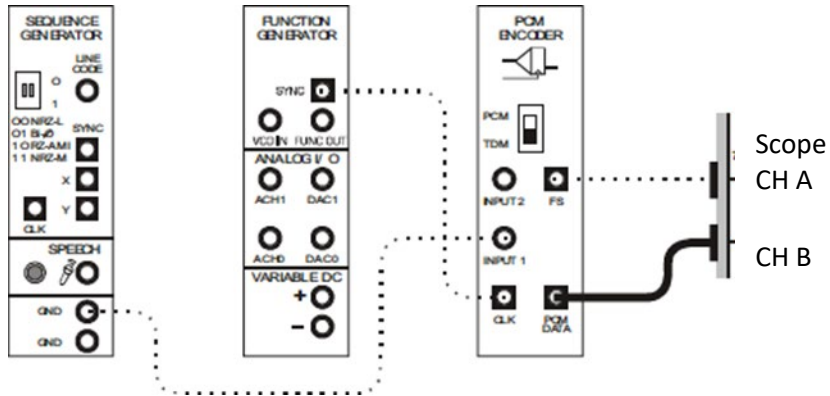
Gambar 4. 16

12. Aktifkan input Saluran B osiloskop (dengan mencentang kotak Kanal B Enabled) untuk mengamati input CLK modul PCM Encoder serta keluaran FS-nya.

Tip: Agar dua gelombang terlihat dengan jelas, Anda mungkin perlu menyesuaikan osiloskop sehingga kedua sinyal tidak tumpang tindih.

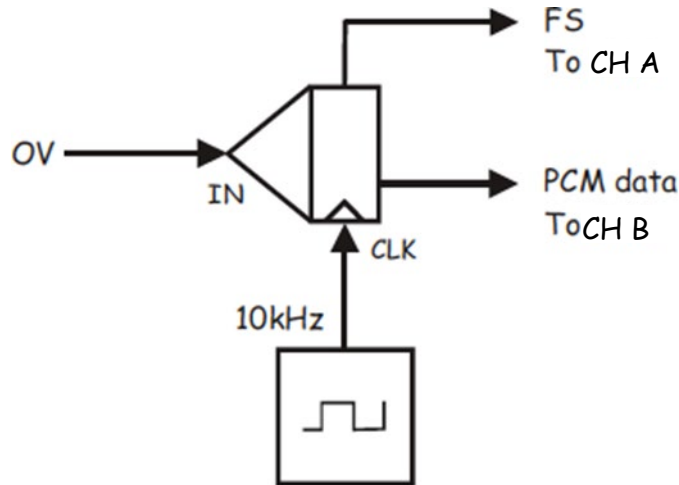
13. Gambarlah kedua gelombang tersebut di BCL.

14. Sambungkan input Kanal B osiloskop ke keluaran modul PCM Encoder seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. 17 di bawah ini.



Gambar 4. 17

Rangkaian ini dapat direpresentasikan dengan diagram blok pada Gambar 4.18 di bawah ini. Kanal B seharusnya sekarang menampilkan 10-bit output data modul PCM Encoder. Membaca dari kiri layar, delapan bit pertama merepresentasikan satu frame dan dua bit terakhir milik frame berikutnya.



Gambar 4. 18

15. Gambarkan kedua gelombang ini di BCL.

Pertanyaan 1: Tunjukkan pada gambar, awalan dan akhiran frame. Tip: Jika Anda tidak yakin di mana titik-titik ini, lihat diskusi awal.

Pertanyaan 2: Tunjukkan pada gambar, awal dan akhir setiap bit.

Pertanyaan 3: Tunjukkan pada gambar, bit mana yang bit-0 dan mana yang bit-7.

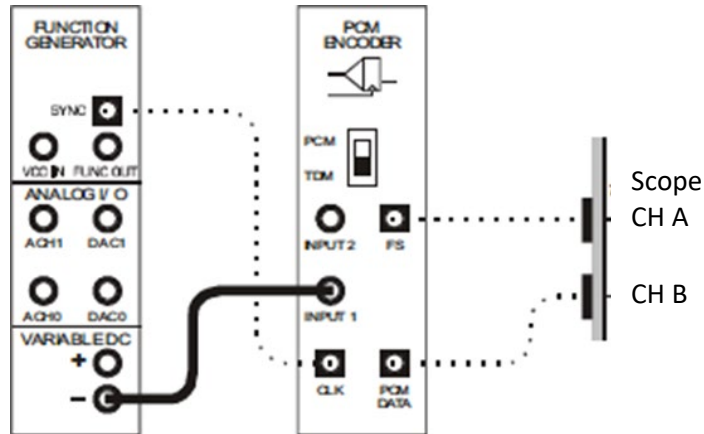
Pertanyaan 4: Apa angka biner yang dihasilkan oleh modul PCM Encoder?

Pertanyaan 5: Mengapa modul PCM Encoder mengeluarkan kode ini untuk 0V DC dan bukan 0000000?

Bagian B - PCM Encoding untuk Level Tegangan DC yang Bervariasi

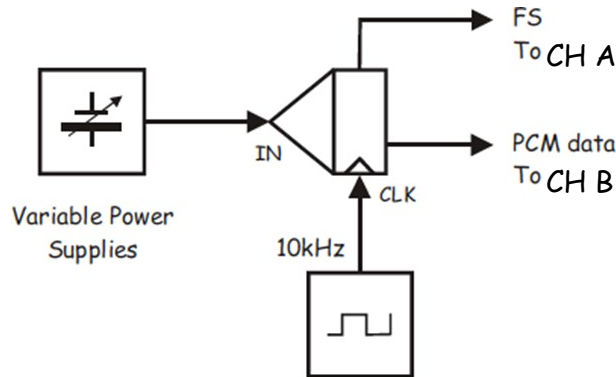
Sejauh ini, Anda telah menggunakan modul PCM Encoder untuk mengonversi tegangan DC tetap (0V) menjadi PCM. Bagian berikut ini memungkinkan Anda melihat apa yang terjadi ketika Anda memvariasikan tegangan DC.

16. Buka dan jalankan NI ELVIS Variable Power Supplies VI.
17. Atur kedua output Variable Power Supplies ke 0V.
18. Lepaskan sambungan yang terhubung ke soket *ground*.
19. Modifikasi rangkaian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. 19 di bawah ini.



Gambar 4. 19

Setup ini dapat direpresentasikan dengan diagram blok pada Gambar 4. 20. Variable Power Supplies NI ELVIS digunakan untuk memungkinkan Anda mengubah tegangan DC pada input modul PCM Encoder. Input *external trigger* osiloskop digunakan untuk mendapatkan tampilan yang stabil.



Gambar 4. 20

20. Gambarkan kedua sinyal yang terbentuk di BCL dan tentukan kode pada output modul PCM Encoder.

Tip: Delapan satuan horizontal pertama pada graticule osiloskop merepresentasikan satu frame output modul PCM Encoder.

Catatan: Anda seharusnya mendapatkan bahwa output modul PCM Encoder adalah angka biner yang cukup dekat dengan kode yang Anda tentukan sebelumnya ketika input modul dihubungkan langsung ke *ground*.

- Naikkan output tegangan negatif Variabel Power Supplies dengan *increment* -0.1 volt dan catat apa yang terjadi pada angka biner output modul PCM Encoder.

Tip: Cara paling mudah untuk melakukan langkah di atas adalah dengan mengetikkan tegangan yang dibutuhkan di box di bawah kontrol output negatif Voltage. Saat Anda melakukan hal tersebut, jangan lupa untuk menambahkan tanda minus di depan tegangan yang Anda masukkan.

Pertanyaan 6: Apa yang terjadi pada angka biner saat tegangan input meningkat ke arah negatif?

- Tentukan level tegangan pertama yang menghasilkan angka 00000000 pada output modul PCM Encoder dan gambarkan kedua sinyal yang terbentuk di BCL.
- Catat tegangan ini pada Tabel 4. 3 di bawah ini.

Tabel 4. 3

PCM Encoder's output code	PCM Encoder's input voltage
00000000	

- Modifikasi rangkaian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. 21 di bawah ini.

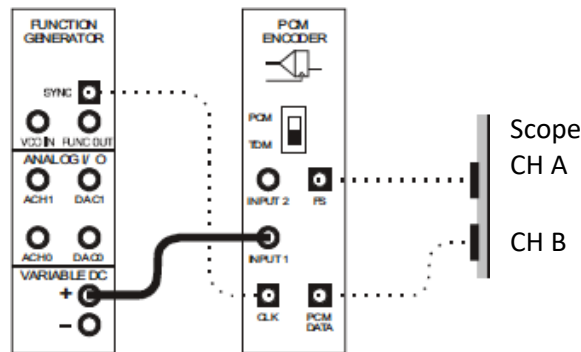


Figure 4. 21

Rangkaian ini dapat direpresentasikan dengan diagram blok pada Gambar 4. 22 di bawah ini.

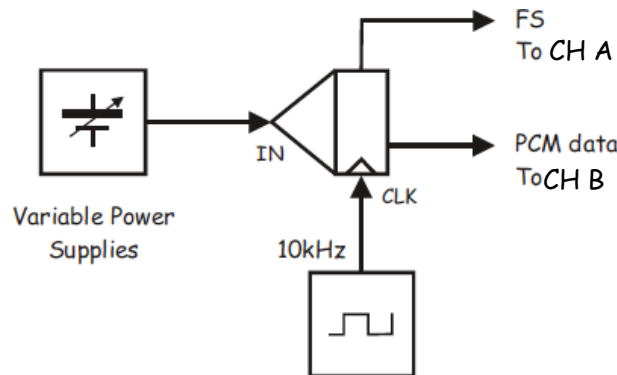


Figure 4. 22

25. Naikkan output tegangan positif Variabel Power Supplies dalam *increment* +0,1V dan catat apa yang terjadi pada angka biner output modul PCM Encoder.

Pertanyaan 7: Apa yang terjadi pada angka biner saat tegangan input meningkat ke arah positif?

26. Tentukan tegangan positif terendah yang menghasilkan angka 11111111 pada output modul PCM Encoder dan gambarkan kedua sinyal yang terbentuk di BCL.
27. Catat tegangan tersebut pada Tabel 4. 4 di bawah ini.

Tabel 4. 4

PCM Encoder's output code	PCM Encoder's input voltage
11111111	

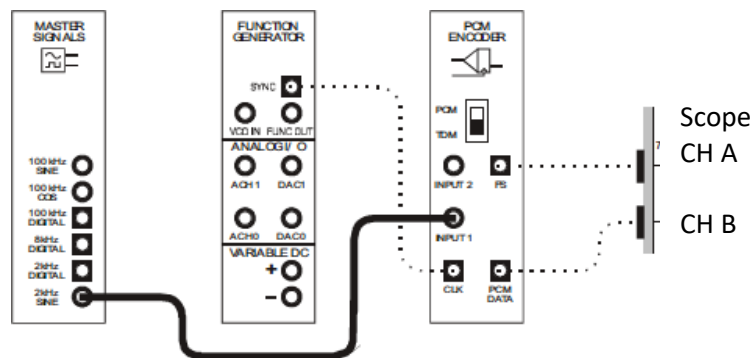
Pertanyaan 8: Berdasarkan informasi di Tabel 3 & 4, berapakah tegangan peak-to-peak maksimum yang diizinkan untuk sinyal AC pada INPUT modul PCM Encoder?

Pertanyaan 9: Hitung perbedaan antara tingkat kuantisasi modul PCM Encoder dengan mengurangkan nilai-nilai di Tabel 1 & 2 dan membagi hasilnya dengan 256 (jumlah kode).

Bagian C - PCM Encoding pada Tegangan yang Berubah-ubah secara Kontinu

Sekarang mari kita lihat apa yang terjadi ketika encoder PCM digunakan untuk mengonversi sinyal yang terus berubah seperti gelombang sinus.

28. Tutup Variable Power Supplies VI.
29. Lepaskan kabel dari keluaran positif Daya Variabel Power Supplies.
30. Modifikasi rangkaian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. 23 di bawah ini.



Gambar 4. 23

31. Atur frekuensi function generator ke 50kHz.
32. Amati keluaran modul PCM Encoder pada tampilan osiloskop dan gambarkan kedua sinyal ini di BCL.

Pertanyaan 10: Mengapa kode pada keluaran modul PCM Encoder berubah terus-menerus?

Percobaan 3 - Amplitude Shift Keying

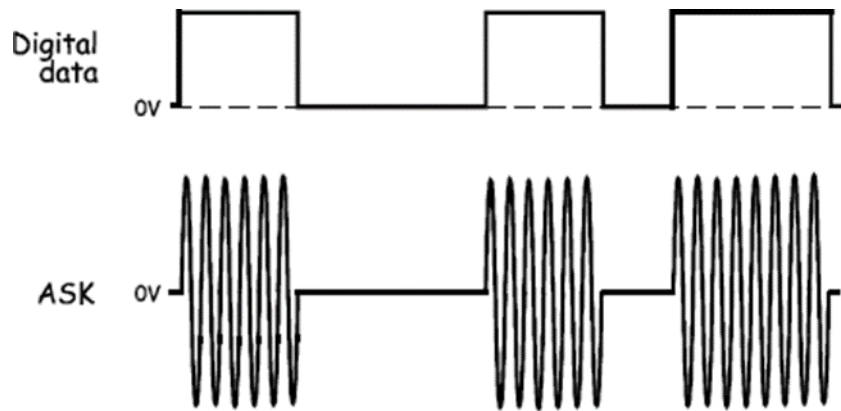
Diskusi Awal

Bagian penting dari komunikasi elektronik dan telekomunikasi adalah kemampuan berbagi saluran. Kemampuan ini berlaku tanpa mempedulikan apakah saluran tersebut adalah kawat tembaga, serat optik ataupun ruang bebas. Jika saluran itu tidak dibagi, maka hanya akan ada satu orang yang mampu mentransmisikan pada satu waktu. Pikirkan implikasi dari hal ini untuk sejenak. Tanpa kemampuan untuk berbagi saluran, akan hanya ada satu stasiun radio atau televisi dalam satu daerah. Hanya satu pemilik telepon yang dapat menggunakan telepon mereka dalam satu area pada satu waktu dan hanya akan ada panggilan telepon yang jumlahnya sama dengan banyaknya kawat tembaga atau serat optik yang terhubung antara dua kota.

Jadi berbagi saluran itu penting dan ada beberapa metode untuk melakukannya. Salah satu metode tersebut adalah *Time Division Multiplexing* (TDM), metode ini memberikan pengguna akses eksklusif ke saluran untuk jangka waktu yang singkat. Metode pembagian seperti ini, mungkin terlihat tidak praktis. Bayangkan memberikan semua pengguna telepon genggam dalam area tertentu waktu hanya sekitar satu menit untuk melakukan panggilan lalu membuat mereka menunggu hingga giliran mereka lagi. Namun, TDM bekerja dengan baik ketika waktu akses sangatlah singkat (kurang dari satu detik) dan kecepatan berbaginya cukup cepat. Hal ini mengizinkan banyak pengguna seperti memiliki waktu akses yang sama pada setiap waktu. TDM digunakan pada komunikasi digital dan dicapai dengan menyusun ulang data pengguna. Artinya sebagian data dari satu pengguna ditransmisikan diikuti sebagian data pengguna berikutnya dan begitu seterusnya. Sayangnya, terdapat kendala. Jika pesannya adalah informasi *real-time* yang tidak bisa ditunda (seperti ucapan yang dienkrapsikan secara digital), maka seiring meningkatnya jumlah pengguna, *bit-rate* data juga harus meningkat.

Metode lain untuk berbagi saluran adalah *Frequency Division Multiplexing* (FDM), metode ini memberikan pengguna akses eksklusif tanpa terganggu pada sebagian spektrum frekuensi radio saluran tersebut. Untuk mentransmisikan pesan, pengguna harus menggabungkannya ke *carrier* yang berada di dalam rentang frekuensi yang dialokasikan. Metode ini digunakan oleh radio penyiaran dan televisi untuk berbagi ruang kosong. FDM juga digunakan untuk komunikasi digital dan menggunakan skema modulasi sama seperti yang tersedia untuk komunikasi analog termasuk : AM, DSBSC dan FM. Ketika AM digunakan untuk *multiplexing* data digital, itu dikenal sebagai *Amplitude Shift Keying* (ASK). Nama lainnya adalah : *on-off keying*, *continuous wave* dan *interrupted continuous wave*.

Gambar 4. 24 dibawah menunjukkan bagaimana sinyal ASK terlihat pada waktu yang sama dibandingkan dengan sinyal digital yang digunakan untuk menghasilkan sinyal ASK tersebut.



Gambar 4. 24

Perhatikan bahwa batas atas dan bawah sinyal ASK (selubungnya) memiliki bentuk yang sama dengan aliran data digital (walaupun bentuk selubung bawahnya terbalik). Secara bersamaan ini merupakan keuntungan dan kerugian dari ASK. Pemulihan aliran data digital dapat diimplementasikan dengan menggunakan *Envelope Detector* sederhana. Namun, *Noise* pada saluran dapat mengubah bentuk *envelope* cukup banyak sehingga *receiver* salah menginterpretasikan level logika yang menyebabkan kesalahan (komunikasi AM analog memiliki masalah yang sama dan kesalahannya terdengar seperti desisan, retakan, atau letupan).

ASK dapat dihasilkan dengan cara konvensional. Di sini, anda akan mempelajari pengopreasian metode alternatif yang melibatkan penggunaan sinyal digital untuk mengubah koneksi *carrier* ke saluran secara *on* dan *off*.

Percobaan yang Dilakukan

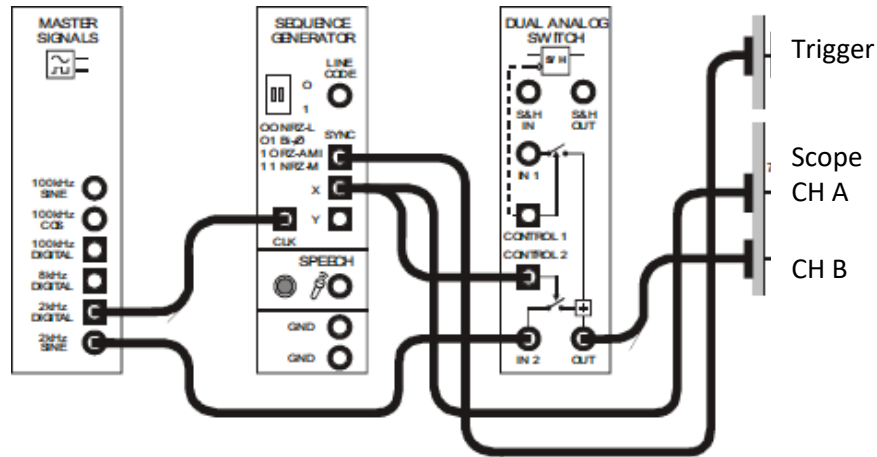
Untuk eksperimen ini, anda akan menggunakan Emona DATEX untuk menghasilkan sinyal ASK menggunakan metode *switching*. Data digital untuk sinyal pesan dimodelkan oleh modul *Sequence Generator*. Anda akan memulihkan data menggunakan *envelope detector* sederhana dan mengamati distorsinya. Terakhir, anda akan menggunakan komparator untuk mengembalikan data.

Prosedur Percobaan

Bagian A – Membangkitkan Sinyal ASK

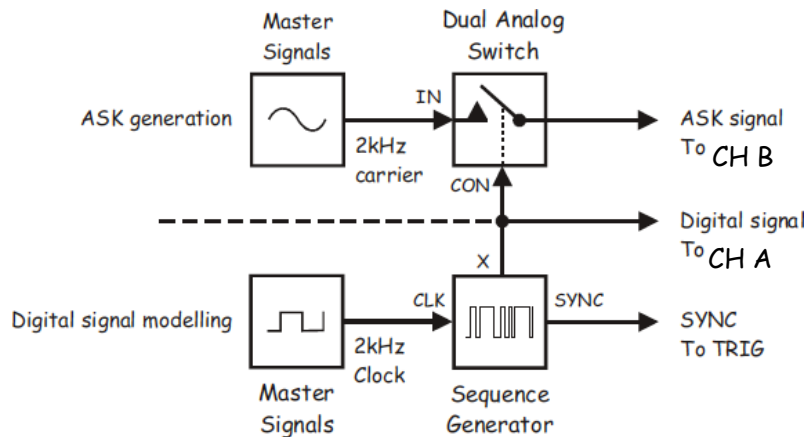
1. Buka NI ELVIS Traditional software.
2. Hubungkan rangkaian seperti pada Gambar 4. 25 di bawah.

Catatan: Masukkan ujung *plug-hitam* kabel osiloskop ke dalam soket *ground (GND)*.



Gambar 4. 25

Rangkaian ini dapat direpresentasikan dengan diagram blok pada Gambar 4. 26 di bawah. Modul Sequence Generator digunakan untuk memodelkan sinyal digital dan output SYNC-nya digunakan sebagai *trigger* osiloskop untuk menyediakan tampilan yang stabil. Modul Dual Analog Switch digunakan untuk menghasilkan sinyal ASK.



Gambar 4. 26

3. Buka dan jalankan NI ELVIS Oscilloscope VI.
4. Atur osiloskop dengan perubahan berikut:
 - Kontrol Scale untuk Kanal A menjadi 2 V/div
 - Kontrol Input Coupling controls untuk kedua kana ke DC
 - Kontrol Timebase ke 1ms/div
 - Kontrol Trigger Type ke Digital
5. Aktifkan input Kanal B pada osiloskop untuk mengamati output dari modul Sequence Generator dan sinyal ASK dari modul Dual Analog Switch.
6. Gambarkan kedua sinyal yang terbentuk di BCL.

Pertanyaan 1: Apa hubungan antara sinyal digital dan keberadaan carrier pada sinyal ASK?

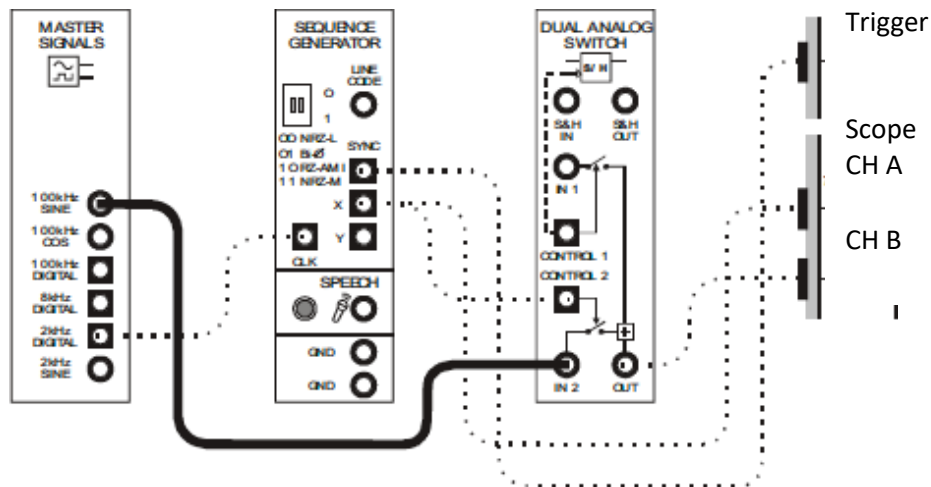
Pertanyaan 2: Berapa nilai tegangan sinyal ASK ketika sinyal digital bernilai logika 0?

Perhatikan bahwa *carrier* sinyal ASK dan *clock* dari modul Sequence Generator memiliki frekuensi yang sama (2kHz). Selain itu, perhatikan juga bahwa keduanya berasal dari sumber yang sama, yaitu modul Master Signal.

Ini dilakukan untuk membuat sinyal ASK mudah diamati pada osiloskop. Namun, ini membuat *setup* tidak praktis sebagai sistem komunikasi ASK yang sebenarnya karena *carrier* dan sinyal data memiliki frekuensi fundamental yang terlalu dekat satu dengan yang lain.

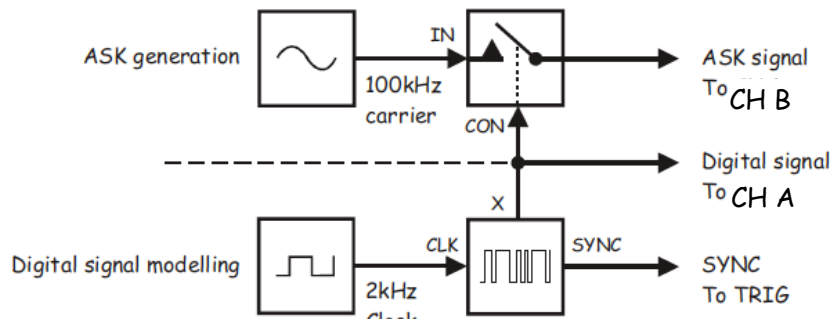
Idealnya, frekuensi *carrier* harus jauh lebih tinggi daripada *bit-rate* sinyal digital (yang ditentukan oleh frekuensi *clock* modul *Sequence Generator* dalam setup ini). Bagian selanjutnya dari percobaan ini akan menjelaskan bagaimana mengatur frekuensi *carrier* ke frekuensi yang lebih sesuai. Dalam proses ini, keluaran modul Dual Analog Switch akan terlihat seperti sinyal ASK konvensional.

7. Modifikasi *setup* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. 27 dibawah ini dan gambarkan kedua sinyal yang terbentuk di BCL.



Gambar 4. 27

Rangkaian ini dapat direpresentasikan dengan diagram blok pada Gambar 4. 28 di bawah.



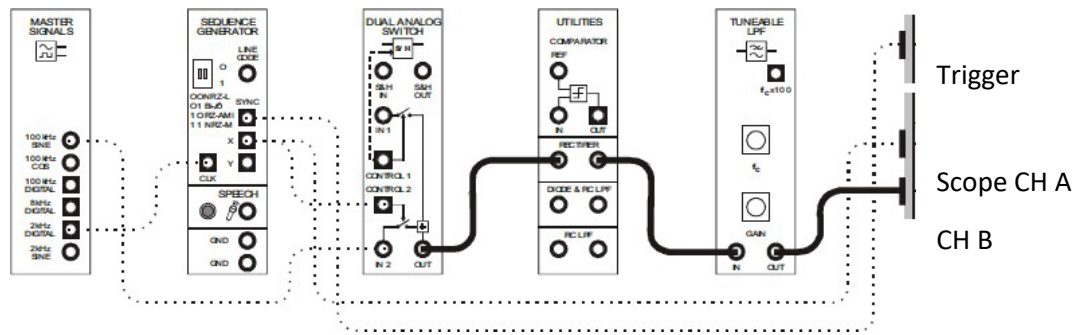
Gambar 4. 28

Pertanyaan 3: Fitur apa yang terdapat pada sinyal ASK yang menunjukkan bahwa itu adalah sinyal AM? *Tips:* Jika anda tidak yakin, lihat bagian *Diskusi Awal*.

Bagian B - Demodulasi sinyal ASK menggunakan *Envelope Detector*

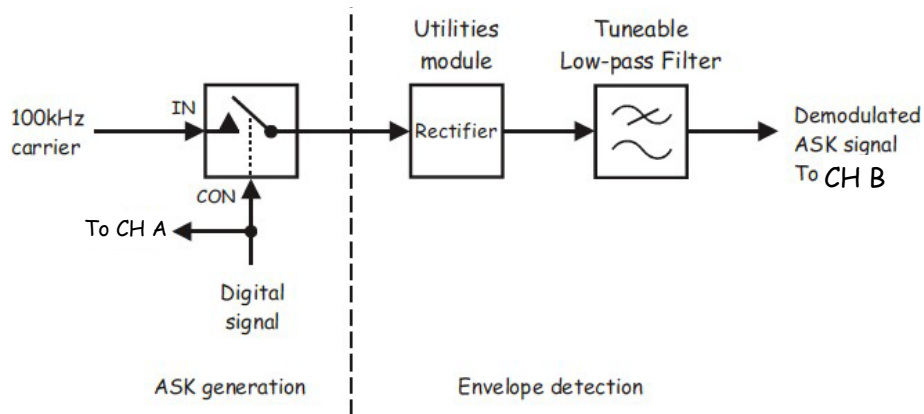
Karena sinyal ASK sebenarnya hanya AM (dengan pesan digital bukan ucapan atau musik), ini berarti sinyal ini dapat di pulihkan menggunakan salah satu skema demodulasi AM. Bagian selanjutnya dari percobaan ini memungkinkan anda menggunakan *envelope detector*.

8. Jalankan DATEx *soft front-panel* (SFP) dan pastikan anda menggunakan *soft control* pada DATEx board.
9. Cari modul *Tuneable Low-pass Filter* pada DATEx SFP dan putar kontrol *soft gain* penuh searah jarum jam.
10. Putar kontrol *Cut-off frequency* modul *Tuneable Low-pass filter* penuh searah jarum jam.
11. Modifikasi rangkaian seperti pada Gambar 4. 29 di bawah.



Gambar 4. 29

Bagian penghasil dan demodulasi ASK dari *setup* dapat direpresentasikan oleh diagram blok seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. 30. Rectifier pada modul Utilities dan Tuneable Low-pass Filter digunakan untuk mengimplementasikan *envelope detector* untuk memulihkan data digital dari sinyal ASK.



Gambar 4. 30

12. Bandingkan bentuk sinyal asli dan sinyal yang telah dipulihkan dan gambarkan hasilnya di BCL.

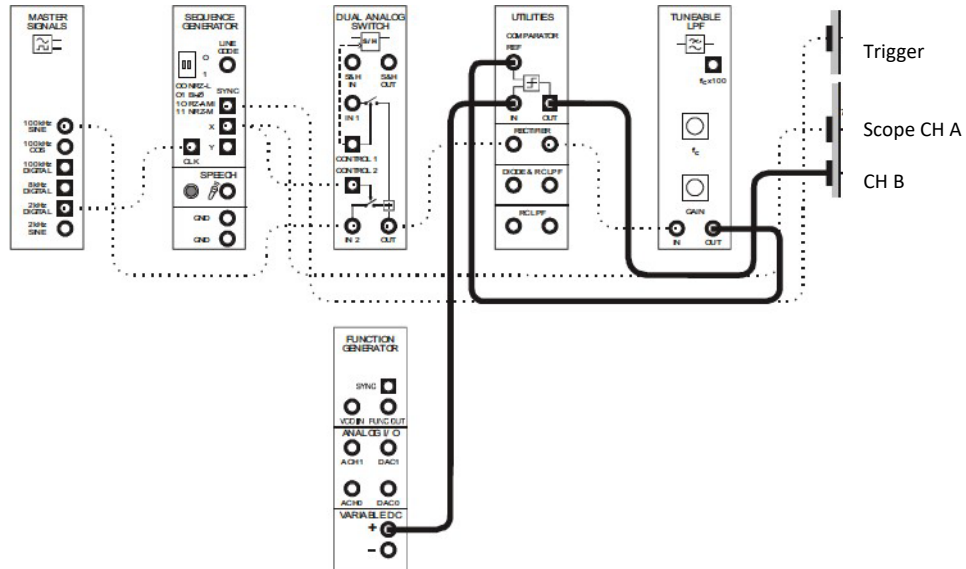
Pertanyaan 4: Mengapa sinyal yang telah dipulihkan bukan merupakan salinan sempurna dari sinyal aslinya?

Pertanyaan 5: Apa yang dapat dilakukan untuk “membersihkan” sinyal digital yang telah dipulihkan?

Bagian C - Memulihkan Sinyal Digital Menggunakan Komparator

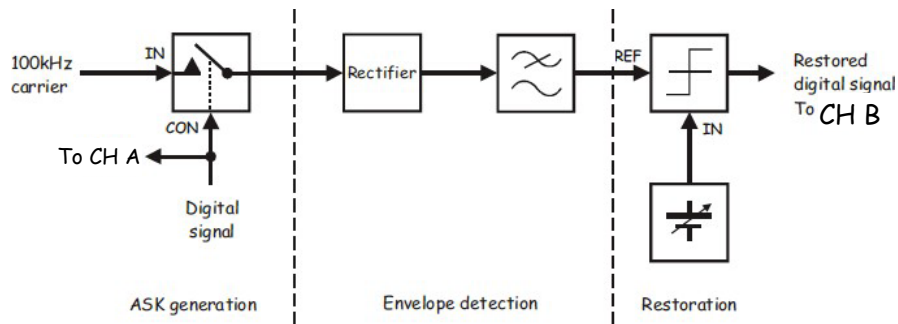
Bagian selanjutnya dari percobaan ini memungkinkan anda untuk menggunakan komparator untuk membersihkan sinyal ASK hasil demodulasi.

13. Buka dan jalankan NI ELVIS Variable Power Supplies VI.
14. Atur keluaran *Variable Power Supplies* positif ke 0 V.
15. Modifikasi rangkaian seperti Gambar 4. 31 di bawah.



Gambar 4. 31

16. Bagian pembentukan, demodulasi sinyal ASK, dan pemulihan sinyal digital dari *setup* dapat direpresentasikan oleh diagram blok seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. 32 di bawah.



Gambar 4. 32

17. Bandingkan sinyalnya. Jika keduanya tidak sama, sesuaikan keluaran dari *soft voltage control* pada *Variable Power Supplies* sehingga keduanya sama lalu gambarkan hasilnya di BCL.

Pertanyaan 6: Bagaimana komparator mengubah tegangan naik perlahan dari sinyal digital yang dipulihkan menjadi transisi tajam?

Tugas Pendahuluan Modul 5

1. Gambarkan sinyal FSK, BPSK, dan QPSK berdasarkan sinyal digital yang digunakan untuk membuatnya!
2. Jelaskan keuntungan dari FSK!
3. Apa perbedaan antara BPSK dan QPSK?

Modul 5

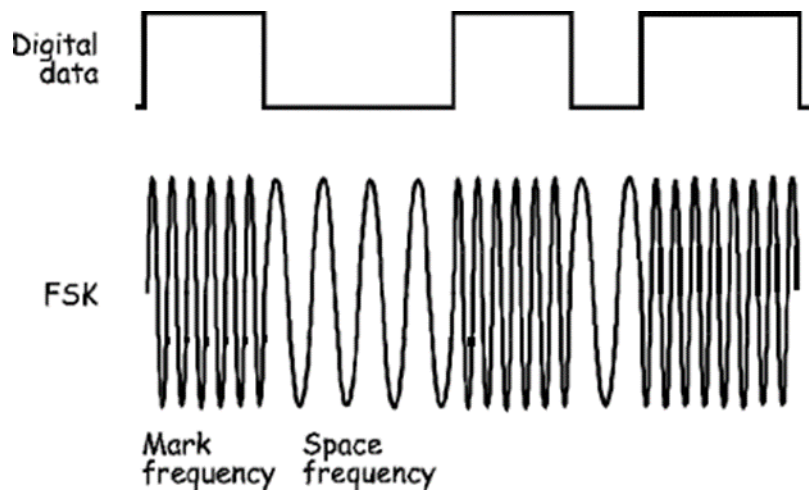
Percobaan 1 – Menghasilkan FSK (dengan Metode *Switching*) dan Demodulasi

Diskusi Awal

Frequency Division Multiplexing (FDM) memungkinkan sebuah kanal untuk dibagikan pada sejumlah pengguna. Ingat bahwa hal ini dicapai dengan menempatkan pesan ke dalam sinyal *carrier* di dalam spektrum frekuensi radio yang dialokasikan untuk pengguna. Ingat juga bahwa modulasi analog jenis apapun dapat digunakan untuk mentransmisikan data digital dengan cara ini. Ketika *Frequency Modulation* (FM) digunakan, modulasi tersebut disebut dengan *Binary Frequency Shift Keying* (BFSK) atau lebih dikenal dengan FSK).

Salah satu alasan menggunakan FSK adalah kelebihanannya berupa ketahanan terhadap *noise* FM yang cenderung lebih tinggi dibanding AM. Ingat bahwa *noise* adalah variasi dalam amplitudo sinyal yang ditransmisikan. Variasi ini dapat dihilangkan dengan *receiver* FM/FSK (dengan rangkaian bernama *limiter*) tanpa memengaruhi pesan yang dipulihkan.

Gambar 5. 1 di bawah ini menunjukkan sinyal FSK dan sinyal digital yang digunakan untuk menghasilkannya.



Gambar 5. 1

Amati bahwa sinyal FSK berpindah antara dua frekuensi. Frekuensi sinyal yang berkorespondensi dengan logika 0 dalam data digital (disebut *space frequency*) umumnya lebih rendah dibanding frekuensi nominal *carrier* modulator. Frekuensi sinyal yang berkorespondensi dengan logika 1 dalam data digital (disebut *mark frequency*) umumnya lebih tinggi dibanding frekuensi nominal *carrier* modulator. Modulator tidak menghasilkan sinyal pada frekuensi *carrier*, yang dalam kasus ini disebut sebagai frekuensi “nominal” *carrier*.

Sinyal FSK dapat dihasilkan dengan rangkaian modulator FM konvensional dan *Voltage-Controlled Oscillator* (VCO) umum digunakan. Serupa dengan cara menghasilkannya, demodulasi FSK dapat

dilakukan dengan demodulator FM konvensional seperti *Zero-Crossing Detector*. Alternatifnya, jika FSK dilewatkan pada filter yang cukup selektif, dua sinyal sinusoidal yang membentuknya dapat dipisah menjadi masing-masing satu sinyal. Apabila ditinjau secara terpisah, kedua sinyal merupakan sinyal ASK sehingga data dapat dipulihkan dengan melewatkan salah satunya melalui *Envelope Detector*.

Percobaan yang Dilakukan

Untuk percobaan ini, Anda akan menggunakan Emona DATEx untuk mengimplementasikan metode VCO untuk menghasilkan sinyal FSK. Data digital untuk pesan dimodelkan dengan modul *Sequence Generator*. Anda kemudian akan memulihkan data dengan menggunakan filter untuk mengambil salah satu sinyal sinusoidal dalam sinyal FSK dan melakukan demodulasi dengan *Envelope Detector*. Terakhir, Anda akan mengamati distorsi pada sinyal FSK hasil demodulasi dan menggunakan komparator untuk memulihkan data.

Peralatan

- Komputer yang sudah terpasang perangkat lunak yang mendukung
- NI ELVIS, NI-DAQ, kabel USB, dan adaptor daya
- Modul eksperimental tambahan Emona DATEx
- Tiga kabel penghubung BNC ke kabel *banana* 2mm
- Berbagai macam kabel penghubung *banana* ke *banana*

Prosedur Percobaan

Bagian A – Menghasilkan Sinyal FSK

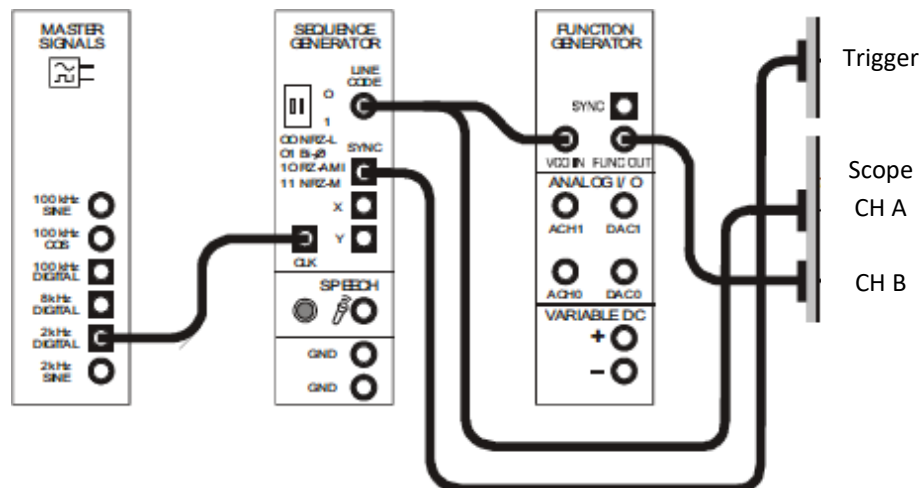
1. Pastikan saklar daya NI ELVIS di belakang unit mati.
2. Hubungkan modul tambahan Emona DATEX Experimental ke NI ELVIS.
3. Atur *Control Mode* pada modul DATEX (sudut kanan atas) ke *PC Control*.
4. Hubungkan NI ELVIS ke PC dengan kabel USB.
5. Nyalakan saklar daya NI ELVIS dan nyalakan *Prototyping Board*-nya.
6. Nyalakan PC dan tunggu proses *boot-up* selesai.

Catatan: Hal ini mungkin sudah dilakukan oleh asisten praktikum.

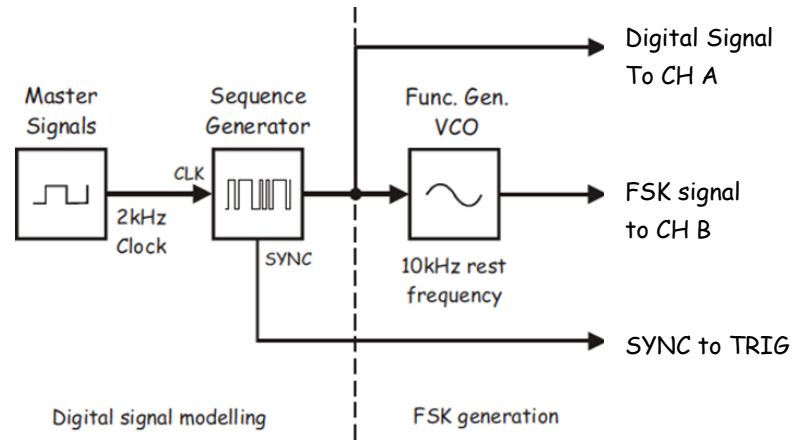
7. Jalankan *software* NI ELVIS Traditional.
8. Jalankan NI ELVIS Function Generator VI.
9. Atur generator sinyal dengan kendali halusnya untuk sinyal keluaran dengan spesifikasi berikut:
 - Waveshape: Sine
 - Frequency: 10kHz
 - Amplitude: 4Vpp
 - DC Offset: 0V
 - Modulation Type: FM
10. Buat rangkaian sesuai Gambar 5. 2 di bawah ini.

Catatan: Masukkan steker hitam kabel osiloskop ke soket GND

11. Rangkaian ini direpresentasikan dalam diagram blok pada Gambar 5. 3 di halaman berikutnya. Modul *Sequence Generator* digunakan untuk memodelkan sinyal digital dan output SYNC digunakan sebagai *Trigger* untuk menghasilkan tampilan stabil pada osiloskop. VCO pada *Function Generator* digunakan untuk menghasilkan sinyal FSK.



Gambar 5. 2



Gambar 5.3

12. Jalankan DATEx soft front-panel (SFP) dan pastikan Anda memiliki kendali atas *board* DATEx.
13. Temukan modul *Sequence Generator* pada DATEx SFP dan atur *switch*-nya menjadi 00.
14. Jalankan NI ELVIS Oscilloscope VI.
15. Ubah *Trigger Type* pada osiloskop menjadi Digital.
16. Nyalakan input Kanal B untuk mengamati output modul *Sequence Generator* dan sinyal FSK keluaran VCO.

Catatan: Pastikan skala waktu bernilai 500 ps/div.

17. Bandingkan kedua sinyal dan gambarkan hasilnya di BCL.

Pertanyaan 1: Apa nama frekuensi output VCO yang berkorespondensi dengan logika 1 dalam data digital?

Pertanyaan 2: Apa nama frekuensi output VCO yang berkorespondensi dengan logika 0 dalam data digital?

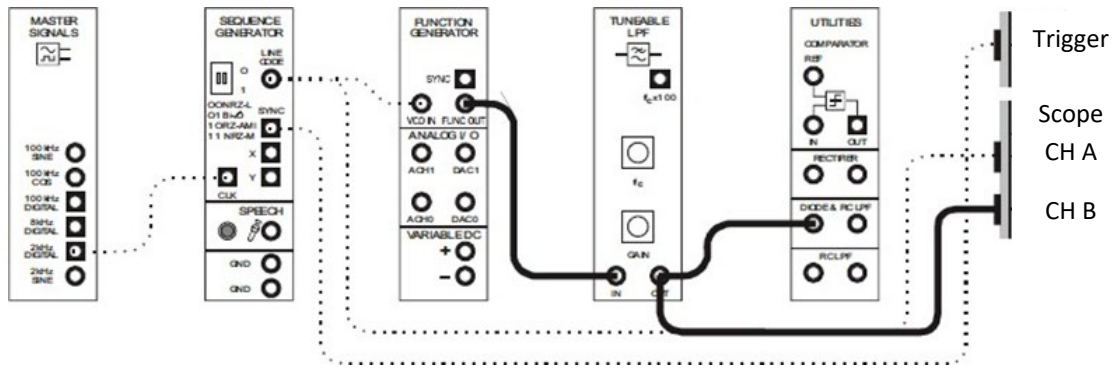
Pertanyaan 3: Berdasarkan pengamatan Anda, output manakah memiliki frekuensi lebih tinggi?

Bagian B - Demodulasi Sinyal FSK dengan Filter dan *Envelope Detector*

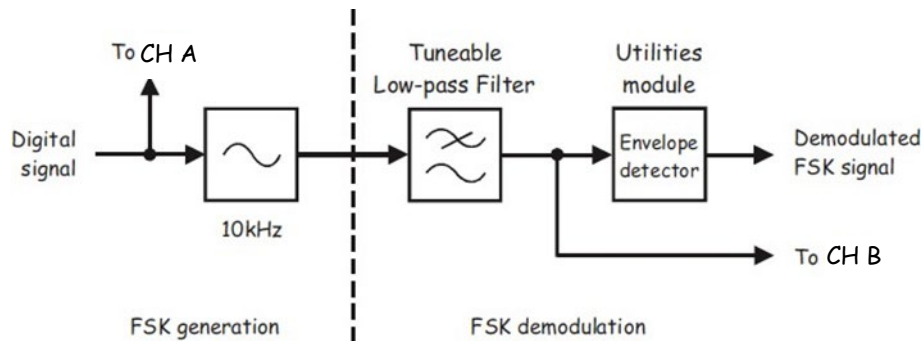
Karena FSK hanyalah sebuah FM (dengan pesan digital, bukan suara ataupun musik), FSK dapat dipulihkan menggunakan metode demodulasi FM apapun. Namun, karena sinyal FSK berganti antara dua frekuensi, kita dapat menggunakan metode demodulasi yang tidak dapat digunakan untuk demodulasi sinyal FM berupa suara. Bagian percobaan selanjutnya menunjukkan hal ini.

18. Temukan modul *Tuneable Low-pass Filter* pada DATEx SFP dan putar kontrol *soft Cut-off Frequency Adjust* secara penuh searah jarum jam.
19. Putar kontrol *soft Gain* pada modul *Tuneable Low-pass Filter* secara penuh searah jarum jam.
20. Ubah rangkaian sesuai Gambar 5.4 di bawah ini.

Catatan: Garis putus-putus menunjukkan rangkaian yang sudah dibentuk.



Gambar 5.4



Gambar 5.5

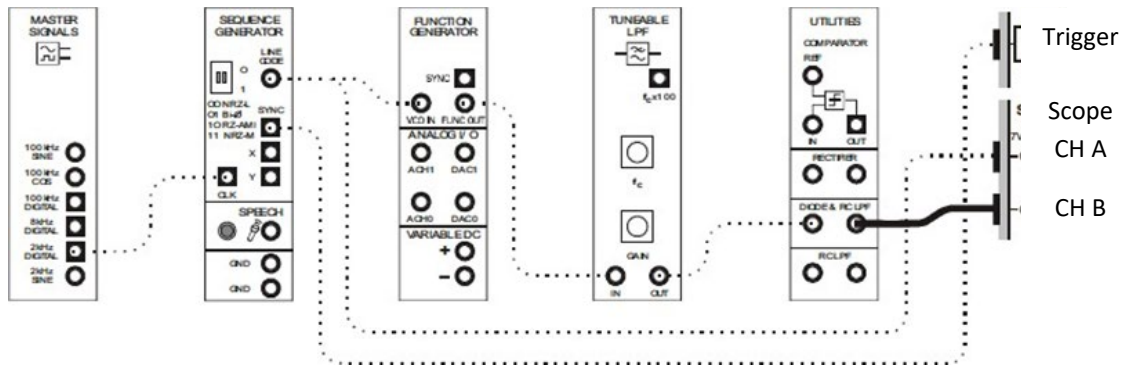
Bagian-bagian yang menghasilkan FSK dan demodulasi direpresentasikan dengan diagram blok pada Gambar 5.5. Modul *Tuneable Low-pass Filter* digunakan untuk mengambil salah satu dari dua sinyal sinusoidal FSK, kemudian DIODE dan LPF RC dalam modul *Utilities* membentuk *Envelope Detector* untuk menyelesaikan demodulasi sinyal FSK.

21. Perlahan putar kontrol *soft G* frekuensi *cut-off* pada modul *Tuneable Low-pass Filter*. Putar kendali berlawanan arah jarum jam hingga frekuensi yang lebih tinggi (*mark*) berkurang hingga 0 tapi frekuensi yang lebih rendah (*space*) tidak terpengaruh.
22. Bandingkan sinyal digital dengan output filter dan gambarkan hasilnya di BCL.

Pertanyaan 4: Sinyal sinusoidal manakah yang dilewatkan oleh filter?

Pertanyaan 5: Bagaimana bentuk sinyal FSK hasil filter?

23. Ubah rangkaian dengan menghubungkan input Kanal B ke output *Envelope Detector* sesuai Gambar 5.6 di bawah ini.



Gambar 5.6

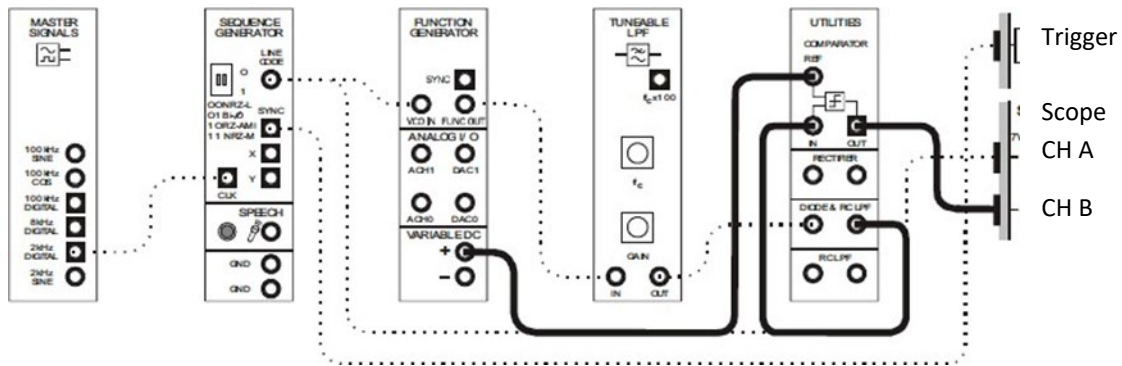
24. Bandingkan sinyal digital awal dengan sinyal digital yang dipulihkan dan gambarkan hasilnya di BCL.

Pertanyaan 6: Apa yang dapat digunakan untuk merapikan sinyal digital yang dipulihkan?

Bagian C – Membersihkan Data yang Telah Dipulihkan dengan Komparator

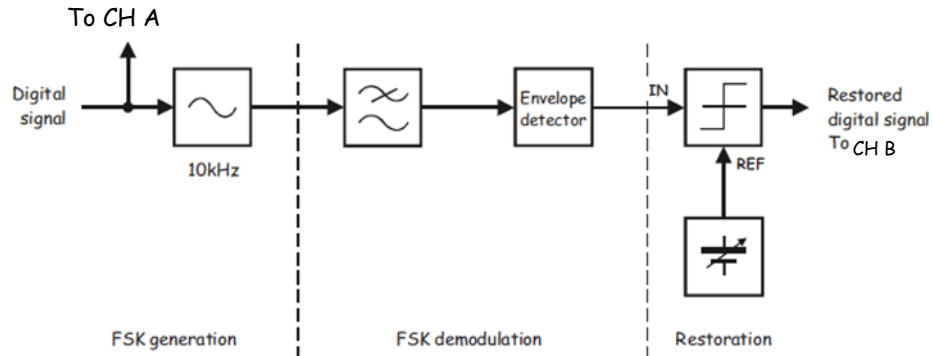
Bagian percobaan selanjutnya menggunakan komparator untuk merapikan sinyal FSK hasil demodulasi.

25. Jalankan NI ELVIS Variable Power Supplies VI.
26. Atur output positif pada Variable Power Supplies menjadi 0 V.
27. Ubah rangkaian sesuai Gambar 5.7 di bawah ini.



Gambar 5.7

Bagian-bagian yang menghasilkan FSK, demodulasi, dan memulihkan digital sinyal direpresentasikan dengan diagram blok pada Gambar 5.8 di bawah ini.



Gambar 5. 8

28. Bandingkan sinyalnya. Jika tidak sama, atur kendali halus *Voltage* pada output positif *Variable Power Supplies* hingga sama lalu gambarkan hasilnya di BCL.

Catatan: Hal ini membutuhkan penyesuaian akurat tegangan referensi mendekati 0 V.

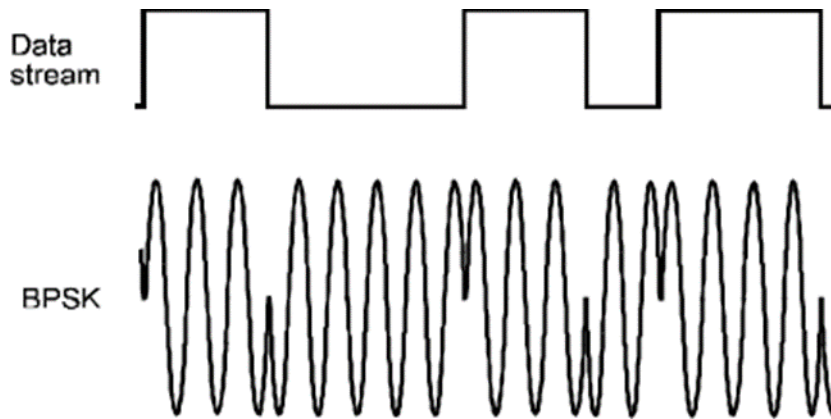
Pertanyaan 7: Bagaimana komparator mengubah tegangan yang meningkat secara kecil dari sinyal yang dipulihkan menjadi sinyal dengan transisi yang tajam?

Percobaan 2 - Binary Phase Shift Keying

Diskusi Awal

Skema modulasi AM dan FM dapat digunakan untuk mentransmisikan sinyal digital, dan ini memungkinkan saluran untuk dibagi. Sebagaimana data digital membentuk pesan ucapan dan musik, kedua sistem ini disebut sebagai ASK dan FSK.

Ingatlah bahwa ASK menggunakan data digital 1 dan 0 untuk merubah *carrier*-nya antara dua amplitudo. FSK menggunakan 1 dan 0 untuk merubah *carrier*-nya antara dua frekuensi. Alternatif untuk kedua metode ini adalah menggunakan *data stream* 1 dan 0 untuk merubah *carrier*-nya antara dua fase. Gambar 5. 9 di bawah ini menunjukkan seperti apa sinyal BPSK bersamaan dengan sinyal digital yang telah digunakan untuk menghasilkannya.



Gambar 5. 9

Perhatikan bahwa, perubahan dalam level logika menyebabkan perubahan fase sinyal BPSK sebesar 180° . Sebagai contoh, di mana sinyal bergerak menuju puncak positif, perubahan dalam level logika menyebabkannya berbalik arah dan menuju kembali ke puncak negatif (dan sebaliknya).

Anda mungkin akan kesulitan melihatnya pada awalnya, tetapi perhatikan dengan cermat dan Anda akan melihat bahwa setengah dari *envelopes* sinyal BPSK bergantian memiliki bentuk yang sama dengan sinyal pesan. Ini menunjukkan bahwa BPSK sebenarnya adalah modulasi *Double-Sideband Suppressed Carrier* (DSBSC). Dengan demikian, generasi BPSK dan pemulihan data dapat diatasi oleh teknik modulasi dan demodulasi DSBSC konvensional.

Dengan pilihan ASK, FSK, dan BPSK, Anda mungkin bertanya-tanya tentang sistem mana yang kemungkinan besar akan Anda lihat. Jika semua faktor sama, BPSK adalah sistem yang paling baik dalam hal kemampuannya untuk mengabaikan *noise* sehingga menghasilkan sedikit kesalahan di penerima. FM adalah yang terbaik berikutnya dan AM adalah yang terburuk. Berdasarkan hal itu, Anda dapat mengharapkan bahwa BPSK adalah sistem yang diutamakan. Namun, itu tidak selalu merupakan yang paling mudah diimplementasikan, sehingga dalam beberapa situasi FSK atau ASK mungkin digunakan karena lebih murah untuk diimplementasikan. Sebenarnya, FSK digunakan pada modem *dial-up* yang lebih murah.

Percobaan yang Dilakukan

Untuk percobaan ini, Anda akan menggunakan Emona DATEx untuk menghasilkan sinyal BPSK menggunakan modul Multiplier untuk mengimplementasikan model matematisnya. Data digital untuk pesan dimodelkan oleh modul Sequence Generator. Selanjutnya, Anda akan memulihkan data menggunakan modul Multiplier lainnya dan mengamati distorsinya. Terakhir, Anda akan menggunakan sebuah komparator untuk mengembalikan data.

Prosedur Percobaan

Bagian A - Membangkitkan Sinyal BPSK

Sinyal BPSK akan dihasilkan dengan mengimplementasikan model matematisnya untuk modulasi DSBSC.

1. Buka perangkat lunak NI ELVIS Traditional software.
2. Buka soft front-panel (SFP) DATEx dan pastikan Anda memiliki *soft control* untuk *boardDATEx*.
3. Temukan modul Sequence Generator pada DATEx SFP dan atur saklar *soft-nya* menjadi 00.
4. Sambungkan setup seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.10 di bawah.

Catatan: Masukkan steker hitam kabel osiloskop ke soket GND.

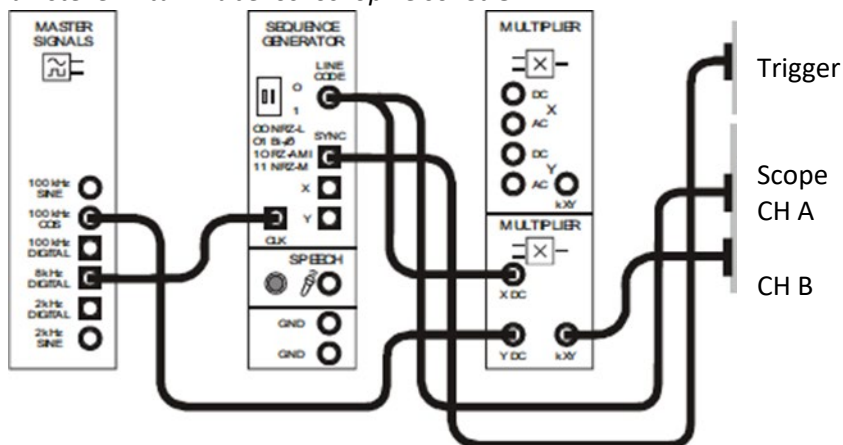
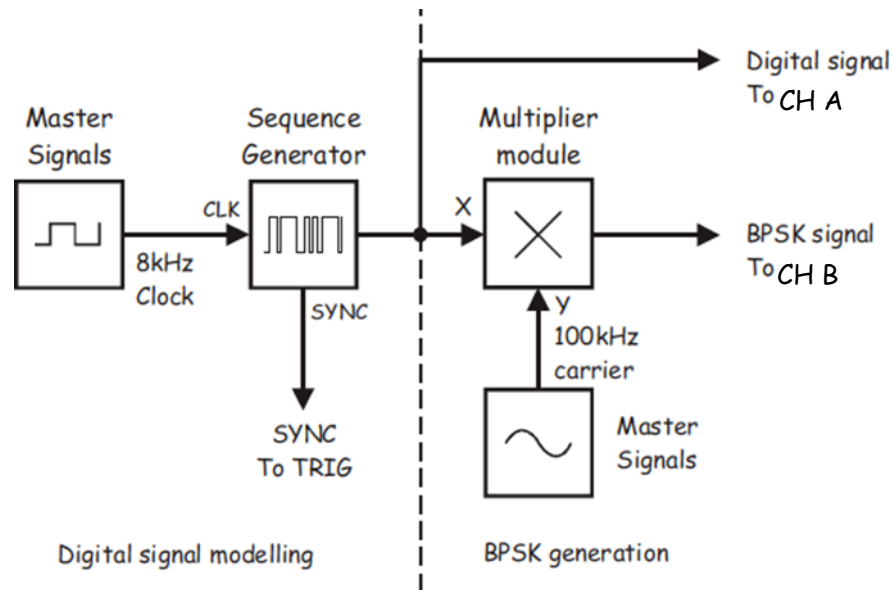


Figure 5. 10

Rangkaian ini dapat direpresentasikan oleh diagram blok seperti yang terdapat di Gambar 5. 11. Modul Sequence Generator digunakan untuk memodelkan sinyal digital dan keluaran SYNC-nya digunakan untuk memicu osiloskop guna memberikan tampilan yang stabil. Modul Multiplier digunakan untuk menghasilkan sinyal BPSK dengan mengimplementasikan model matematisnya.



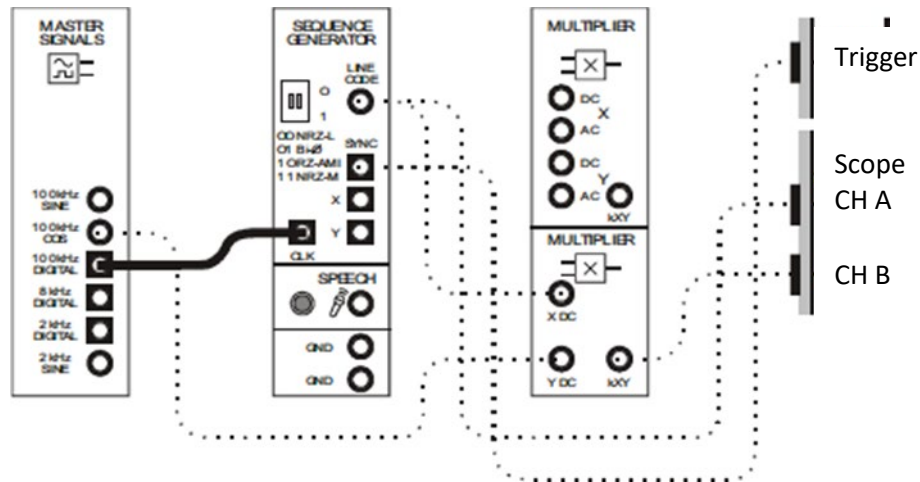
Gambar 5. 11

5. Buka dan jalankan NI ELVIS Oscilloscope VI.
6. Set up the scope with the following changes:
 - Kontrol Scale untuk Kanal B menjadi 2V/div
 - Kontrol Input Coupling untuk kedua kanal ke DC
 - Kontrol Timebase ke 100us/div
 - Kontrol Trigger Type ke Digital
7. Nyalakan input Kanal B osiloskop untuk mengamati keluaran modul Sequence Generator dan sinyal BPSK dari modul Multiplier.
8. Bandingkan sinyal-sinyal tersebut dan gambarkan hasilnya di BCL.

Pertanyaan 1: Fitur apa pada sinyal BPSK yang menunjukkan bahwa itu adalah sinyal DSBSC? Tip: Jika Anda tidak yakin, lihat diskusi awal.

Jelas bahwa sesuatu terjadi ketika output modul Sequence Generator mengubah tingkat logika, tetapi sulit untuk melihat dengan jelas apa yang terjadi pada resolusi ini. Beberapa langkah berikutnya akan membantu Anda melihat dengan lebih baik.

9. Modifikasi rangkaian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.12 di bawah ini.



Gambar 5.12

- Atur kontrol Timebase osiloskop ke posisi 10 μ s/div dan gambarkan hasilnya di BCL.

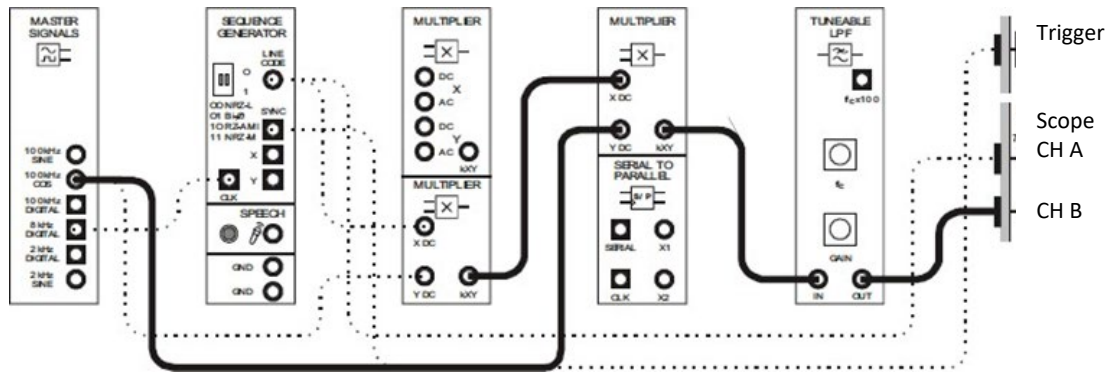
Catatan: NI ELVIS dioperasikan mendekati batas spesifikasinya sehingga keluaran COS 100kHz dari modul Master Signals terlihat seperti segitiga. Namun, tampilan sudah cukup untuk melihat apa yang terjadi ketika output modul Sequence Generator mengubah tingkat logika.

Pertanyaan 2: Apa yang terjadi pada sinyal BPSK saat transisi logika pada data stream?

Bagian B – Mendemodulasi Sinyal BPSK dengan *Product Detector*

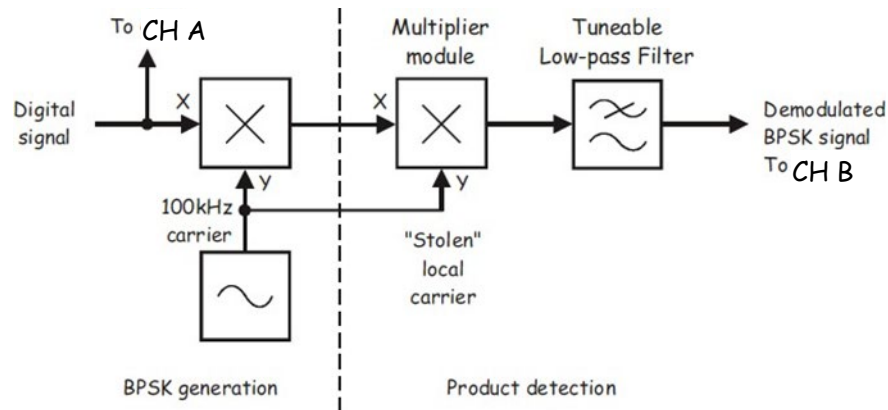
Karena BPSK sebenarnya hanyalah DSBSC (dengan pesan digital sebagai gantinya ucapan atau musik), sinyal dapat dipulihkan menggunakan salah satu skema demodulasi DSBSC. Bagian percobaan berikutnya memungkinkan Anda melakukannya dengan menggunakan *product detector*.

- Kembalikan masukan CLK modul Sequence Generator ke keluaran Digital 8kHz dari modul Master Signals.
- Atur kontrol *Timebase* osiloskop ke posisi 200 μ s/div.
- Temukan modul Tuneable Low-pass Filter pada SFP DATEx dan putar kontrol Cut-off Frequency Adjust sepenuhnya searah jarum jam.
- Atur kontrol *soft Gain* modul Tuneable Low-pass Filter ke posisi tengah.
- Modifikasi rangkaian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.13 di bawah ini.



Gambar 5. 13

Bagian pembangkitan dan demodulasi BPSK dari penyusunan ini dapat direpresentasikan oleh diagram blok pada Gambar 5.14. Multiplier kedua dan modul Tuneable Low-pass filter digunakan untuk mengimplementasikan *product detector* guna memulihkan data digital dari sinyal BPSK.



Gambar 5. 14

16. Bandingkan sinyal digital dengan sinyal hasil pemulihan dan gambarkan hasilnya di BCL.

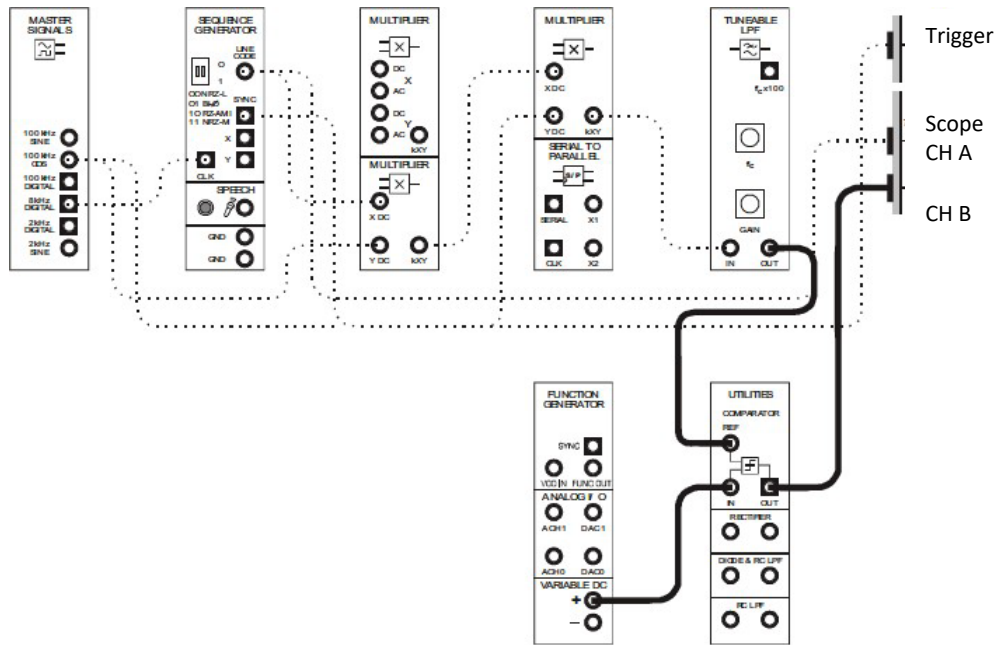
Pertanyaan 3: Mengapa sinyal digital yang dipulihkan bukan merupakan salinan sempurna dari aslinya?

Pertanyaan 4: Apa yang dapat digunakan untuk "membersihkan" sinyal digital yang dipulihkan?

Bagian C – Membersihkan Data yang Telah Dipulihkan Menggunakan Komparator

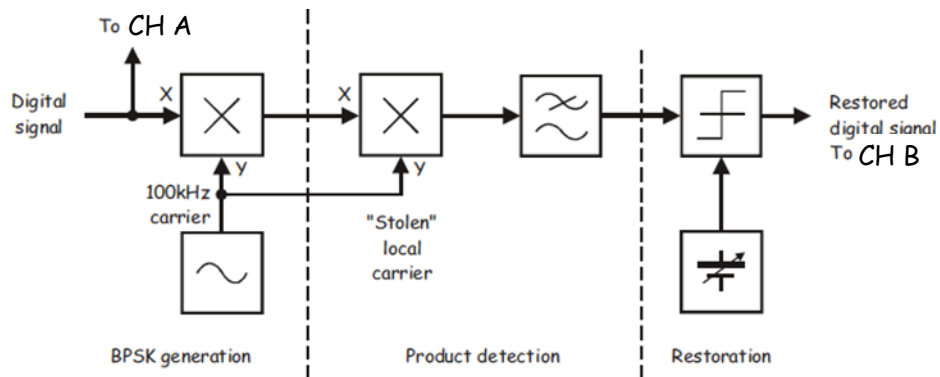
Bagian eksperimen berikutnya memungkinkan Anda menggunakan sebuah komparator untuk membersihkan sinyal BPSK yang sudah didemodulasi.

17. Buka dan jalankan NI ELVIS Variable Power Supplies VI.
18. Atur keluaran positif Variable Power Supplies ke 0V.
19. Modifikasi rangkaian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. 15 di bawah ini.



Gambar 5. 15

Pembangkitan BPSK, demodulasi, dan bagian pembersihan sinyal digital dari penyusunan ini dapat direpresentasikan oleh diagram blok pada Gambar 5. 16 di bawah ini.



Gambar 5. 16

20. Bandingkan sinyal-sinyal tersebut. Jika tidak sama, sesuaikan *soft control* Tegangan keluaran positif Variable Power Supplies hingga sesuai lalu gambarkan hasilnya di BCL.

Percobaan 3 - Quadrature Phase Shift Keying

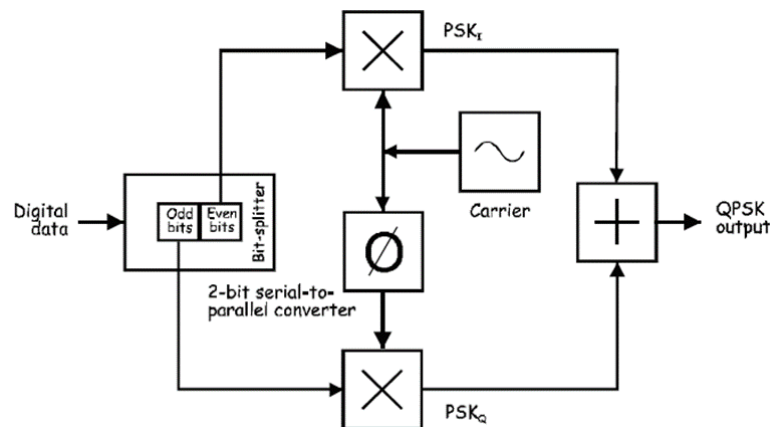
Diskusi Awal

Sesuai dengan namanya, *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK) adalah variasi dari *Binary Phase Shift Keying* (BPSK). Ingatlah bahwa, BPSK pada dasarnya adalah skema modulasi DSBSC dengan informasi digital untuk pesan. Yang terpenting, informasi digital dikirim satu bit pada satu waktu. QPSK juga adalah skema modulasi DSBSC, tetapi QPSK mengirim dua bit informasi digital sekaligus (tanpa menggunakan *frekuensi carrier* lainnya).

Karena QPSK mengirim dua bit data sekaligus, mungkin Anda berpikir bahwa QPSK dua kali lebih cepat daripada BPSK, namun sebenarnya tidak demikian. Mengubah data digital dari serangkaian bit individual menjadi serangkaian bit berpasangan akan mengurangi setengah dari *bit-rate*. Hal ini menghilangkan keuntungan kecepatan dari pengiriman dua bit sekaligus.

Lalu, mengapa menggunakan QPSK? Mengurangi setengah dari *bit-rate* memang memiliki satu keuntungan yang signifikan. Jumlah spektrum frekuensi radio yang diperlukan untuk memancarkan QPSK adalah setengah dari yang diperlukan untuk sinyal BPSK. Hal ini memberikan lebih banyak ruang bagi pengguna pada *channel*.

Gambar 5. 19 di bawah ini menunjukkan diagram blok dari implementasi matematika QPSK.

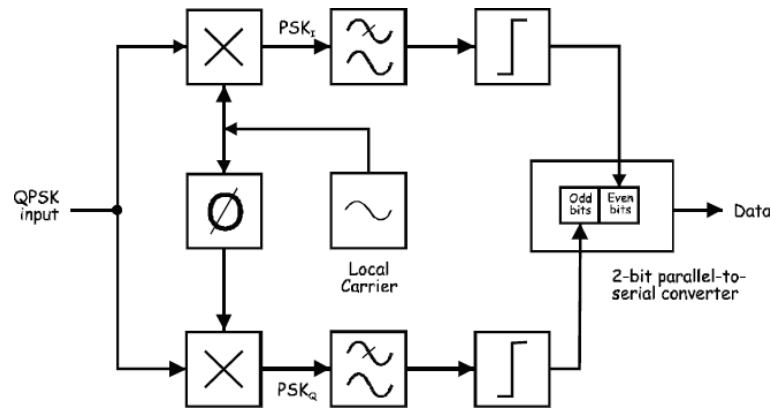


Gambar 5. 17

Pada input ke modulator, bit-bit genap dari data digital (yaitu, bit 0, 2, 4, dan seterusnya) dipisahkan dari aliran data oleh “*bit-splitter*” dan dikalikan dengan sebuah *carrier* untuk menghasilkan sinyal BPSK (disebut PSK_I). Pada saat yang sama, bit-bit ganjil dari data (yaitu, bit 1, 3, 5, dan seterusnya) dipisahkan dari aliran data dan dikalikan dengan *carrier* yang sama untuk menghasilkan sinyal BPSK kedua (disebut PSK_Q). Namun, fasa *carrier* dari sinyal PSK_Q digeser sebesar 90 derajat sebelum dimodulasi. Ini merupakan rahasia dari operasi QPSK.

Kedua sinyal BPSK ini kemudian dijumlahkan bersama satu sama lain untuk transmisi dan, karena kedua sinyal ini memiliki *frekuensi carrier* yang sama, keduanya menempati porsi yang sama pada spektrum frekuensi radio. Hal ini menunjukkan bahwa kedua set sinyal ini akan tercampur dan tidak dapat dikembalikan seperti semula (*irretrievably mixed*), pemisahan fasa sebesar 90 derajat yang diperlukan antara *carrier-carrier* memungkinkan *sidebands* dipisahkan oleh *receiver* menggunakan

phase discrimination. Gambar 5. 20 di bawah ini menunjukkan blok diagram dari implementasi matematika demodulasi QPSK.



Gambar 5. 20

Perhatikan bahwa diagram blok menggunakan dua *product detector* untuk melakukan demodulasi dari dua sinyal BPSK secara bersamaan. Ini memulihkan pasangan bit dari data asli secara bersamaan. Kedua sinyal lalu dibersihkan menggunakan sebuah komparator atau *signal conditioner* lainnya, kemudian bit-bit tersebut disusun kembali menggunakan sebuah *2-bit parallel-to-serial converter*.

Untuk memahami bagaimana tiap detektor hanya memilih salah satu dari kedua sinyal BPSK dan tidak keduanya, ingat kembali bahwa pendeteksian perkalian (*product*) dari sinyal DSBSC adalah "*phase sensitive*". Artinya, pemulihan pesan akan optimal jika *transmitted carrier* dan *local carrier* berada dalam satu fasa. Tetapi, pesan yang dipulihkan akan dilemahkan jika kedua *carrier* tidak berada dalam fasa yang sama. Yang penting, jika *error* dari fasa sebesar 90 derajat, maka amplitudo dari pesan yang dipulihkan adalah nol. Dengan kata lain, pesan tersebut sepenuhnya ditolak.

Demodulator QPSK memanfaatkan fakta ini. Perhatikan bahwa *product detector* pada Gambar 5.17 berbagi *carrier* yang sama, tetapi salah satunya bergeser fasa sebesar 90 derajat. Dengan demikian, setelah fasa dari *local carrier* untuk satu *product detector* cocok dengan fasa dari *transmission carrier* untuk salah satu sinyal BPSK lainnya, maka secara otomatis *error* fasa akan menjadi 90 derajat antara detektor *local carrier* dan *transmission carrier* dari sinyal BPSK. Jadi, detektor memulihkan data pada sinyal BPSK yang dicocokkan dan menolak sinyal BPSK lainnya.

Percobaan yang Dilakukan

Pada percobaan ini, Anda akan menggunakan Emona DATEx untuk menghasilkan sinyal QPSK dengan melakukan implementasi model matematika QPSK. Setelah sinyal dihasilkan, Anda akan memeriksa sinyal QPSK menggunakan *scope*. Kemudian, Anda akan memeriksa bagaimana *phase discrimination*, menggunakan *product detector*, dapat digunakan untuk memilih data pada satu sinyal BPSK ataupun sinyal lainnya.

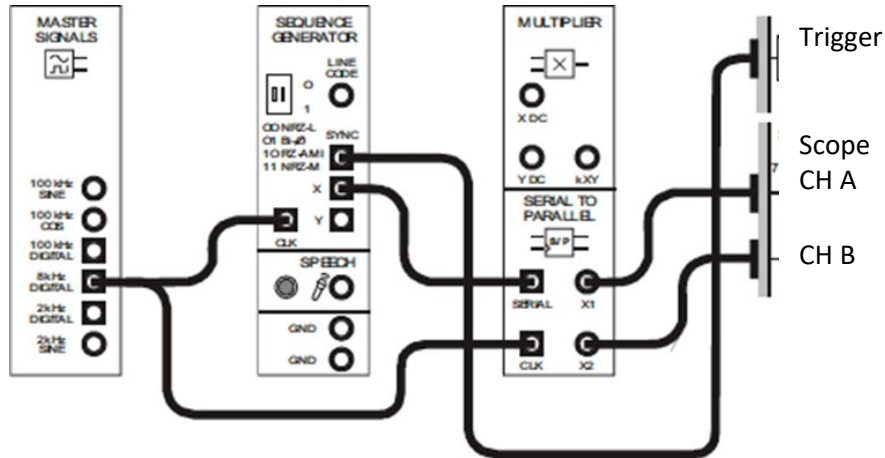
Prosedur Percobaan

Bagian A – Menghasilkan Sinyal QPSK

1. Buka NI ELVIS Traditional software.

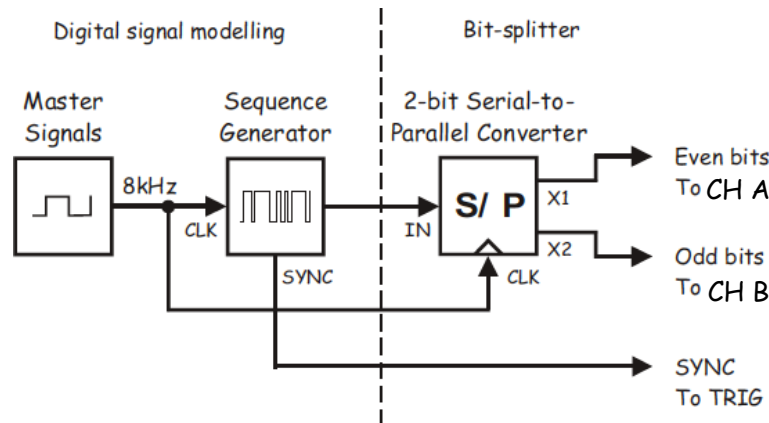
2. Hubungkan rangkaian seperti pada Gambar 5. 21 di bawah.

Catatan: Masukkan colokan hitam pada kabel osiloskop ke soket ground (GND).



Gambar 5. 21

Rangkaian di atas dapat direpresentasikan oleh diagram blok pada Gambar 5. 22 di bawah ini. Modul *Sequence Generator* digunakan untuk memodelkan data digital. Modul *2-bit Serial-to-Parallel Converter* digunakan untuk memisahkan bit data ke aliran data bit genap dan bit ganjil.

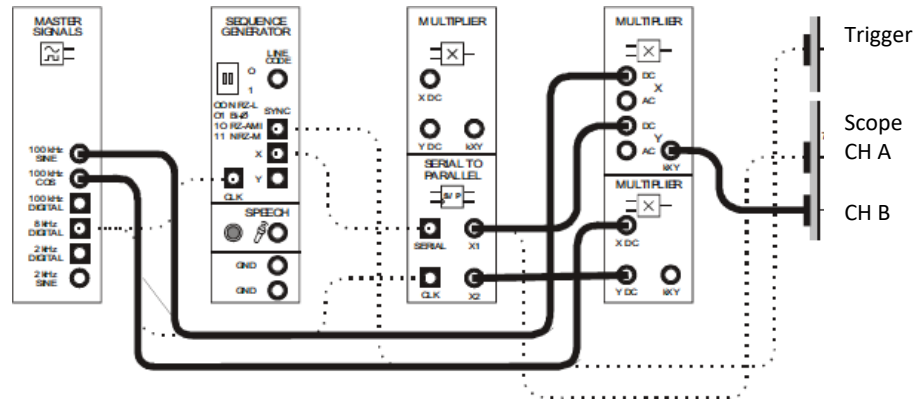


Gambar 5. 18

3. Buka dan jalankan NI ELVIS Oscilloscope VI.
4. Siapkan scope dengan ketentuan berikut: *Trigger Type* menjadi *Digital*, bukan *Edge*.
5. Nyalakan input Kanal B pada osiloskop untuk mengamati kedua output modul Serial-to-Parallel Converter.
6. Bandingkan sinyal-sinyal yang muncul. Anda akan melihat dua sinyal digital yang berbeda satu sama lain. Gambarkan kedua sinyal ini di BCL.

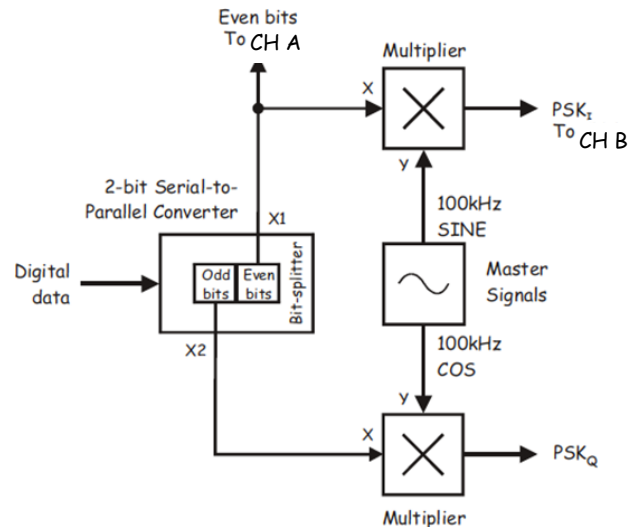
Pertanyaan 1: Apa hubungan antara bit-rate dari kedua sinyal digital ini dengan bit-rate dari output modul *sequence generator*? *Tip:* Jika Anda tidak yakin, lihat *Diskusi Awal*.

7. Modifikasi rangkaian menjadi Gambar 5.23 di bawah ini. Ingat: Garis putus-putus menunjukkan kabel telah terpasang sebelumnya.



Gambar 5. 19

Di luar dari pemodelan data digital, hubungan rangkaian tersebut dapat diwakili oleh diagram blok pada Gambar 5. 24 berikut. Perhatikan bahwa dua output *bit-splitter* terhubung pada modul *Multiplier* secara independent. Output lain terhubung ke modul *Multiplier* adalah gelombang sinus dengan frekuensi 100kHz. Akan tetapi, sinyal-sinyal tersebut tidak sefasa satu sama lain, tetapi berbeda fasa 90 derajat yang merupakan persyaratan dari QPSK.



Gambar 5. 20

8. Atur kontrol *Timebase* osiloskop menjadi 200us/div.
9. Bandingkan data *bit-bit* genap dengan output modul *Multiplier* (PSKI) dan gambarkan hasilnya di BCL.

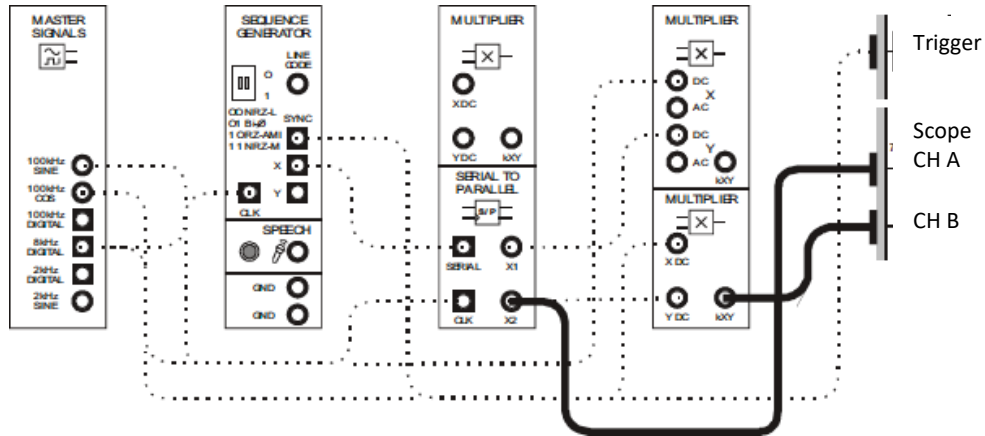
Tip: Anda mungkin akan lebih mudah melakukan ini jika Anda mengatur skala Kanal B dari osiloskop menjadi 2V/div.

10. Ubah kontrol *Trigger Type* osiloskop menjadi *Edge*.

11. Ubah kontrol Timebase osiloskop ke posisi 50us/div.
12. Amati *carrier* dan cermati dengan seksama perubahannya pada transisi *sequence* lalu gambarkan hasilnya di BCL.

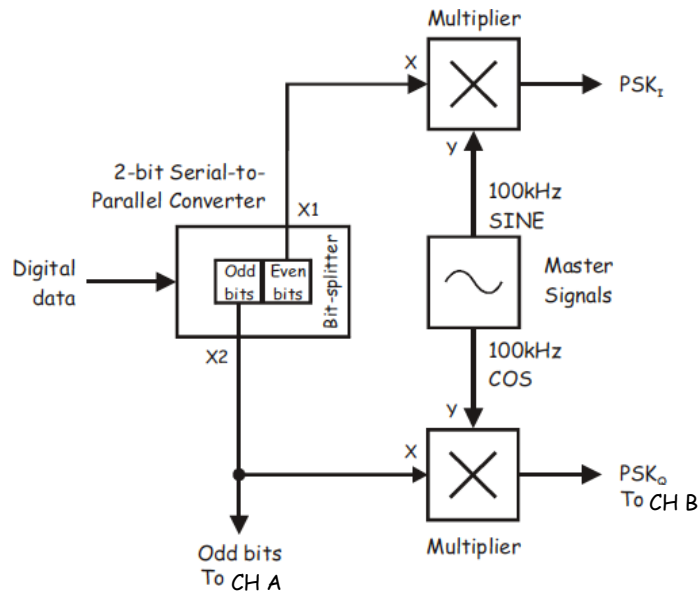
Pertanyaan 2: Fitur apa pada output Multiplier yang menunjukkan bahwa hal tersebut adalah sinyal BPSK?

13. Kembalikan *Timebase* dari scope menjadi 500us/div dan *Trigger Type* menjadi *Digital*.
14. Pindahkan hubungan scope seperti yang bisa dilihat pada Gambar 5. 25 di bawah ini.



Gambar 5. 21

Perubahan ini dapat dilihat pada blok diagram pada Gambar 5. 26 di bawah ini.



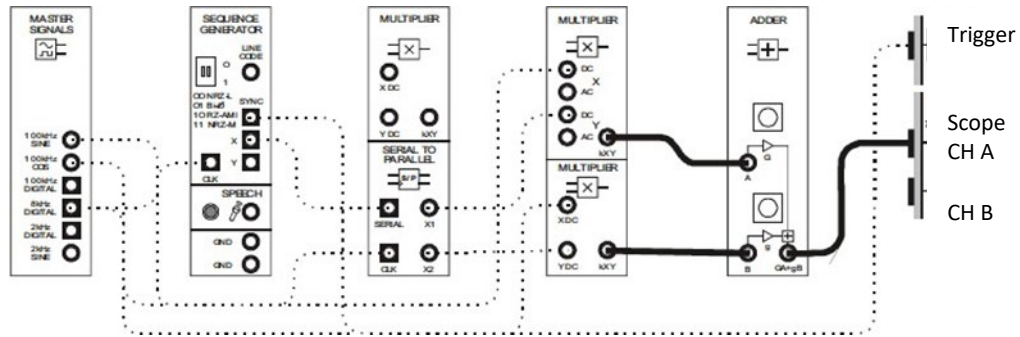
Gambar 5. 22

15. Atur *Timebase* dari osiloskop menjadi 200us/div.
16. Bandingkan data bit-bit genap dengan output modul *Multiplier* (PSK_Q) dan gambarkan hasilnya di BCL.

17. Atur *Trigger Type* dari osiloskop menjadi *Edge*.
18. Atur *Timebase* dari osiloskop menjadi 50us/div.
19. Amati sinyal *carrier* dan cermati perubahannya di setiap transisi *sequence* dan gambarkan hasilnya di BCL.

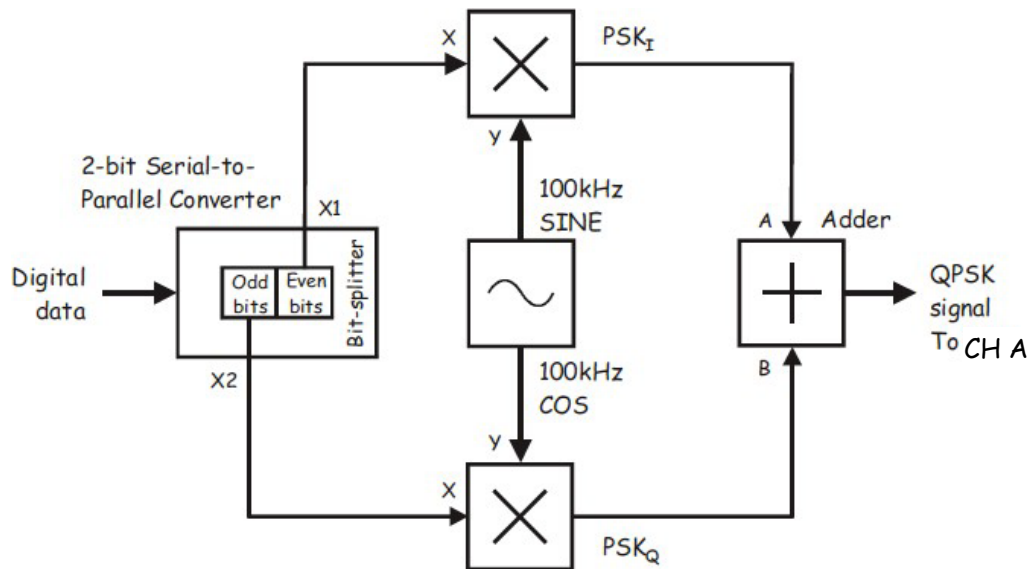
Pertanyaan 3: Apa tipe dari sinyal yang muncul pada output Multiplier?

20. Kembalikan *Timebase* dari osiloskop menjadi 500us/div dan *Trigger Type* menjadi *Digital*.
21. Modifikasi rangkaian seperti pada Gambar 5. 27 di bawah.



Gambar 5. 23

Rangkaian ini dapat direpresentasikan oleh diagram blok pada Gambar 5. 28 di bawah ini. Modul *Adder* digunakan untuk menjumlahkan sinyal PSKI dan PSKQ. Ini membuat rangkaian menjadi modulator QPSK sepenuhnya.



Gambar 5. 24

22. Buka DATex soft front-panel (SFP) dan periksa bahwa Anda memiliki *soft control* ke *board DATEx*.
23. Putuskan hubungan kabel menuju input A dari modul *Adder*.

Catatan: Ini akan menghilangkan sinyal BPSKI dari sinyal output dari modul *Adder*.

24. Temukan modul *Adder* pada DATex SFP dan sesuaikan *soft G control* untuk mendapatkan output 4Vpp dan gambarkan sinyal yang terbentuk di BCL.
25. Hubungkan kembali kabel menuju input A dari modul *Adder*.
26. Putuskan hubungan kabel menuju input B dari modul *Adder*.

Catatan: *Ini akan menghilangkan sinyal BPSKQ dari sinyal output dari modul Adder.*

27. Atur kontrol *soft G* dari modul *Adder* untuk mendapatkan output 4Vpp dan gambarkan sinyal yang terbentuk di BCL.
28. Hubungkan kembali kabel menuju input B dari modul *Adder* dan gambarkan sinyal yang terbentuk di BCL.

Pertanyaan 4: *Apa tipe transmisi sinyal digital yang ada pada output modul Adder sekarang?*

Bagian B – Pengamatan *Bandwidth* QPSK dalam Domain Frekuensi

Salah satu keunggulan QPSK dibandingkan BPSK adalah *data-rate* yang lebih tinggi untuk *bandwidth* yang sama. Bagian selanjutnya dari percobaan ini memungkinkan Anda untuk melihatnya sendiri dengan menggunakan NI ELVIS Dynamic Signal Analyzer.

29. Putuskan hubungan kabel menuju input A dari modul *Adder*.

Catatan: *Ini akan menghilangkan sinyal BPSKI dari sinyal output dari modul Adder, mengubah sinyal menjadi BPSK sederhana.*

30. Hentikan operasi VI osiloskop dengan mengklik *Stop* sekali.

Catatan: *Hal ini akan mem-freeze tampilan PC.*

31. Buka dan jalankan NI ELVIS Dynamic Signal Analyzer VI.
32. Sesuaikan kontrol sinyal *analyzer* seperti berikut:

Input Settings

- Source Channel to SCOPE CH B
- Voltage Range to $\pm 10V$

Frequency Display

- Units to dB
- Mode to RMS
- Scale to Auto
- Markers unchecked

FFT Settings

- Frequency Span to 200,000
- Resolution to 400
- Window to 7 Term B-Harris

Averaging

- Mode to RMS
- Weighting to Exponential
- # of Averages to 3

Trigger Settings

- Type to Edge

33. Hubungkan kembali hubungan kabel menuju input A dari modul *Adder* sembari memperhatikan tampilan sinyal *analyzer* dengan seksama lalu gambarkan hasilnya di BCL.

Catatan: *Ini akan mengubah sistem kembali menjadi modulator QPSK dan mengandakan data-rate.*

Pertanyaan 5: Apa pengaruh pengandaan data-rate terhadap bandwidth sinyal?

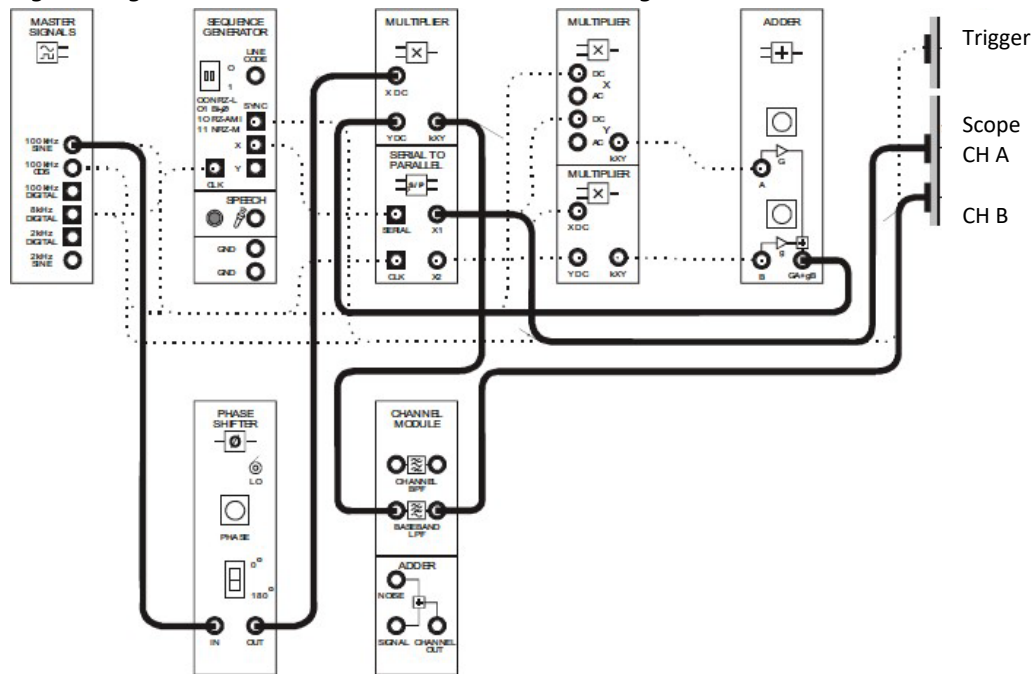
Pertanyaan 6: Apakah penambahan sinyal BPSK memberikan pengaruh pada output modul Adder? Jika iya, mengapa?

Bagian C – Menggunakan *Phase Discrimination* untuk Memilah Salah Satu dari Sinyal BPSK dari Sinyal QPSK

Tidak mungkin mengimplementasikan modulator QPSK dan demodulator penuh hanya dengan satu modul Emona DATEx. Namun, dimungkinkan untuk mendemonstrasikan bagaimana *phase discrimination* digunakan oleh demodulator QPSK untuk memilih salah satu dari dua sinyal BPSK yang membentuk sinyal QPSK. Bagian selanjutnya dari percobaan memungkinkan Anda melakukan hal ini.

34. Tutup jendela Signal Analyzer VI.
35. Temukan modul *Phase Shifter* pada DATex SFP dan atur *soft control* dari *Phase Change* menjadi 0 derajat.
36. Temukan modul *Tuneable Low-Pass Filter* pada DATex SFP dan putar *soft Gain control* ke posisi tengah.
37. Putar kontrol *soft Frequency Adjust* dari *Tuneable Low-Pass Filter* sepenuhnya searah jarum jam.
38. Modifikasi rangkaian menjadi Gambar 5. 29 di bawah ini.

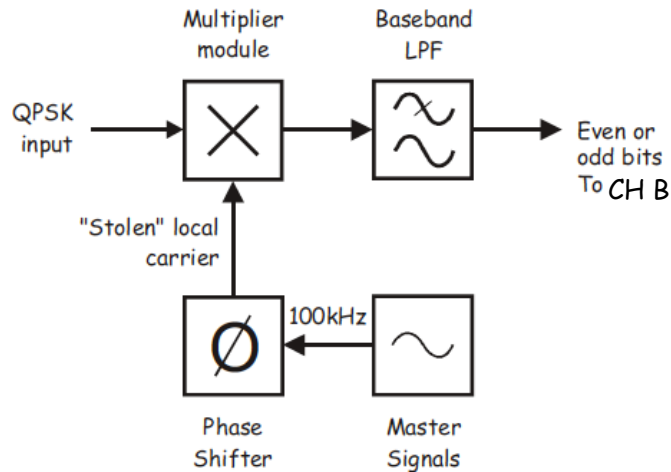
Catatan: Karena ada banyak hubungan rangkaian, Anda mungkin akan merasa terbantu untuk mencentang hubungan kabel saat Anda menambahkan hubungan kabel tersebut.



Gambar 5. 25

Penambahan hubungan rangkaian pada Gambar 5.29 dapat direpresentasikan oleh diagram blok pada Gambar 5. 30 di bawah ini. Jika Anda membandingkan diagram blok pada Gambar 5.20 pada Diskusi

Awal, Anda akan melihat bahwa hubungan rangkaian tersebut mengimplementasikan sebagian besar dari satu lengan demodulator QPSK (baik I maupun Q).

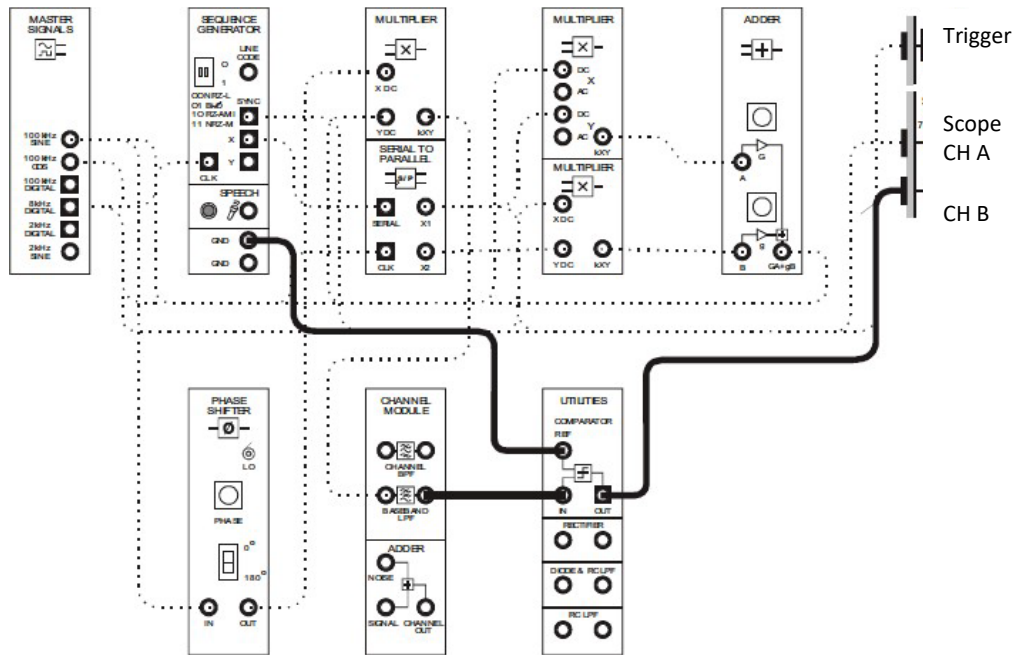


Gambar 5. 30

39. *Restart* VI Osiloskop dengan mengklik kontrol *Run* sekali.
40. Bandingkan data bit-bit genap pada output X1 dari modul *Serial-to-Parallel Converter* dengan data pada output dari LPF *Baseband* lalu gambarkan hasilnya di BCL.
41. Variasikan *soft Phase Adjust control* dari modul *Phase Shifter* kiri dan kanan dan amati pengaruhnya pada sinyal yang terdemodulasi. Ambil satu posisi untuk dijadikan data dan gambarkan sinyalnya di BCL.
42. Atur *soft Phase Change control* dari modul *Phase Shifter* ke posisi 180 derajat dan ulangi Langkah 40.

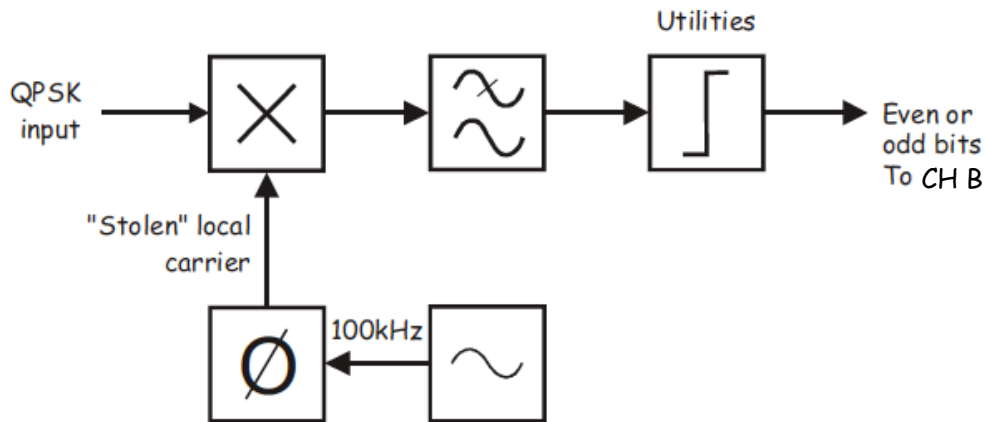
Pertanyaan 7: Mengapa sinyal yang dipulihkan memiliki 3 atau 4 level tegangan dan bukan dalam 2 level tegangan seperti yang Anda harapkan pada sinyal digital?

43. Modifikasi rangkaian menjadi Gambar 5.31 di bawah ini.



Gambar 5.31

Penambahan Komparator pada modul Utilities dapat direpresentasikan oleh diagram blok pada Gambar 5.32. Jika Anda membandingkan diagram blok tersebut dengan Gambar 5.20 pada Diskusi Awal, Anda akan melihat bahwa perubahan ini melengkapi satu lengan dari demodulator QPSK.



Gambar 5.26

44. Kembalikan *soft Phase Change control* dari modul *Phase Shifter* ke posisi 0 derajat.
45. Bandingkan data bit-bit genap pada output X1 dari modul *Serial-to-Parallel Converter* dengan data pada output dari *LPF Baseband*.
46. Sesuaikan *soft Phase Adjust control* dari modul *Phase Shifter* hingga Anda berhasil memulihkan data dari bit-bit genap lalu gambarkan hasilnya di BCL (abaikan pergeseran fasa apa pun).

Pertanyaan 8: Bagaimana hubungan fasa saat ini antara local carrier dengan sinyal carrier yang digunakan untuk menghasilkan sinyal PSK1 dan PSKQ?

47. Lepaskan hubungan input Channel A scope dari output X1 modul *Serial-to-Parallel Converter* dan hubungkan ke output X2 untuk melihat data bit-bit ganjil.
48. Bandingkan data bit-bit ganjil dengan data yang telah dipulihkan. Data-data tersebut seharusnya berbeda.
49. Atur *soft Phase Change control* dari modul *Phase Shifter* ke posisi 180 derajat.
50. Sesuaikan *soft Phase Adjust control* dari modul *Phase Shifter* hingga Anda berhasil memulihkan data dari bit-bit ganjil (abaikan pergeseran fasa apa pun). Gambarkan hasilnya di BCL

Pertanyaan 9: *Bagaimana hubungan fasa baru antara local carrier dengan sinyal carrier yang digunakan untuk menghasilkan sinyal PSK1 dan PSKQ?*

Pertanyaan 10: *Mengapa demodulator Anda dianggap hanya setengah dari QPSK receiver yang lengkap?*
