ANALISIS SIMULASI PERBANDINGAN PARAMETER SINYAL PADA BERBAGAI TEKNIK MODULASI SINYAL MELALUI KANAL *MULTIPATH RAYLEIGH FADING*

Mohamad Zaenudin

5215134382

Skripsi ini Ditulis untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan dalam Memperoleh Gelar Sarjana Pendidikan

PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK ELEKTRONIKA

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA

2017

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama	: Mohamad Zaenudin;
Nomor Registrasi	: 5215134382;
Judul Skripsi	: Analisis Perbandingan Parameter Sinyal Pada Berbagai Teknik Modulasi Sinyal Melalui Kanal *Multipath Rayleigh Fading*.

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa penulisan skripsi ini adalah hasil dari penelitian, pemikiran, dan pengkajian asli dari peneliti pribadi pada semua bagian skripsi. Jika ada hasil karya orang lain peneliti akan mencantumkan sumber yang jelas.

Pernyataan ini peneliti buat dalam keadaan sadar dan tanpa paksaan dari pihak mana pun. Apabila di kemudian hari mendapat penyimpangan dan ketidakbenaran terhadap pernyataan yang dibuat ini, maka peneliti bersedia menerima sanksi akademik dengan peraturan yang berlaku di Universitas Negeri Jakarta.

Demikian pernyataan ini peneliti paparkan dan dapat digunakan sebagaimana mestinya.

Jakarta, 7 Agustus 2017

Yang membuat pernyataan

Mohamad Zaenudin

NIM. 5215134382

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Nama Dosen	Tanda Tangan	Tanggal
Aodah Diamah, ST., M. Eng. (Dosen Pembimbing I)	.....	18/8-2017
Dr. Muhammad Yusro, MT. (Dosen Pembimbing II)	.....	18/8/2017

PENGESAHAN PANITIA UJIAN SIDANG

Nama Dosen	Tanda Tangan	Tanggal
Drs. Wisnu Djatmiko, MT. (Ketua Penguji)	.....	18/8-2017
Drs. Mufti Ma'sum, M. Pd. (Sekretaris)	.....	9/8-2017
Dr. Baso Maruddani, MT. (Dosen Ahli)	.....	16/8-17

Tanggal Lulus: 2 Agustus 2017

ABSTRAK

Mohamad Zaenudin, *Analisis Simulasi Perbandingan Parameter Sinyal Pada Berbagai Teknik Modulasi Sinyal Melalui Kanal Multipath Rayleigh Fading*. Skripsi. Jakarta, Program Studi Pendidikan Teknik Elektronika, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta, 2017. Dosen Pembimbing: Aodah Diamah, ST., M. Eng. dan Dr. Muhammad Yusro, MT

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis teknik modulasi yang memiliki unjuk kerja terbaik berdasarkan parameter BER dan PSD.

Penelitian ini menggunakan Metode Rekayasa Teknik yang meliputi identifikasi model sistem, perancangan sistem, pengujian sistem, dan implementasi. Peneliti menggunakan Matlab® Simulink 2015a yang menyediakan berbagai model yang dibutuhkan seperti modulator, kanal, demodulator, penganalisis rerata galat, penganalisis spektrum, dan penghasil data acak.

Dalam penelitian ini, disimpulkan bahwa jika dilihat dari parameter BER, maka modulasi dengan parameter terbaik berturut-turut adalah sebagai berikut: BFSK (1.64e-5), BPSK (2.75e-5), QAM (2.81e-5), QPSK (2.61e-3), 16-QAM (2.72e-3) dan 16-QPSK (6.34e-3). Sedangkan, dalam pengujian parameter PSD, maka modulasi dengan nilai parameter terbaik berturut-turut adalah sebagai berikut: BFSK (-46.362 dBm), 16-QPSK(55.508 dBm), BPSK (55.561 dBm), QPSK (59.589 dBm), QAM (66.436 dBm), dan 16-QAM (89.722 dBm). Pada modulasi yang setara, yaitu modulasi BPSK, QPSK, dan QAM, pada parameter BER, modulasi dengan performa terbaik yaitu BPSK (2.75e-5), QAM (2.81e-5), dan QPSK (2.61e-3). Sedangkan pada parameter PSD, urutan performa terbaiknya yaitu, BPSK (55.561 dBm), QPSK (59.589 dBm), dan QAM (66.436 dBm).

Kata-kata Kunci: Modulation, BER, PSD, Kanal, BFSK, BPSK, QPSK, QAM.

ABSTRACT

Mohamad Zaenudin, "*Analyzing Simulation of Signal Parameters Compare In Various Signal Modulation Technique With Multipath Rayleigh Fading Channel.* Skripsi. Jakarta, Study Program of Educational Elektronics Engineering, Faculty of Engineering, Jakarta State University, 2017. Lecturer: Aodah Diamah, ST., M. Eng and Dr. Muhammad Yusro, MT.

The goal of this research is to analyze which is modulation technique with the best performance in BER and PSD parameters.

This research use Technique Engineering Methode includes identify system models, system plans, system test, and implementation. Researcher use Matlab ® Simulink 2015a that provides some models needed such as modulators, channels, demodulators, error rate analyzer, spectrum analyer, and random data generators.

In this research provide a conclusion that, if we compare in BER parameter, then the best modulation in row was : BFSK (1.64e-5), BPSK (2.75e-5), QAM (2.81e-5), QPSK (2.61e-3), 16-QAM (2.72e-3) and 16-QPSK (6.34e-3). Whereas , if we compare in PSD parameter, then the best modulation in row was : BFSK (-46.362 dBm), 16-QPSK(55.508 dBm), BPSK (55.561 dBm), QPSK (59.589 dBm), QAM (66.436 dBm), and 16-QAM (89.722 dBm). In equivalent modulation, that is BPSK, QPSK, and QAM modulations, in BER parameter, modulation with best performance is BPSK (2.75e-5), QAM (2.81e-5), dan QPSK (2.61e-3). Whereas in PSD parameter, best performance order is BPSK (55.561 dBm), QPSK (59.589 dBm), and QAM (66.436 dBm).

Keywords: Modulation, BER, PSD, Channel, BFSK, BPSK, QPSK, QAM

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan penulis berbagai nikmat, sehingga skripsi berjudul "**Analisis Simulasi Perbandingan Parameter Sinyal Pada Berbagai Teknik Modulasi Sinyal Melalui Kanal *Multipath Rayleigh Fading*"** ini dapat terselesaikan tepat pada waktunya. Tidak lupa penulis ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang memberikan dukungan baik moril maupun materil, yaitu:

1. Drs. Pitoyo Yuliatmojo, MT selalu Kepala Program Studi Pendidikan Teknik Elektronika UNJ;
2. Aodah Diamah, ST., M. Eng. selaku dosen pembimbing I;
3. Dr. Muhammad Yusro, MT selaku dosen pembimbing II;
4. Dosen-dosen Program Studi Pendidikan Teknik Elektronika UNJ;
5. Kawan-kawan Elektronika 2013;
6. Keluarga.

Jakarta, 24 Juli 2017

Peneliti

DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN i
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI ii
ABSTRAK iii
ABSTRACT iv
KATA PENGANTAR v
DAFTAR ISI vi
DAFTAR GAMBAR ix
DAFTAR TABEL xii
DAFTAR PERSAMAAN xiii
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1. Latar Belakang Masalah 1
1.2. Identifikasi Masalah 3
1.3. Pembatasan Masalah 3
1.4. Rumusan Masalah 4
1.5 Tujuan Penelitian 4
1.6. Manfaat Penelitian 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 6
2.1. Pemodelan dan Simulasi 6
2.2. Software Simulink Matlab 6
2.3. Kanal-Kanal Komunikasi 8
2.3.1. Additive White Gaussian Noise (AWGN) 9
2.3.4. Multipath Rayleigh Fading Channel 10
2.4. Definisi Modulasi 11
2.5. Teknik-Teknik Modulasi Sinyal Digital 11

2.5.1. Binary Amplitude Shift Keying (BASK) 11
2.5.2. Binary Phase Shift Keying (BPSK) 13
2.5.3. Binary Frequency Shift Keying (BFSK) 16
2.5.4. Modulasi Quadratur 18
2.6. Parameter Sinyal 25
2.6.1. Power Spectral Density 25
2.6.2. Bit Error Rate (BER) dan Signal to Noise Ratio (SNR) 27
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 29
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian 29
3.2. Alat dan Bahan Penelitian 29
3.3. Diagram Alir Penelitian 29
3.4. Teknik dan Prosedur Pengumpulan Data 30
3.4.1. *Random Data Generator* 31
3.4.2. *Modulator* dan *Demodulator Baseband* 34
3.4.3. Kanal Komunikasi 47
3.4.4. Power Spectral Density (PSD) Dengan Periodogram 55
3.4.5. Error Rate Calculation 56
3.4.6. Display Output 58
3.5. Teknik Analisis Data 64
BAB IV HASIL PENELITIAN 65
4.1. Deskripsi Hasil Penelitian 65
4.2. Analisis Data Hasil Penelitian 73
4.2.1. Model Simulasi BFSK 74
4.2.2. Model Simulasi BPSK 80
4.2.3. Model Simulasi QPSK 88
4.2.4. Model Simulasi 16-QPSK 96

4.2.5. Model Simulasi QAM 103
4.2.6. Model Simulasi 16-QAM 110
4.2.7. Pengujian BER Pada Seluruh Model Simulasi 118
4.2.8. Pengujian PSD Pada Seluruh Model Simulasi 121
4.3. Pembahasan 124
4.4. Aplikasi Hasil Penelitian 126
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 128
5.1. Kesimpulan 128
5.2. Saran 129
DAFTAR PUSTAKA 131
LAMPIRAN-LAMPIRAN 132

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Antarmuka Perangkat Lunak Matlab 7

Gambar 2.2. Communication System Toolbox Pada Matlab..... 8

Gambar 2.3. Pemodelan Kanal AWGN (M. L. Hakim, 2010)..... 9

Gambar 2.4. Diagram Blok Modulasi BASK(M. F. Mesiya, 2015) 12

Gambar 2.5. Bentuk Sinyal Modulasi BASK (N. Vlajic, 2010)..... 13

Gambar 2.6. Diagram Blok Modulasi BPSK (M. F. Mesiya, 2015)..... 14

Gambar 2.7. Bentuk Sinyal Modulasi BPSK (N. Vlajic, 2010)..... 15

Gambar 2.8. Diagram Konstelasi Sinyal Modulasi BPSK (Simulink® R2015a). 16

Gambar 2.9. Diagram Blok Modulasi BFSK (M. F. Mesiya, 2015)..... 17

Gambar 2.10. Bentuk Sinyal Modulasi BFSK (N. Vlajic, 2010)..... 18

Gambar 2.11. Skema Modulasi Quadratur (M. F. Mesiya, 2015) 19

Gambar 2.12. Skema Modulasi QPSK (M. F. Mesiya, 2015) 21

Gambar 2.13. Konstelasi sinyal QPSK (Simulink® R2015a) 22

Gambar 2.14. Bentuk Sinyal Modulasi QPSK (N. Vlajic, 2010) 23

Gambar 2.15. Skema Modulasi QAM (M. F. Mesiya, 2015) 23

Gambar 2.16. Contoh Konstelasi Sinyal QAM (Simulink® R2015a)..... 24

Gambar 2.17. Bentuk Sinyal Modulasi QAM (N. Vlajic, 2010) 25

Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian 30

Gambar 4.1. Simulasi Modulasi BFSK..... 66

Gambar 4.2. Simulasi Modulasi BPSK..... 67

Gambar 4.3. Simulasi Modulasi QPSK 68

Gambar 4.4. Simulasi Modulasi 16-QPSK 69

Gambar 4.5. Simulasi Modulasi QAM 70

Gambar 4.6. Simulasi Modulasi 16-QAM..... 71

Gambar 4.7. Model Simulasi Modulasi BFSK Pertama 75

Gambar 4.8. Model Simulasi Modulasi BFSK Kedua 76

Gambar 4.9. Nilai Teoretis BER Modulasi BFSK Pada Kanal AWGN dan *Fading* Dengan Hasil Simulasi 80

Gambar 4.10. Model Simulasi Modulasi BPSK Pertama 82

Gambar 4.11. Model Simulasi Modulasi BPSK Kedua dan Ketiga 83

Gambar 4.12. Model Simulasi Modulasi Keempat 84

Gambar 4.13. Diagram Konstelasi Hasil Simulasi Model Keempat 85

Gambar 4.14. Nilai Teoretis BER Modulasi BPSK Pada Kanal AWGN dan *Fading* Dengan Hasil Simulasi 88

Gambar 4.15. Model Simulasi Modulasi QPSK Pertama 90

Gambar 4.16. Model Simulasi Modulasi QPSK Kedua dan Ketiga 91

Gambar 4.17. Model Simulasi Modulasi QPSK Keempat 92

Gambar 4.18. Diagram Konstelasi Hasil Simulasi Model Keempat 93

Gambar 4.19. Nilai Teoretis BER Modulasi QPSK Pada Kanal AWGN dan *Fading* Dengan Hasil Simulasi 95

Gambar 4.20. Model Simulasi Modulasi 16-QPSK Pertama 97

Gambar 4.21. Model Simulasi Modulasi 16-QPSK Kedua dan Ketiga 98

Gambar 4.22. Model Simulasi Modulasi 16-QPSK Keempat 99

Gambar 4.23. Diagram Konstelasi Hasil Simulasi Model Keempat 100

Gambar 4.24. Nilai Teoretis BER Modulasi 16-QPSK Pada Kanal AWGN dan *Fading* Dengan Hasil Simulasi 102

Gambar 4.25. Model Simulasi Modulasi QAM Pertama 104

Gambar 4.26. Model Simulasi Modulasi QAM Kedua dan Ketiga 105

Gambar 4.27. Model Simulasi Modulasi QAM Keempat 106

Gambar 4.28. Diagram Konstelasi Hasil Simulasi Model Keempat 107

Gambar 4.29. Nilai Teoretis BER Modulasi QAM Pada Kanal AWGN dan *Fading* Dengan Hasil Simulasi 110

Gambar 4.30. Model Simulasi Modulasi 16-QAM Pertama..... 112

Gambar 4.31. Model Simulasi Modulasi 16-QAM Kedua dan Ketiga..... 113

Gambar 4.32. Model Simulasi Modulasi 16-QAM Keempat 114

Gambar 4.33. Diagram Konstelasi Hasil Simulasi Model Keempat..... 115

Gambar 4.34 Nilai Teoretis BER Modulasi 16-QAM Pada Kanal AWGN dan *Fading* Dengan Hasil Simulasi 118

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Tabel Persamaan Nilai BER (M. F. Mesiya, 2015) 27

Tabel 3.1. Data Nilai BER Hasil Simulasi..... 61

Tabel 3.2. Data Nilai Spektrum Daya Hasil Simulasi..... 62

Tabel 3.3. Nilai BER Pemutakhiran Simulasi..... 63

Tabel 4.1. Perbedaan Nilai Parameter Model Simulasi BFSK Pertama dan Kedua 77

Tabel 4.2. Hasil Pengujian Nilai BER Pada Kedua Model Simulasi BFSK..... 78

Tabel 4.3. Hasil Pengujian Nilai BER Pada Keempat Model Simulasi BPSK..... 86

Tabel 4.4. Hasil Pengujian Nilai BER Pada Keempat Model Simulasi QPSK 94

Tabel 4.5. Hasil Pengujian Nilai BER Pada Keempat Model Simulasi 16-QPSK 101

Tabel 4.6. Hasil Pengujian Nilai BER Pada Keempat Model Simulasi QAM ... 108

Tabel 4.7. Hasil Pengujian Nilai BER Pada Keempat Model Simulasi 16-QAM 116

Tabel 4.8. Hasil Pengujian Nilai Parameter BER 120

Tabel 4.9. Hasil Pengujian Nilai Parameter PSD..... 122

DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan (2.1)..... 25

Persamaan (2.2)..... 25

Persamaan (2.3)..... 26

Persamaan (2.4)..... 26

Persamaan (2.5)..... 26

Persamaan (2.6)..... 26

Persamaan (2.7)..... 26

Persamaan (2.8)..... 26

Persamaan (2.9)..... 26

Persamaan (2.10)..... 28

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Modulasi adalah suatu proses yang mana suatu sinyal pesan atau hubungan-informasi ditransformasikan pada sinyal lain untuk memfasilitasi transmisi melalui kanal komunikasi (M. F. Mesiya, 2015: 141.) Oleh karena itu, modulasi sangat mempengaruhi proses transmisi yang dilakukan dari *transmitter* ke *receiver.*

Dalam setiap sinyal analog, termasuk sinyal yang telah termodulasi, terdapat beberapa parameter sinyal yang akan mempengaruhi kinerja dari modulasi tersebut.

Dikarenakan sinyal modulasi yang kebanyakan bekerja pada frekuensi tinggi (RF), maka akan sulit untuk melakukan pengamatan secara langsung tentang proses modulasi dan juga parameter-parameter sinyal yang sudah disebutkan sebelumnya. Maka dari itu, untuk mengetahui kinerja modulasi yang digunakan pada suatu sistem transmisi nirkabel, maka peneliti melakukan sebuah simulasi. Peneliti menggunakan *software* Matlab®, yaitu kepanjangan dari *Matrices Laboratory.* Perangkat lunak ini sudah banyak digunakan di dunia ilmiah, khususnya untuk melakukan simulasi.

Pada simulasi yang dilakukan oleh Sugiharto, dkk (2011) memberikan kesimpulan bahwa hasil simulasi kanal SUI (*Stanford University Interim*) tipe modulasi 16-QAM dengan *cyclic prefix* = 1/8 *bandwitdh* = 1.5 MHz mampu memperbaiki hampir secara keseluruhan kinerja kanal SUI. Dalam simulasi tersebut, kanal SUI menggunakan beberapa variasi *bandwidth*. *Bandwidth* lainnya

yang digunakan yaitu sebesar 20 Mhz.

Kajian oleh Aryanti dan Purwanto (2013) yang menggunakan metode studi dokumentasi menghasilkan kesimpulan bahwa dalam pengoperasian satelit telkom 1 tersebut, modulasi yang paling layak digunakan adalah modulasi QPSK dan modulasi yang paling buruk digunakan adalah modulasi 16 QAM. Pengambilan kesimpulan ini yaitu berdasarkan perbandingan daya terhadap *bandwitdh*nya. Adapun perbandingan kelayakannya meliputi perbandingan berdasarkan besar antena yaitu disepakati pada perbandingan 3 meter, 5 meter, 7 meter, dan 10 meter. Besar transponder ini akan mempengaruhi jumlah *carrier* yang dapat ditransmisikan dalam suatu waktu.

Saat ini berbagai perangkat teknologi telah menggunakan perantara nirkabel untuk mengirim data. Banyak dari perangkat tersebut yang memerlukan efisiensi tinggi dalam proses pertukaran data tersebut, untuk itulah peneliti melakukan simulasi ini. Peneliti akan melakukan simulasi suatu deretan bit dengan modulasi yang banyak digunakan saat ini, dan memberikan kesimpulan manakah dari modulasi-modulasi tersebut yang paling efisien dan berkinerja baik untuk digunakan berdasarkan pada parameter *bit error rate* (rerata bit error), dan juga efisiensi daya yang digunakan menggunakan metode *power spectral density* sebagai metode normalisasi daya untuk mendapatkan nilai daya yang digunakan.

Banyak perangkat teknologi nirkabel saat ini mengalami masalah, terutama pada penggunaan dayanya. Tidak akan terlalu menjadi masalah jika kita menggunakan teknologi nirkabel dalam pertukaran data secara *intermitten.* Yaitu, kita menyalakan teknologi hanya ketika diperlukan saja. Namun, nyatanya

perangkat teknologi saat ini dituntut untuk selalu aktif setiap saat, yang artinya juga akan mengaktifkan proses pertukaran data.

Hal-hal itulah yang akhirnya membuat peneliti merasa perlu untuk melakukan suatu penelitian dengan judul penelitian yaitu : **"Analisis Simulasi Perbandingan Parameter Sinyal Pada Berbagai Teknik Modulasi Sinyal Melalui Kanal *Multipath Rayleigh Fading*".**

1.2. Identifikasi Masalah

Pada modulasi-modulasi yang setara, yang manakah modulasi-modulasi yang memiliki kinerja terbaik dengan nilai pada parameter BER dan PSD yang rendah?

1.3. Pembatasan Masalah

a. Modulasi yang akan dibandingkan yaitu :
    a. *Binary Phase Shift Keying* (BPSK);
    b. *Binary Frequency Shift Keying* (BFSK);
    c. *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK);
    d. *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM);
    e. 16-QPSK;
    f. 16-QAM.
b. Parameter-parameter sinyal yang akan diteliti yaitu:
    a. *Bit Error Rate* (BER);
    b. Kerapatan spektrum daya (PSD).
c. Kanal yang digunakan adalah kanal *Multipath Rayleigh Fading.*
d. Perhitungan kerapatan spektrum daya menggunakan metode *Fast Fourier Transform* (FFT) dan dalam mengukurnya melalui simulasi menggunakan

Periodogram yang menghitung nilai rerata masukan yang berupa sinyal yang sudah termodulasi.

e. Perhitungan spektrum daya dilakukan setelah sinyal dimodulasi dan diberi skema *noise* oleh kanal *Multipath Rayleigh Fading.*

1.4. Rumusan Masalah

Bagaimana cara membuat suatu simulasi perbandingan parameter sinyal pada berbagai teknik modulasi dengan program *Matlab® Simulink 2015a* dan melakukan analisis terhadap hasil simulasi tersebut?

1.5 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui gambaran secara garis besar tentang karakteristik dari berbagai modulasi.
2. Mengetahui efisiensi dari suatu modulasi berdasarkan beberapa parameter sinyal.

1.6. Manfaat Penelitian

1. Bagi Mahasiswa :

a. Mengaplikasikan program Matlab dalam berbagai keperluan perhitungan pada parameter sinyal pada berbagai modulasi.

b. Mengetahui gambaran secara garis besar tentang karakteristik dari parameter sinyal di berbagai modulasi.

2. Bagi Institusi Perguruan Tinggi :

Sebagai sarana wacana ilmu pengetahuan dan teknologi tentang penggunaan Matlab, khususnya pada lingkungan dunia elektronika.

3. Bagi Pengguna :

a. Dapat mengetahui gambaran karakteristik parameter sinyal pada berbagai modulasi.
b. Memudahkan dalam penghitungan nilai parameter sinyal pada berbagai modulasi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pemodelan dan Simulasi

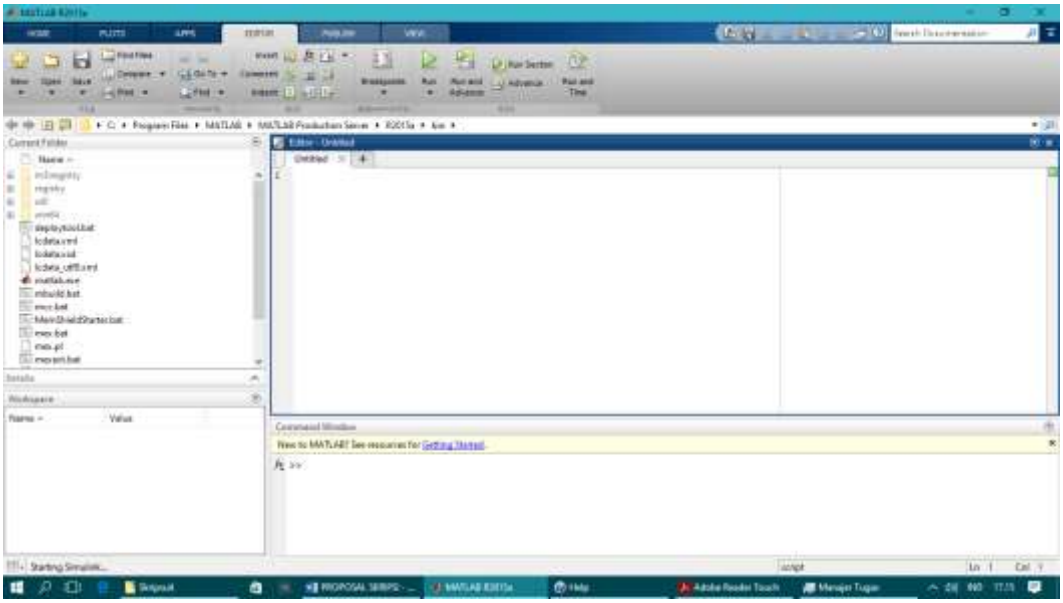
Menurut KBBI simulasi adalah penggambaran suatu sistem atau proses dengan peragaan berupa model statistik atau pemeranan. Sedangkan menurut Banks (2004) simulasi merupakan tiruan proses operasi dari sebuah kondisi nyata atau sistem dari waktu ke waktu. Simulasi digunakan untuk menggambarkan dan menganalisis perilaku dari sebuah sistem, menanyakan pertanyaan bagaimana jika ("what if") tentang sistem nyata, dan membantu dalam proses *design of real systems*. Simulasi mengacu pada kumpulan metode yang luas dan aplikasi dari pencitraan tingkah laku dari sistem yang sesungguhnya. Model simulasi adalah alternatif yang tepat dalam menggambarkan suatu sistem yang kompleks, terutama ketika model matematik analitik sulit dilakukan (Law, 2007).

2.2. Software Simulink Matlab

Matlab adalah bahasa tingkat-tinggi dan lingkungan yang interaktif untuk perhitungna berbasis angka, visualisasi, dan pemrograman. Menggunakan Matlab, Anda dapat menganalisa data, mengembangkan algoritma, dan membuat model dan aplikasi. Bahasa, peralatan, dan fungsi built-in matematika membuat Anda dapat melakukan pendalaman dengan banyak pendekatan dan mendapatkan solusi dengan lebih cepat ketimbang dengan *spreadsheet* atau pun bahasa pemrograman tradisional, seperti C/C++ atau Java. Anda dapat menggunakan Matlab untuk berbagai pengaplikasian, termasuk pemrosesan sinyal dan komunikasi, pemrosesan

gambar dan video, sistem kendali, pengujian dan pengukuran, perhitungan keuangan, dan perhitungan biologi. Lebih dari sejuta perekayasa dan ilmuwan di industri dan akademi menggunakan Matlab, bahasa dari perhitungan rekayasa. (http://www.mathworks.com).

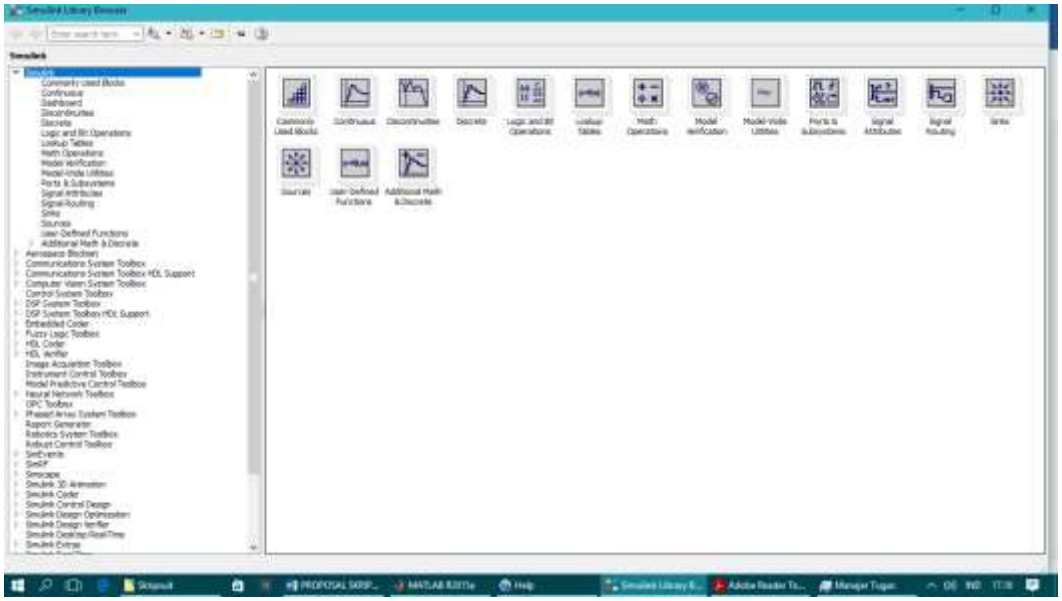
Dalam penelitian kali ini peneliti menggunakan Matlab versi 2015a yang sudah banyak mendapatkan perbaikan dari pihak Matworks, vendor pembuat dan pemelihara software Matlab. Untuk khusus fokus kepada sistem komunikasi, peneliti menggunakan peralatan *simulink* yang sudah termasuk kedalam *bundle* dari software Matlab. Gambar 2.1 menunjukkan antarmuka dari perangkat lunak Matlab.



Gambar 2.1. Antarmuka Perangkat Lunak Matlab

Simulink adalah sebuah lingkungan blok diagram untuk simulasi multi-domain dan desain berbasis model. Simulink mendukung desain sistem-level, simulasi, menghasilkan kode otomatis, dan pengujian dan verifikasi yang berkelanjutan dari sistem benam. Simulink menyediakan sebuah editor grafik,

blok pustaka yang dapat diubah, dan penyelesai untuk permodelan dan simulasi pada sistem yang dinamis. Simulink terintegrasi dengan Matlab, membuat Anda bisa bekerja dengan algoritma Matlab ke dalam model dan mengirim hasil simulasi ke Matlab untuk analisa lebih lanjut." (http://www.mathworks.com). Gambar 2.2 berikut ini menunjukkan *communication system toolbox* pada perangkat lunak Matlab.



Gambar 2.2. Communication System Toolbox Pada Matlab

2.3. Kanal-Kanal Komunikasi

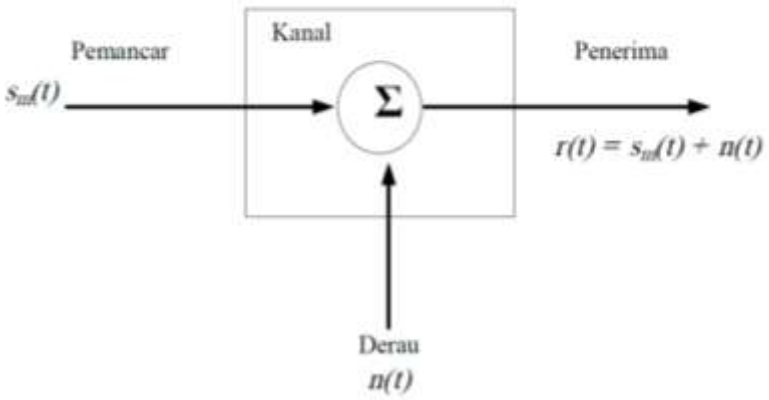
Dalam banyak kasus pengaplikasian, skema kanal komunikasi yang berbeda juga akan mempengaruhi hasil simulasi secara signifikan. Dalam penelitian kali ini peneliti akan menggunakan kanal *Additive White Gaussian Noise* (AWGN) yang banyak digunakan pada skema simulasi modulasi sinyal digital. Sinyal yang diberi skema gangguan secara acak akan sangat berpengaruh terhadap hasil sinyal yang diterima pada *receiver*, karena itu pemilihan ini dilakukan. Dalam transfer

data sinyal digital yang dimodulasi nyatanya mengalami berbagai gangguan sebelum sinyalnya sampai pada kita, baik berupa gangguan cuaca maupun gangguan berupa penghalang atau pun tabrakan dari sinyal lainnya.

Ada beberapa model sistem kanal komunikasi yang digunakan. Peneliti akan memberikan gambaran garis besar tentang beberapa kanal komunikasi tersebut.

2.3.1. Additive White Gaussian Noise (AWGN)

Dalam komunikasi, kanal Additive White Gaussian Noise (AWGN) adalah suatu kanal di mana informasi diberi gangguan berupa penambahan linear dari *white noise* dengan kerapatan spektrum yang konstan dan distribusi Gaussian dari *sample noise* (M. Lukmanul Hakim, Sukiswo, Imam Santoso, 2010). Gambar 2.3 menunjukkan model dari kanal AWGN.



Gambar 2.3. Pemodelan Kanal AWGN (M. L. Hakim, 2010)

Ada beberapa karakteristik yang melengkapi kanal ini, yaitu (sumber):

1. *Additive* : artinya derau ditambahkan pada sinyal, tanpa memandang apakah sinyal tersebut sudah memiliki gangguan intrinsik atau belum.

2. *White* : mengacu pada keseragaman sepanjang pita frekuensi pada sinyal informasi.
3. *Gaussian* : karena AWGN mempunyai distribusi normal pada domain waktu dengan rerata domain waktunya sebesar 0.

White Gaussian Noise adalah model yang sangat baik untuk *thermal noise* pada *receiver*, yang nilai PSD-nya sama rata sepanjang *bandwidth* sinyal. (Umpamanyu Madhow, 2008)

Dalam praktiknya, sebuah sinyal yang ditransmisikan paling tidak akan mengalami peredaman atau penundaan, dan juga pergeseran *phase.*

2.3.4. Multipath Rayleigh Fading Channel

Sinyal banyak mengalami pantulan dimana-mana, sehingga terdapat berbagai macam jalur yang dilalui sinyal untuk sampai ke penerima (*multipath*). Antara sinyal yang pancarannya melalui *multipath* tersebut dapat berinterferensi positif maupun negatif sehingga pada penerima terlihat bahwa sinyal tersebut berfluktuasi. Efek fluktuasi sinyal biasa disebut dengan *fading*. *Fading* juga dapat terjadi karena efek *doppler*, yang terjadi jika *user* bergerak dengan kecepatan relatif terhadap *base station*. Salah satu pemodelan kanal *multipath* adalah distribusi Rayleigh (M. Lukmanul Hakim, Sukiswo, Imam Santoso, 2010). Persamaan umum *probability density function* (pdf) distribusi Rayleigh adalah sebagai berikut :

di mana *r* adalah *magnitude* dan σ adalah nilai *rms* dari level sinyal yang diterima sebelum detektor, dan σ2 adalah daya waktu rata-rata dari sinyal yang diterima.

2.4. Definisi Modulasi

Modulasi adalah suatu proses yang mana suatu sinyal pesan atau hubungan-informasi ditransformasikan pada sinyal lain untuk memfasilitasi transmisi melalui kanal komunikasi (M. F. Mesiya, 2015: 141.)

Sinyal perlu dimodulasi. Banyak sekali sinyal gelombang elektromagnetik yang memancar dari dan menuju berbagai arah dan tempat. Sinyal tersebut dengan frekuensi yang bermacam-macam, padahal sinyal datanya kebanyakan berada pada rentang frekuensi yang sama, seperti suara misalnya. Kemampuan pendengaran manusia hanya ada pada rentang sekitar 4 kHz s.d 16 kHz, yang artinya jika suatu sinyal suara dikirimkan sebagaimana sumbernya, ini akan menyebabkan terjadinya tabrakan kanal komunikasi. Untuk itu, diperlukan suatu modulasi, sehingga terjadi proses *channeling,* yaitu membagi komunikasi menjadi beberapa kanal. Misalnya, A akan berkomunikasi melalui frekuensi 2400 MHz dan B akan berkomunikasi melalui frekuensi 2410 MHz. Dengan perbedaan kanal komunikasi yang dibagi berdasarkan frekuesi ini, sinyal lain hanya akan terbaca sebagai noise pada pembaca sinyalnya. Maka untuk membuat sinyal pada frekuensi 2400 MHz tersebut membawa data pada frekuensi 4 kHz diperlukan suatu teknik yang dinamakan modulasi.

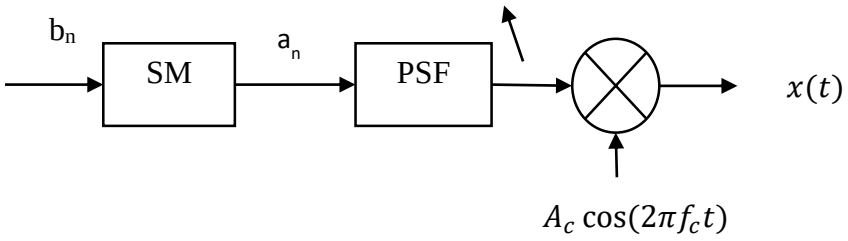
2.5. Teknik-Teknik Modulasi Sinyal Digital

2.5.1. Binary Amplitude Shift Keying (BASK)

Sinyal *baseband* memodulasikan amplituda dari sinyal *carrier.* Jika sinyal digital adalah pulsa positif (menunjukkan pada sebuah biner 1) maka *carrier* diaktifkan selama durasi interval satu bit. Tidak ada *carrier* yang ditransmisikan

selama sebuah interval bit untuk biner 0 (menunjukkan ketiadaan pulsa). (M. F. Mesiya, 2015: 594.) Gambar 2.4 menunjukkan diagram blok modulasi BASK.

$$\boldsymbol{I}(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_n \prod[(t - nT_b)/T_b]$$



$$x(t) = A_c \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_n \prod[(t - nT_b)/T_b] \cos(2\pi f_c t)$$

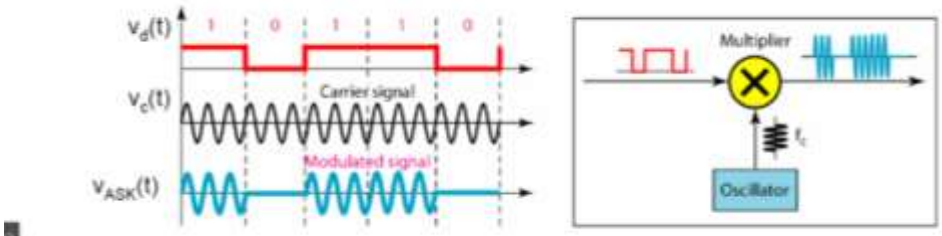
SM = Symbol maping
PSF = Pulse shaping filter

Symbol Maping	
b_n	a_n
1	1
0	0

Bit-bit data akan masuk sebagai b_n. Kemudian bit-bit tersebut akan menjadi simbol-bimbol yang membuatnya dapat dijadikan sebagai pulsa-pulsa elektrik. Dalam modulasi BASK, *symbol maping* tidak akan melakukan pergantian nilai dari sinyal elektrik, karena sinyal sudah sesuai untuk modulasi tersebut. Sinyal elektrik tersebut akan berbentuk sebagai persamaan $\boldsymbol{I}(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_n \prod[(t - nT_b)/T_b]$ dan kemudian dikonvolusi dengan sinyal $A_c \cos(2\pi f_c t)$, sehingga

Gambar 2.4. Diagram Blok Modulasi BASK(M. F. Mesiya, 2015)

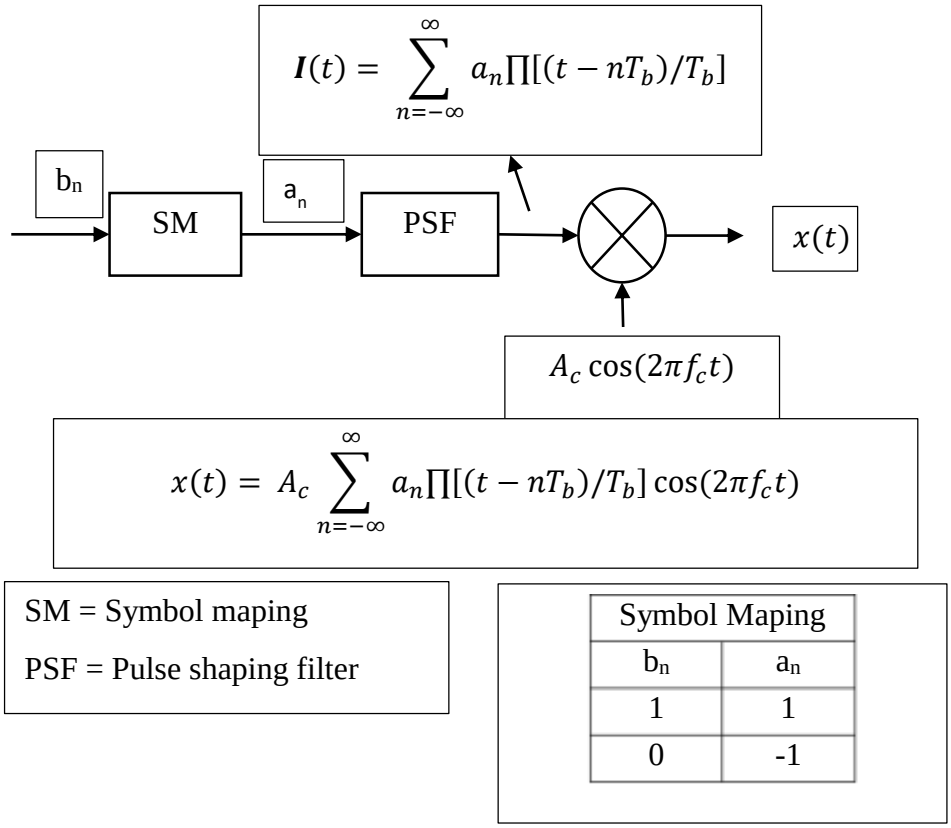
membentuk sinyal BASK yang secara menyeluruh dapat dituliskan sebagai $x(t) = A_c \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_n \prod[(t - nT_b)/T_b] \cos(2\pi f_c t)$. Gambar 2.5 menunjukkan bentuk sinyal yang dihasilkan dengan modulasi BASK.



Gambar 2.5. Bentuk Sinyal Modulasi BASK (N. Vlajic, 2010)

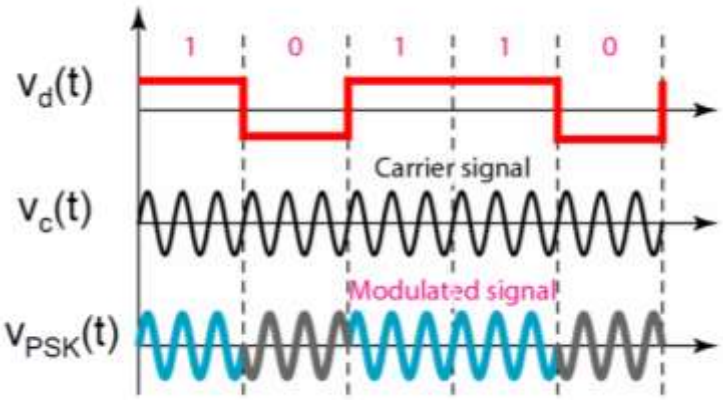
2.5.2. Binary Phase Shift Keying (BPSK)

Sinyal *baseband* yang termodulasi memodulasikan *phase* dari sinyal pembawa. Dalam BPSK, *phase* sinyal pembawa diubah untuk merepresentasikan sinyal biner digital. Jika sinyal adalah pulsa positif (menunjukkan sebuah biner 1), $\cos(2\pi f_c t)$ ditransmisikan, dan jika sebuah pulsa negatif (menunjukkan sebuah biner 0) maka sinyal pembawa akan mentransmisikan $\cos(2\pi fct + \pi) = -\cos(2\pi fct)$. (M. F. Mesiya, 2015: 594). Gambar 2.6 berikut ini menunjukkan diagram blok dari modulasi BPSK.

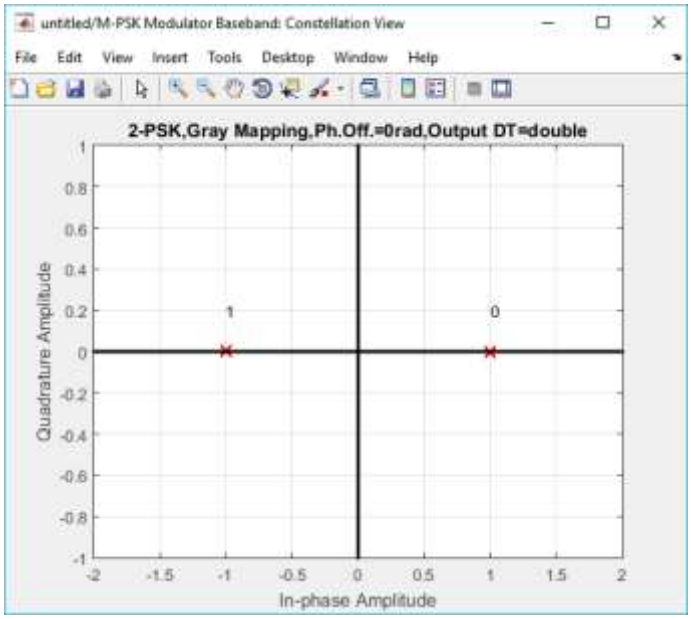


Gambar 2.6. Diagram Blok Modulasi BPSK (M. F. Mesiya, 2015)

Bit-bit data akan masuk sebagai b_n. Kemudian bit-bit tersebut akan menjadi simbol-simbol yang membuatnya dapat dijadikan sebagai pulsa-pulsa elektrik. Dalam modulasi BASK, *symbol maping* akan mengganti hanya pada sinyal 0 menjadi nilai -1. Pulsa ini kemudian akan menjadi pulsa bipolar, dan teknik inilah yang akan menggeser nilai *phase* dari sinyal pembawa. Sinyal elektrik tersebut akan berbentuk sebagai persamaan $\boldsymbol{I}(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_n \prod[(t - nT_b)/T_b]$ dan kemudian dikonvolusi dengan sinyal $A_c \cos(2\pi f_c t)$, sehingga membentuk sinyal BASK yang secara menyeluruh dapat dituliskan sebagai $x(t) = A_c \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_n \prod[(t - nT_b)/T_b] \cos(2\pi f_c t)$. Gambar 2.7 menunjukkan bentuk sinyal yang dihasilkan oleh modulasi BPSK dan Gambar 2.8 menunjukkan diagram konstelasi sinyal pada modulasi BPSK yang peneliti dapatkan dari blok model BPSK pada aplikasi Simulink®.



Gambar 2.7. Bentuk Sinyal Modulasi BPSK (N. Vlajic, 2010)

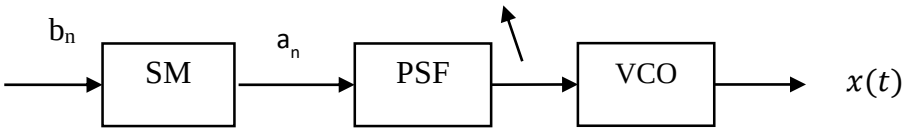


Gambar 2.8. Diagram Konstelasi Sinyal Modulasi BPSK (Simulink® R2015a)

2.5.3. Binary Frequency Shift Keying (BFSK)

Sinyal *baseband* yang sudah dimodulasi memodulasikan frekuensi sinyal pembawa. Dalam hal BFSK, frekuensi sinyal pembawa diubah untuk merepresentasikan sebuah sinyal biner digital. Jika sinyal digital merupakan pulsa positif (mengacu pada bilangan biner 1), sinyal pembawa akan berfrekuensi $f_1 = f_c + \Delta^{f}/_{2}$, dan jika merupakan pulsa negatif (mengacu pada bilangan biner 0), sinyal pembawa akan berfrekuensi $f_2 = f_c - \Delta^{f}/_{2}$, di mana Δf adalah selisih frekuensi. (M. F. Mesiya, 2015: 595). Gambar 2.9 menunjukkan diagram blok modulasi BFSK.

$$\boldsymbol{I}(t) = \sum_{n} a_n \prod[(t - nT_b)/T_b]$$



$$x(t) = A_c \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_n \prod[(t - nT_b)/T_b] \cos(2\pi f_c t)$$

SM = Symbol maping

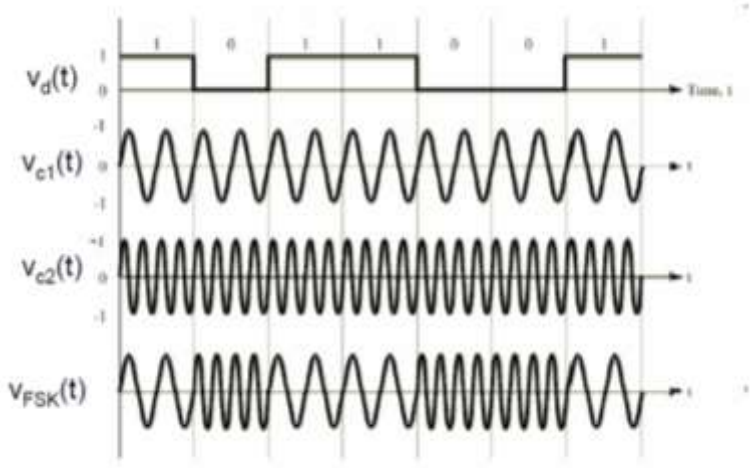
PSF = Pulse shaping filter

Symbol Maping	
b_n	a_n
1	1
0	-1

Bit-bit data akan masuk sebagai b_n. Kemudian bit-bit tersebut akan menjadi simbol-bimbol yang membuatnya dapat dijadikan sebagai pulsa-pulsa elektrik. Dalam modulasi BASK, *symbol maping* akan mengganti hanya pada sinyal 0 menjadi nilai -1. Pulsa ini kemudian akan menjadi pulsa bipolar, dan teknik inilah yang akan menggeser nilai *phase* dari sinyal pembawa. Sinyal elektrik tersebut akan berbentuk sebagai persamaan $\boldsymbol{I}(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_n \prod[(t - nT_b)/T_b]$. VCO kemudian akan melakukan konversi terhadap sinyal yang diosilasi oleh sinyal pembawa, maka hasilnya adalah sinyal yang frekuensinya

Gambar 2.9. Diagram Blok Modulasi BFSK (M. F. Mesiya, 2015)

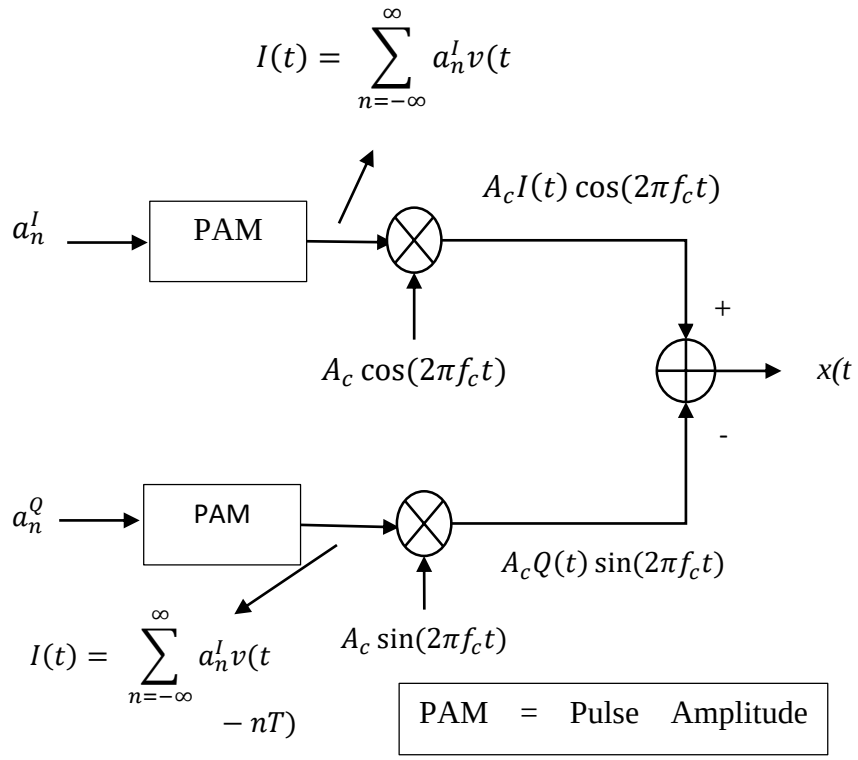
tinggi atau rendahnya akan bergantung pada nilai bit-bit bipolar yang dihasilkan oleh *symbol maping* dan *pulse shaping filter*. Gambar 2.10 menunjukkan bentuk sinyal modulasi BFSK.



Gambar 2.10. Bentuk Sinyal Modulasi BFSK (N. Vlajic, 2010)

2.5.4. Modulasi Quadratur

Dalam skema modulasi biner khususnya pada BPSK, *phase* sinyal digeser sebesar 0 dan 180 derajat untuk membedakan antara data digital 1 dan 0, sedangkan dalam skema *quadratur*, (QPSK) *phase* sinyal digeser antara 45, 135, 225, dan 315 derajat, dan setiap sinyal pembawa yang telah dimodulasikan akan langsung menghantarkan data digital sebanyak 2 bit. Dalam proses modulasinya, karena sinyal akan ditransfer secara dua bit sekaligus, maka kita akan



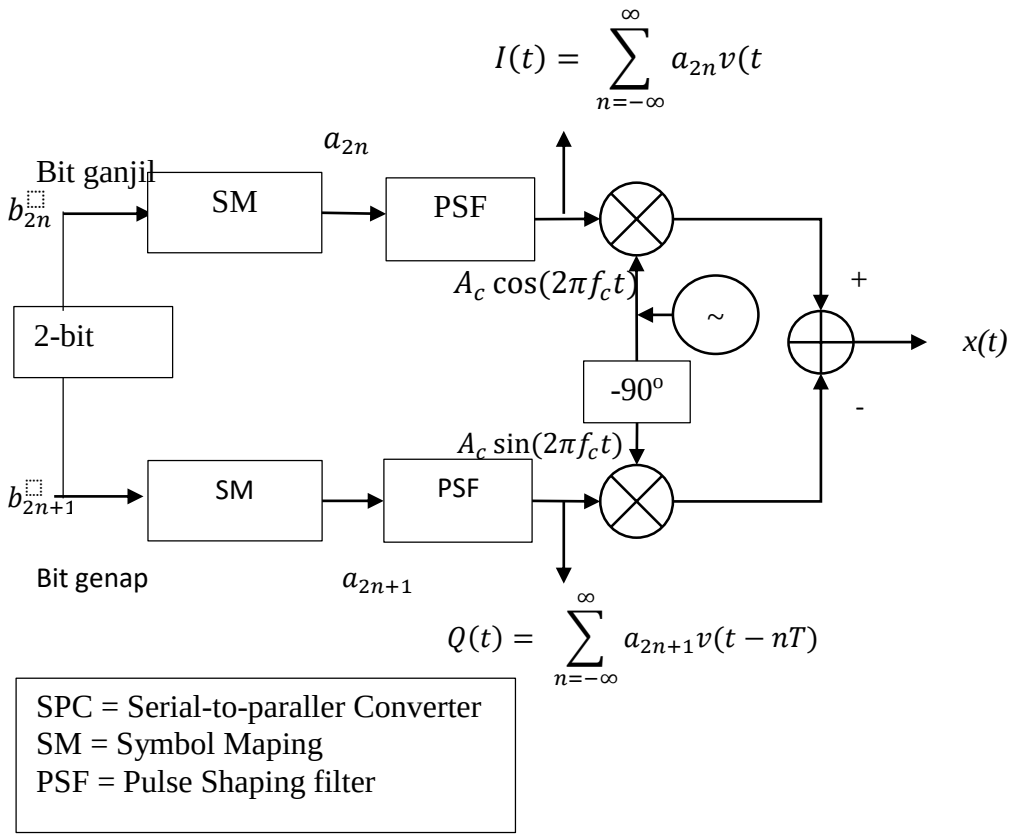
Gambar 2.11. Skema Modulasi Quadratur (M. F. Mesiya, 2015)

membedakan antara sinyal bernomor ganjil dan genap sebelum kemudian kedua sinyal tersebut dikirim, dalam hal ini a_n^I menunjukkan sinyal digital ganjil dan a_n^Q menunjukkan sinyal digital genap. Gambar 2.11 menunjukkan diagram blok modulasi *quadratur*.

Dalam modulasi *quadratur*, bit-bit akan dibagi menjadi bit-bit genap dan bit-bit ganjil. Bit-bit genap dan ganjil tersebut akan di konvolusi secara terbalik, yaitu bit ganjil dengan sinyal cosinus $A_c \cos(2\pi f_c t)$ dan bit genap dengan sinyal sinus $A_c Q(t) \sin(2\pi f_c t)$. Hasil konvolusi dari kedua sinyal tersebut akan kemudian di konvolusi kembali sehingga menghasilkan sinyal *quadratur* yang diinginkan.

2.5.4.1. Modulasi *Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)*

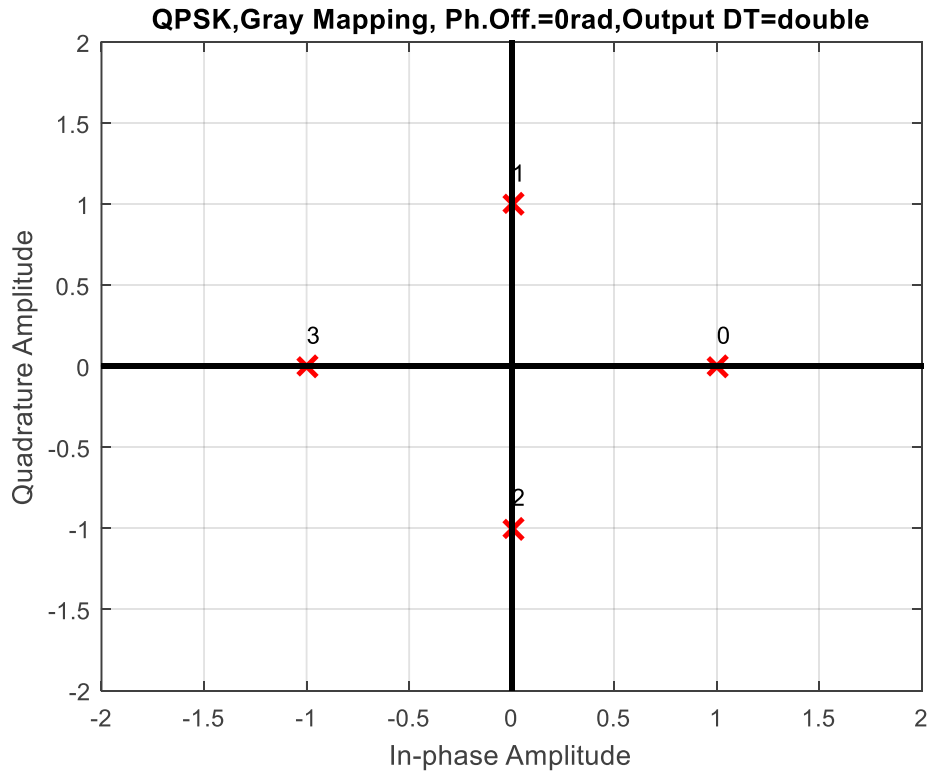
Dalam modulator QPSK, seperti dijelaskan sebelumnya pada skema modulasi *quadrature*, bit-bit data akan dibagi menjadi bit ganjil dan genap, kemudian dua bit sekaligus akan dijadikan satu simbol dan ditransmisikan. Gambar 2.12 menunjukkan diagram blok modulator QPSK.



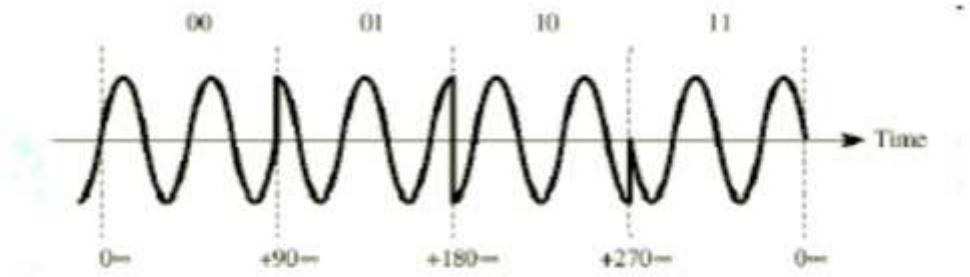
Gambar 2.12. Skema Modulasi QPSK (M. F. Mesiya, 2015)

Pada modulasi QPSK, sebelum sinyal di konvolusi, sinyal hasil dari bit ganjil dan genap akan diberikan pergeseran sinyal terlebih. Ini berguna untuk membedakan antara bit ganjil dan genap, sehingga akan benar-benar memberikan pembedaan pada saat pembacaan oleh *demodulator*.

Untuk membedakan antara satu bentuk simbol sinyal dengan simbol sinyal yang lain, QPSK mempunyai konstelasi sinyal. Gambar 2.13 menunjukkan konstelasi dari modulasi QAM dan Gambar 2.14 menunjukkan bentuk sinyal yang dihasilkannya..



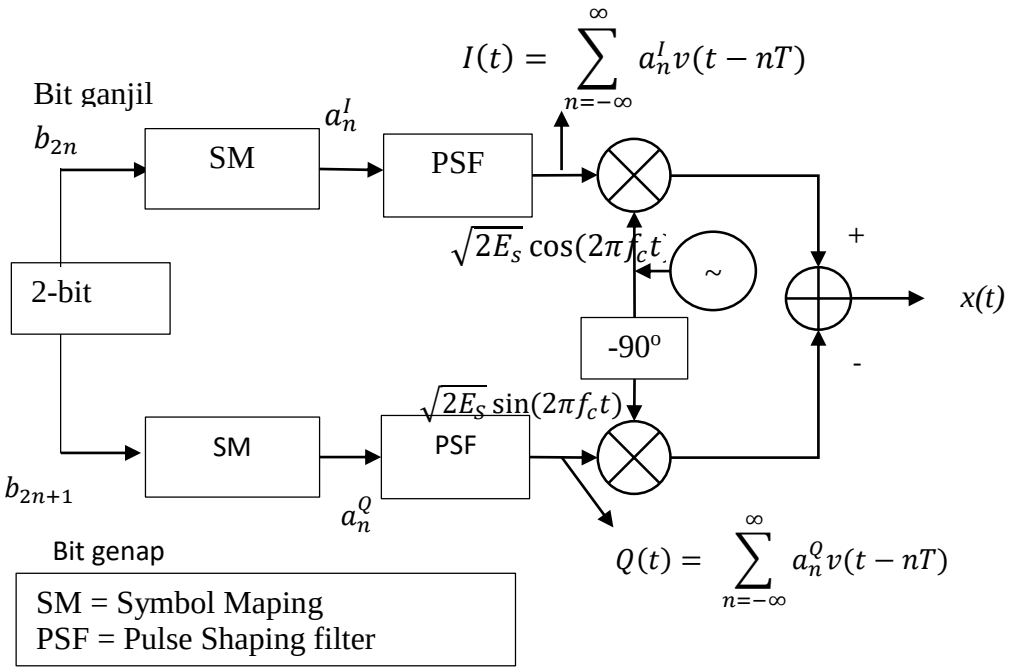
Gambar 2.13. Konstelasi sinyal QPSK (Simulink® R2015a)



Gambar 2.14. Bentuk Sinyal Modulasi QPSK (N. Vlajic, 2010)

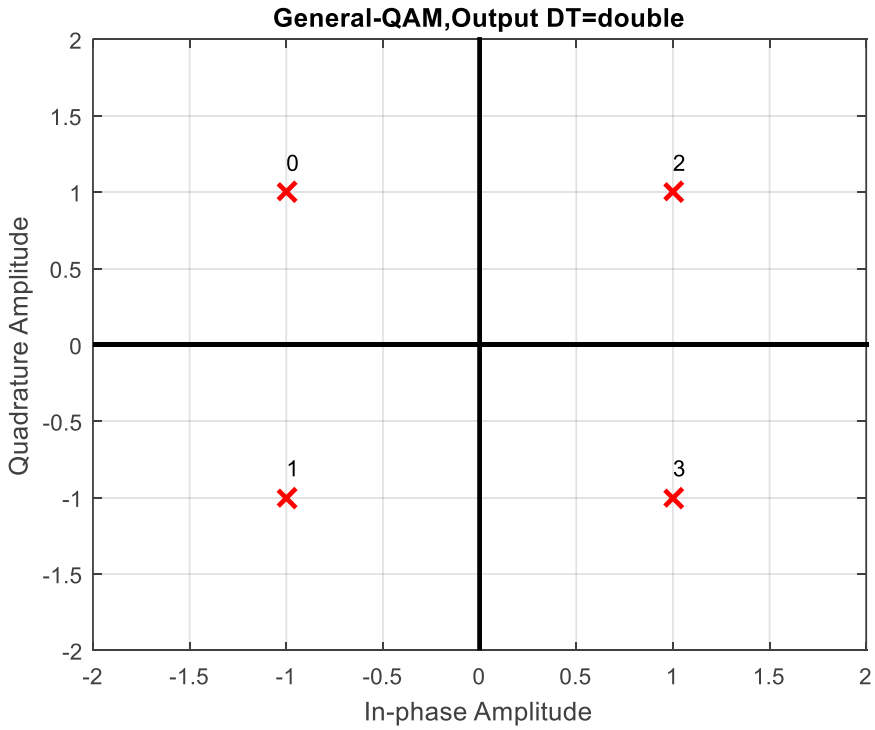
2.5.4.2. Modulasi Quadrature Amplitude Modulation

Dalam modulasi QAM, selain pergeseran *phase*, level amplituda juga menjadi salah satu bagian yang disandikan. Dua sinyal I(t) dan Q(t) akan digeser *phase* dan tingkat amplitudanya kemudian di konvolusi, sehingga menghasilkan sinyal x(t). Sinyal ini (x(t)) adalah sinyal dari modulasi QAM. Gambar 2.15 menunjukkan diagram blok modulasi QAM.



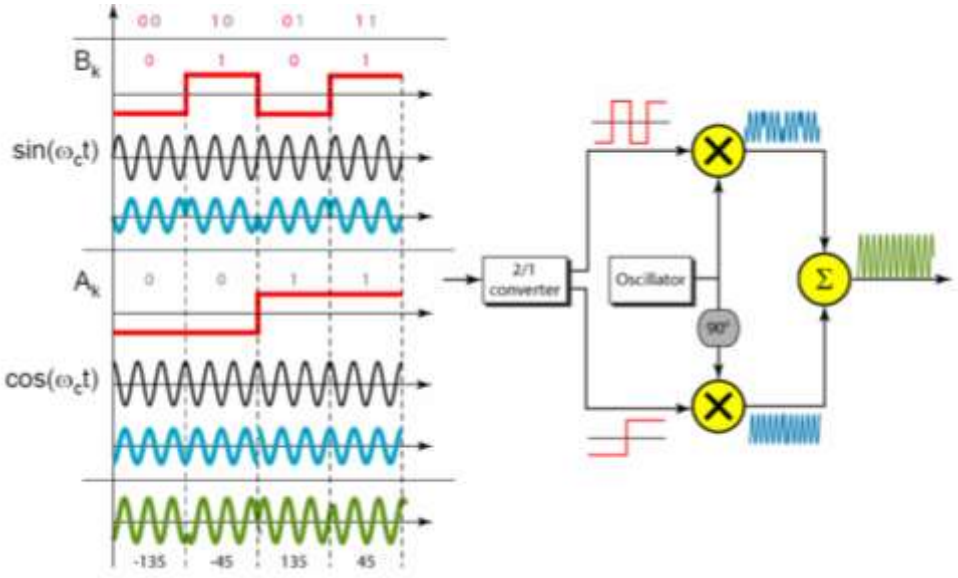
Gambar 2.15. Skema Modulasi QAM (M. F. Mesiya, 2015)

Dalam modulasi QAM, juga dimiliki konstelasi sinyal. Gambar 2.16 menunjukkan contoh dari konstelasi modulasi QAM.



Gambar 2.16. Contoh Konstelasi Sinyal QAM (Simulink® R2015a)

Dengan banyaknya konstelasi yang bisa terbentuk pada masing-masing tingkat modulasi, maka juga akan mempengaruhi banyaknya simbol sinyal yang dimodulasi. Gambar 2.17 menunjukkan contoh bentuk sinyal modulasi QAM.



Gambar 2.17. Bentuk Sinyal Modulasi QAM (N. Vlajic, 2010)

2.6. Parameter Sinyal

2.6.1. Power Spectral Density

Kerapatan spektrum daya (PSD) umumnya dirumuskan melalui daya yang sudah dinormalisasi.

$$P_x = \lim_{T \to \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} |x(t)|^2 \, dt \qquad \textbf{(2.1)}$$

Nila T yang mendekati ∞ (tak terhingga) menyebabkan tranformasi Fourier tidak dapat dilakukan, untuk itu perlu didefinisikan persamaan baru, yaitu memberikan interval tertentu terhadap t.

$$x_T(t) = \begin{cases} x(t), & -T/2 \leq t \leq T/2 \\ 0, & untuk\ keadaan\ lainnya \end{cases} \qquad \textbf{(2.2)}$$

Dengan nilai t yang terhingga, maka dapat dituliskan persamaan sebagai berikut.

$$E_{x_T} = \int_{-\infty}^{\infty} |x_T(t)|^2 dt = \int_{-\infty}^{\infty} |X_T(f)|^2 df \quad \textbf{(2.3)}$$

Di mana,

$$x_T(t) \leftrightarrow X_T(f) \quad \textbf{(2.4)}$$

Dikarenakan,

$$\int_{-\infty}^{\infty} |x_T(t)|^2 dt = \int_{-T/2}^{T/2} |x(t)|^2 \, dt \quad \textbf{(2.5)}$$

Kita juga dapat menuliskan,

$$\frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} |x(t)|^2 \, dt = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{|X_T(f)|^2}{T} df \quad \textbf{(2.6)}$$

Maka daya yand dinormalisasi dapat diekspresikan sebagai berikut,

$$P_x = \lim_{T \to \infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{|X_T(f)|^2}{T} df = \int_{-\infty}^{\infty} \lim_{T \to \infty} \frac{|X_T(f)|^2}{T} df \quad \textbf{(2.7)}$$

Sehingga *power spectral density* didefinisikan sebagai berikut.

$$\boldsymbol{\mathcal{G}_x}(f) \triangleq \lim_{T \to \infty} \frac{|X_T(f)|^2}{T} \quad \textbf{(2.8)}$$

Atau untuk menyatakannya dalam daya yang dinormalisasi dapat juga kita tuliskan sebagai berikut.

$$P_x = \int_{-\infty}^{\infty} \boldsymbol{\mathcal{G}_x}(f) \, df \quad \textbf{(2.9)}$$

Nilai $\boldsymbol{G_x}(f)$ dapat diinterpretasikan sebagai daya yang terkandung dalam suatu komponen spektrum dari $x((t)$ terpusat pada frekuensi f tiap Hz bandwidth. Nilai tersebut dispesifikasikan dalam satuan W/Hz. (M. F. Mesiya, 2015)

2.6.2. Bit Error Rate (BER) dan Signal to Noise Ratio (SNR)

BER sangat bergantung pada teknik modulasi yang digunakan dan juga nilai rasio sinyal terhadap derau (SNR). Sinyal yang diterima akan dihitung berdasarkan statistika, artinya nilai BER terhadap SNR dalam simulasi yang peneliti desain hanya akan bergantung pada teknik modulasi yang digunakan. Tabel 2.1 menunjukkan bentuk persamaan yang digunakan untuk melakukan perhitungan terhadap nilai BER.

Tabel 2.1. Tabel Persamaan Nilai BER (M. F. Mesiya, 2015)

No.	Teknik Modulasi	Nilai BER
1	BASK	$Q\left(\sqrt{E_b/N_0}\right)$
2	BPSK	$\mathrm{Q}\left(\sqrt{2E_b/N_0}\right)$
3	BFSK	$Q\left(\sqrt{E_b/N_0}\right)$
4	QPSK	$Q\left(\sqrt{2E_b/N_0}\right)$
5	QAM	$Q\left(\sqrt{2E_b/N_0}\right)$
6	16-QPSK	$Q\left(\sqrt{8E_b/N_0 \sin\frac{\pi}{16}}\right)$
7	16-QAM	$\frac{3}{4}Q\left(\sqrt{E_b/N_0}\right)$

Dengan nilai Q didefinisikan sebagai berikut.

$$Q(u) = \int_{u}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} dx, \quad u > 0 \qquad \textbf{(2.10)}$$

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

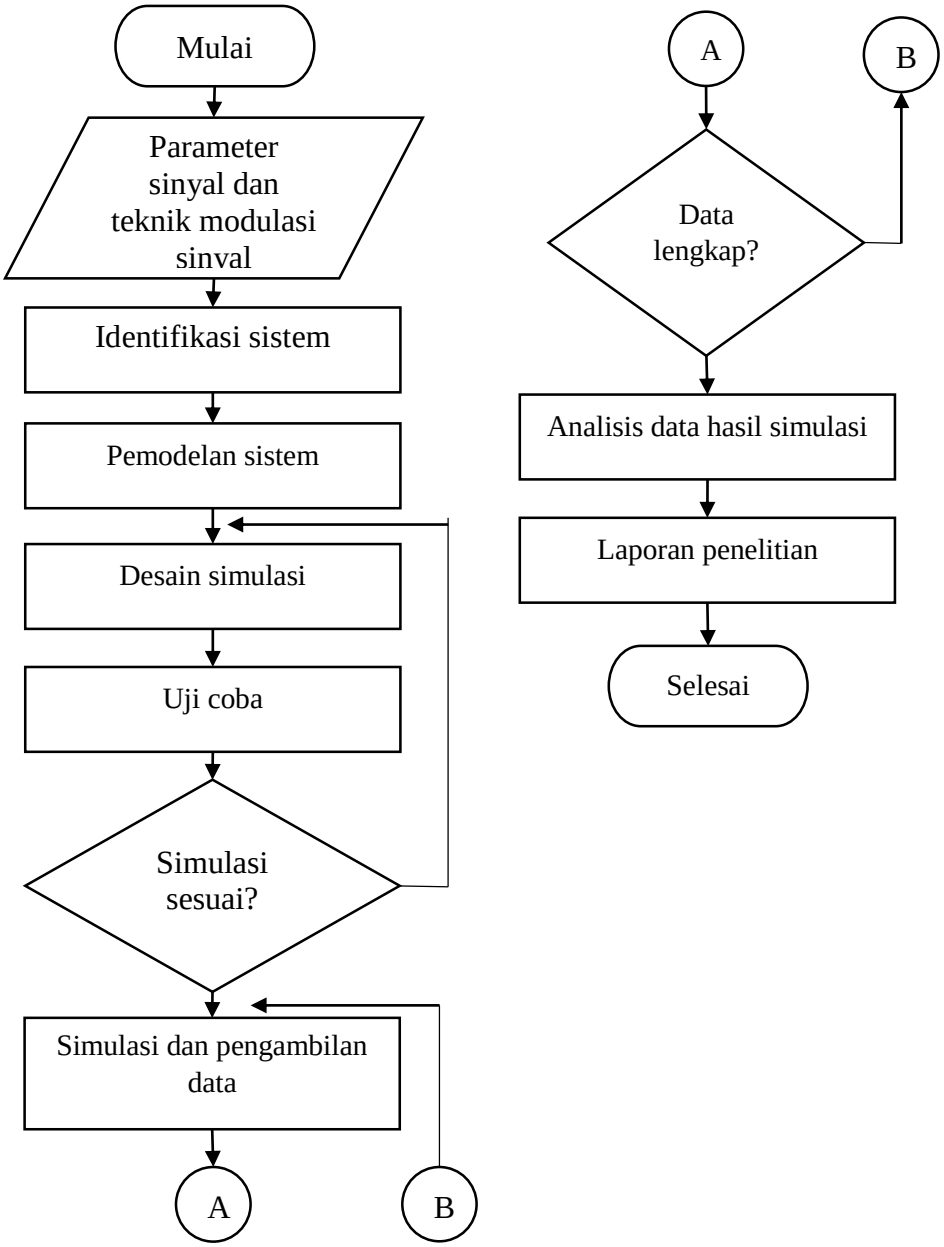
Penelitian tugas akhir ini akan dilakukan di Laboratorium Intrumentasi Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta. Tepatnya di gedung kejuruan Teknik Elektro Lantai 4, yang akan dilaksanakan dari bulan Februari 2017 - Juni 2017.

3.2. Alat dan Bahan Penelitian

Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan sau buah set komputer dengan spesifikasi yang mumpuni untuk menjalankan program Matlab Simulink.

3.3. Diagram Alir Penelitian

Dalam penelitian ini, metode yang digunakan adalah metode eksperimen. Ada beberapa tahapan yang akan dilakukan oleh peneliti untuk melakukan penelitian ini. Gambar 3.1 menunjukkan diagram alir proses penelitian yang akan dilakukan oleh peneliti.



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

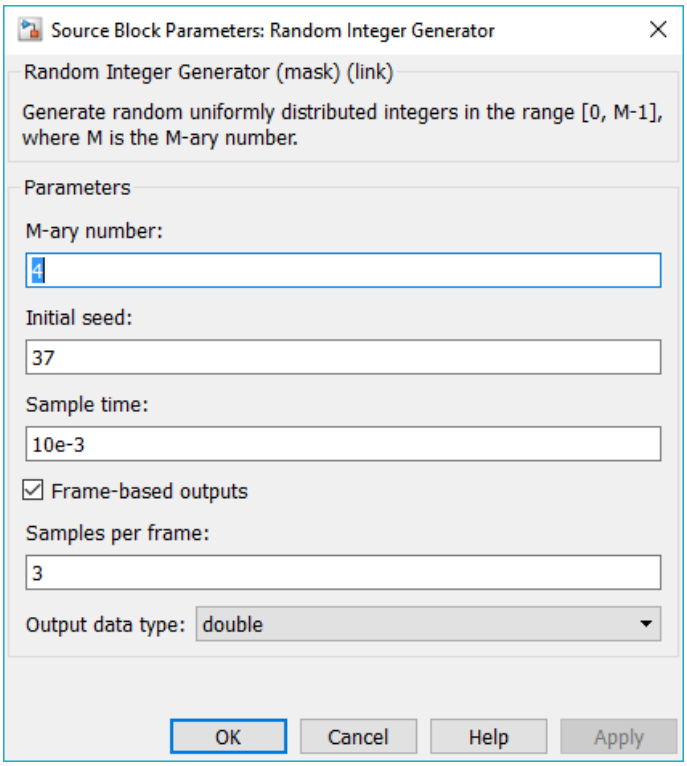
3.4. Teknik dan Prosedur Pengumpulan Data

Dalam pembuatan model simulasi, peneliti menetapkan beberapa parameter untuk diterapkan ke seluruh model simulasi yang dibuat, sehingga antara satu model simulasi dengan yang lainnya memiliki kesamaan perlakuan, dan peneliti dapat membandingkan hasil simulasi yang diperoleh satu sama

lainnya. Berikut ini beberapa parameter yang peneliti terapkan pada beberapa blok bagian model simulasi.

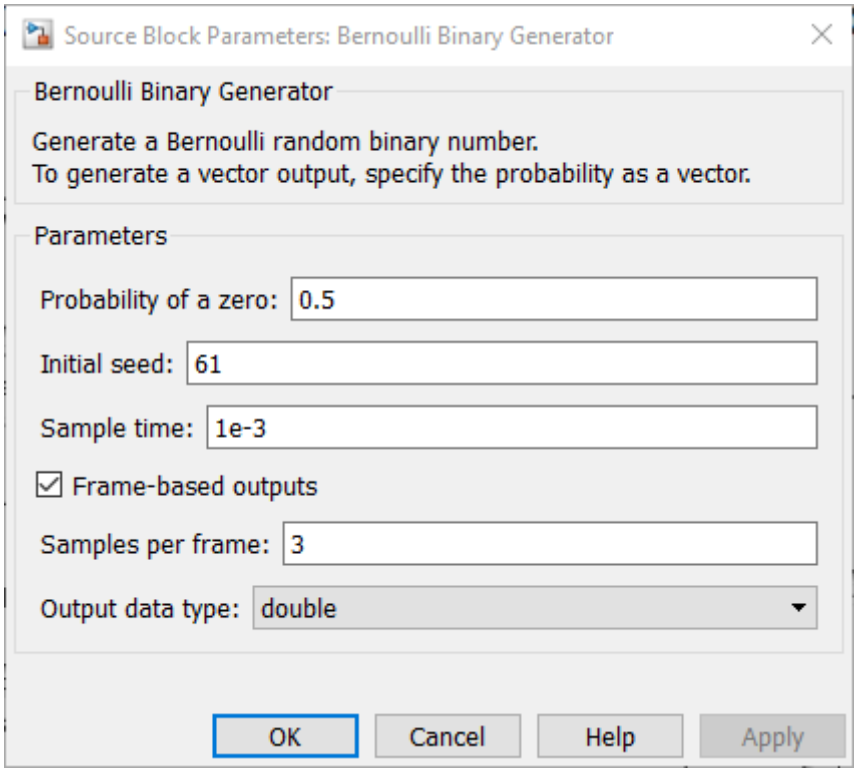
3.4.1. *Random Data Generator*

Untuk menghasilkan data-data *binary* secara acak, penulis menggunakan blok *Bernoulli Binary Generator*. Blok ini akan menghasilkan data *binary* acak berdasarkan distribusi Bernoulli. Dalam blok ini terdapat beberapa parameter sebagai bagian properti dari blok. *Bernoulli Binary Generator* biasa digunakan untuk orde modulasi 2, karena hanya memerlukan dua buah nilai output. Sedangkan untuk orde yang lebih tinggi peneliti menggunakan blok *Random Integer Generator*. Gambar 3.2 menjabarkan parameter-parameter yang peneliti gunakan pada blok *Random Integer Generator*, dan Gambar 3.3 menjabarkan parameter-parameter yang peneliti gunakan pada blok *Bernoulli Binary Generator*.



Gambar 3.2. Parameter-Parameter Pada Blok Random Integer Generator

1. *M-ary number*, mengacu pada orde modulasi yang digunakan. Dalam model simulasi ini akan digunakan m-ary number bernilai 4, 8, dan 16.
2. *Initial seed,* nilai awalan untuk menghasilkan data acak. *Initial seed* ini akan membentuk pola bilangan acak. Artinya, dengan nilai *initial seed* yang sama, data acak yang akan dihasilkan juga akan sama. *Initial seed* ini akan ditemukan pula pada semua jenis skema program Simulink® yang memerlukan kemampuan untuk menghasilkan data acak, seperti pada blok kanal Multipath Rayleigh Fading dan AWGN.
3. *Sample time,* periode sampel yang dihasilkan. Dalam model simulasi ini bernilai 10e-3, 0,001. Sehingga dalam waktu 1 detik mampu menghasilkan 1000 bit data.
4. *Frame based outputs*, data yang dihasilkan akan dikeluarkan dalam bentuk *frame.*
5. *Samples per frame,* data yang dihasilkan dalam satu *frame* keluaran.



Gambar 3.3. Parameter-Parameter Pada Blok *Bernoulli Binary Generator*

1. *Probability of a zero* akan memberikan kemungkinan nilai data biner 0 pada output. Penulis mengisi 0.5 agar jumlah nilai biner 0 dan 1 sama banyak.
2. *Initial seed* merupakan properti untuk nilai awalan pada proses menghasilkan data-data acak pada distribusi Bernoulli.
3. *Sample time* merupakan periode dari setiap sampel yang akan dikeluarkan oleh blok ini.
4. *Frame-based outputs*, jika diaktifkan maka akan memberikan hasil keluaran berupa *frame*, yang berarti beberapa bit sekaligus dalam satu waktu.

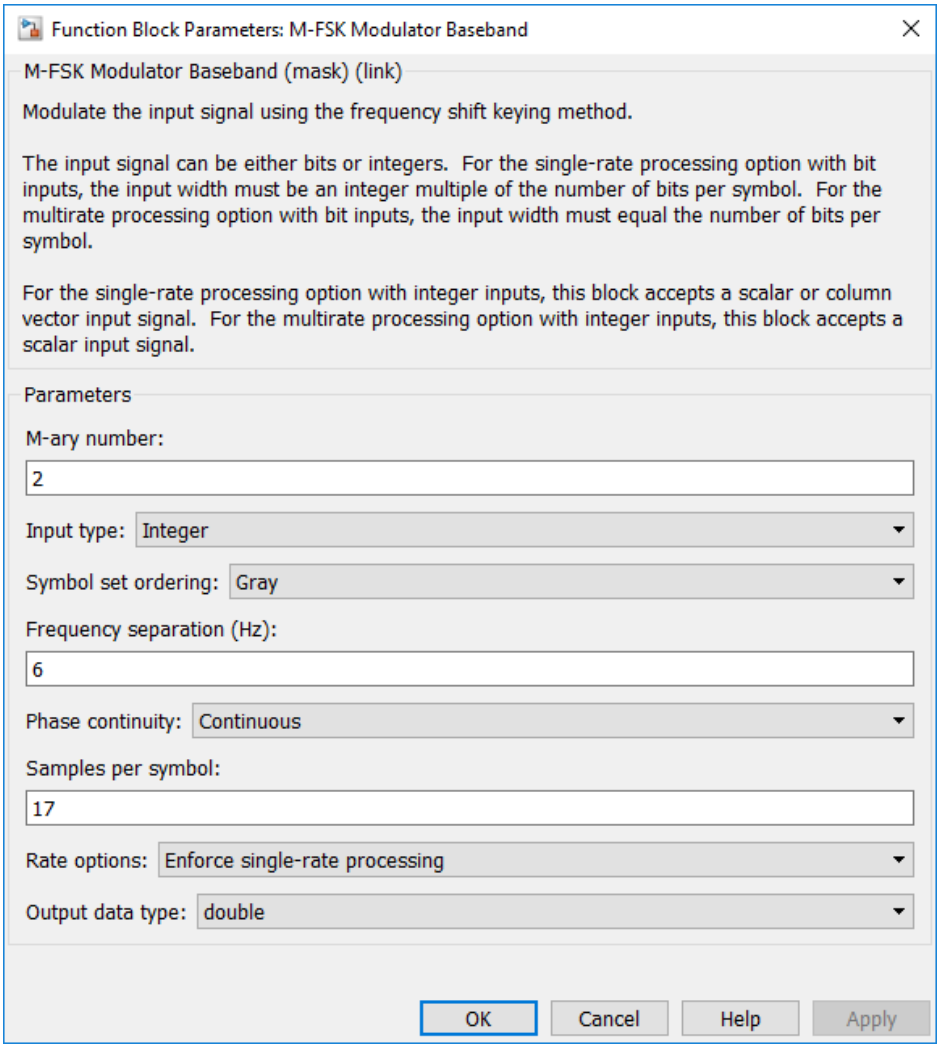
5. *Samples per frame,* nilai banyaknya data bit yang dikirim dalam satu frame.
6. *Output data type* merupakan tipe data keluaran yang diinginkan pada blok ini.

3.4.2. *Modulator* dan *Demodulator Baseband*

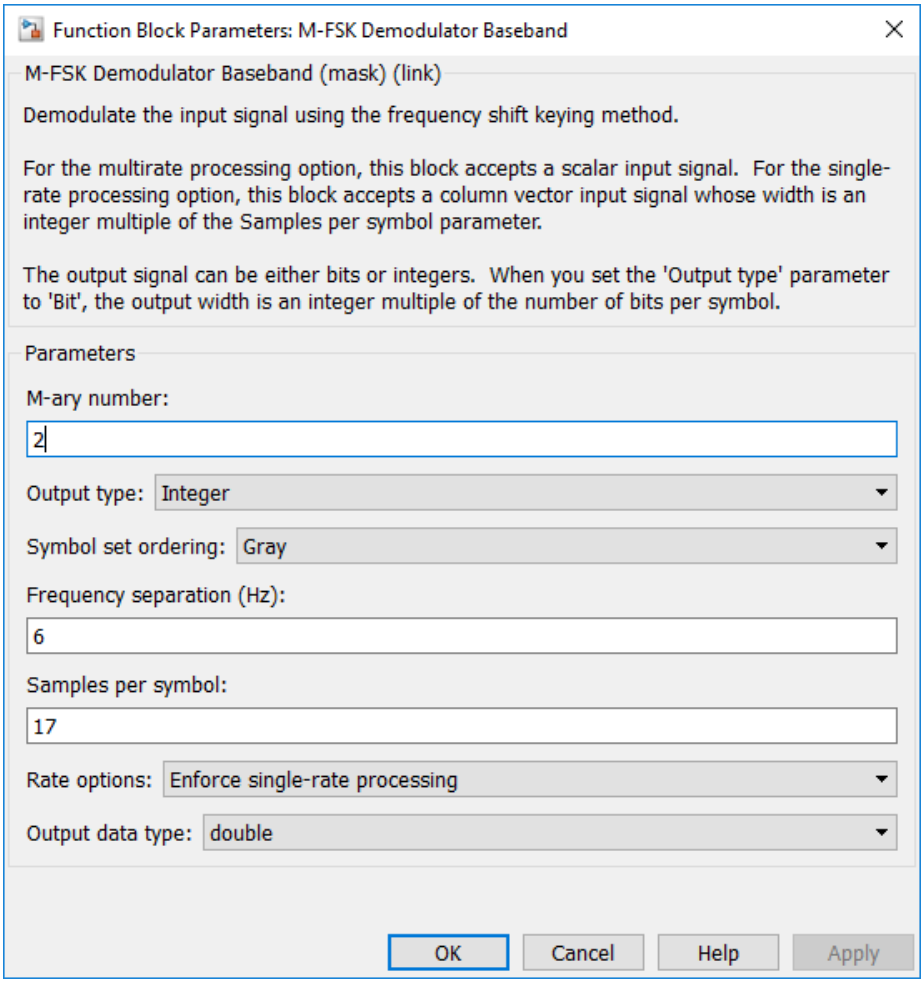
Setelah data biner dihasilkan secara acak, maka data-data biner tersebut akan masuk pada proses modulasi. Dalam simulasi ini, peneliti menggunakan beberapa modulasi, seperti yang telah disebutkan di atas. Selanjutnya peneliti jabarkan beberapa parameter yang terdapat dalam properti blok tersebut.

3.4.2.1. BFSK

BFSK memodulasikan sinyal yang memiliki frekuensi berbeda antara data bit bernilai 1 dan 0. Untuk itu, dalam parameter ini terdapat *frequency separation* yang membedakan frekuensi tiap nilai data dengan yang lainnya. Dalam simulasi, nilai parameter blok *Modulator* dan *Demodulator* harus sesuai satu sama lain. Gambar 3.4 menjabarkan parameter yang ada pada blok *modulator* BFSK dan gGmbar 3.5 menjabarkan parameter yang ada pada blok *demodulator* BFSK.



Gambar 3.4. Parameter-Parameter Pada Blok Modulator M-FSK



Gambar 3.5. Parameter-Parameter Pada Blok Demodulator M-FSK

a. *M-ary number* merupakan parameter untuk nilai orde modulasi yang digunakan.
b. *Input type*, yaitu tipe data masukan pada blok.
c. *Symbol set ordering*, yaitu pengaturan untuk susunan simbol. Dalam hal ini yaitu *Gray*, dapat juga berupa binary.
d. *Frequency separation*, yaitu perbedaan jarak frekuensi. Ini akan membedakan antara frekuensi yang bernilai biner 0 atau 1.
e. *Phase continuity*, keberlanjutan *phase* pada sinyal hasil modulasi.

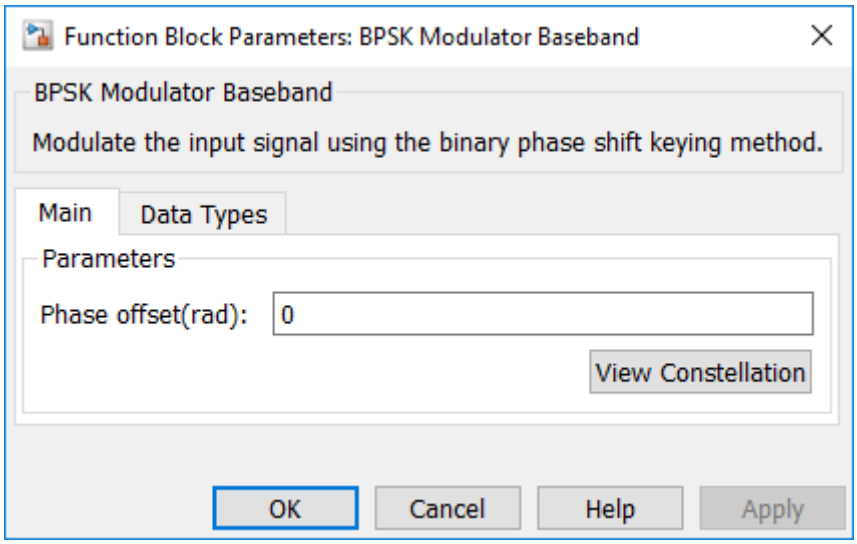
f. *Samples per symbol,* yaitu jumlah sampel tiap simbol yang dikirim.

g. *Rate options,* yaitu pilihan pemrosesan sinyal modulasi.

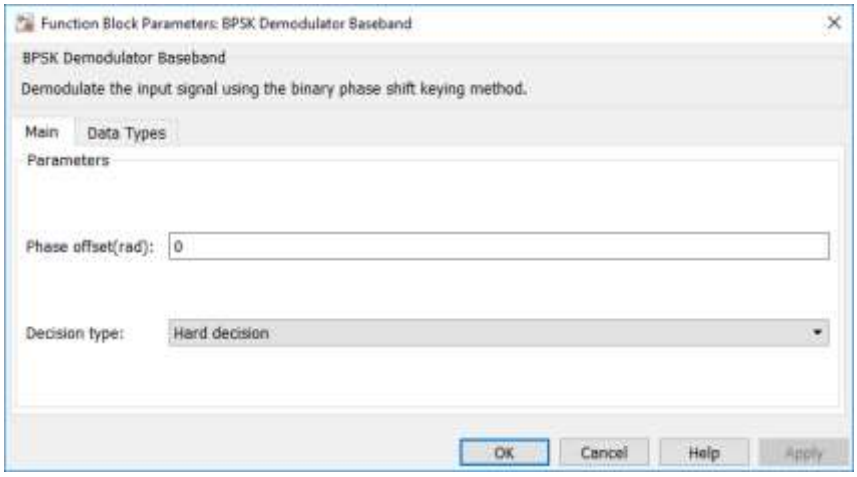
h. *Output data type,* yaitu tipe data keluaran yang diinginkan.

3.4.2.2. BPSK

BPSK menggunakan perubahan pada *phase* sinyal untuk membedakan antara data bit 0 dan 1. Gambar 3.6 menjabarkan parameter yang ada pada blok *modulator* BPSK dan Gambar 3.7 menjabarkan parameter yang ada pada blok *demodulator* BPSK.



Gambar 3.6. Parameter-Parameter Pada Blok Modulator BPSK

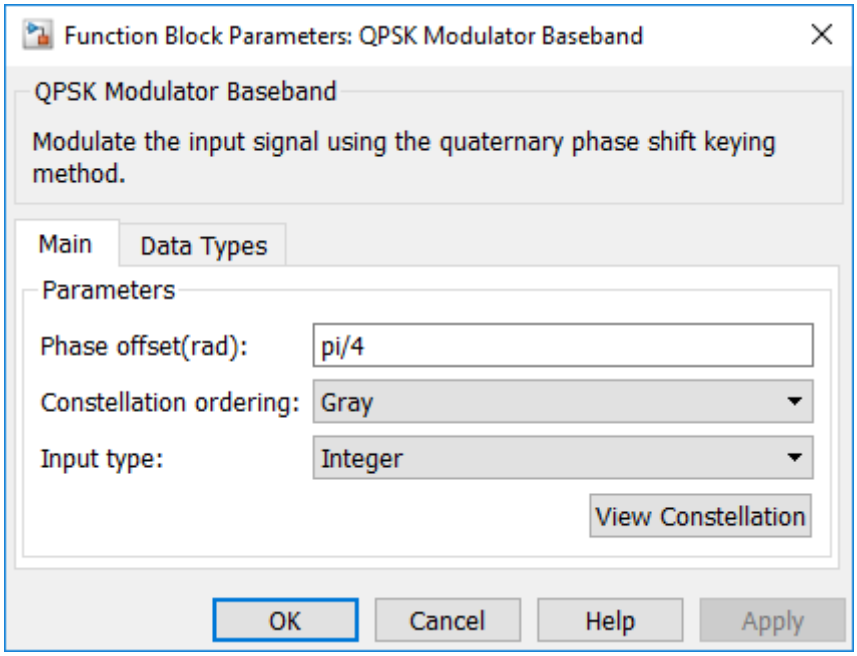


Gambar 3.7. Parameter-Parameter Pada Blok Demodulator BPSK

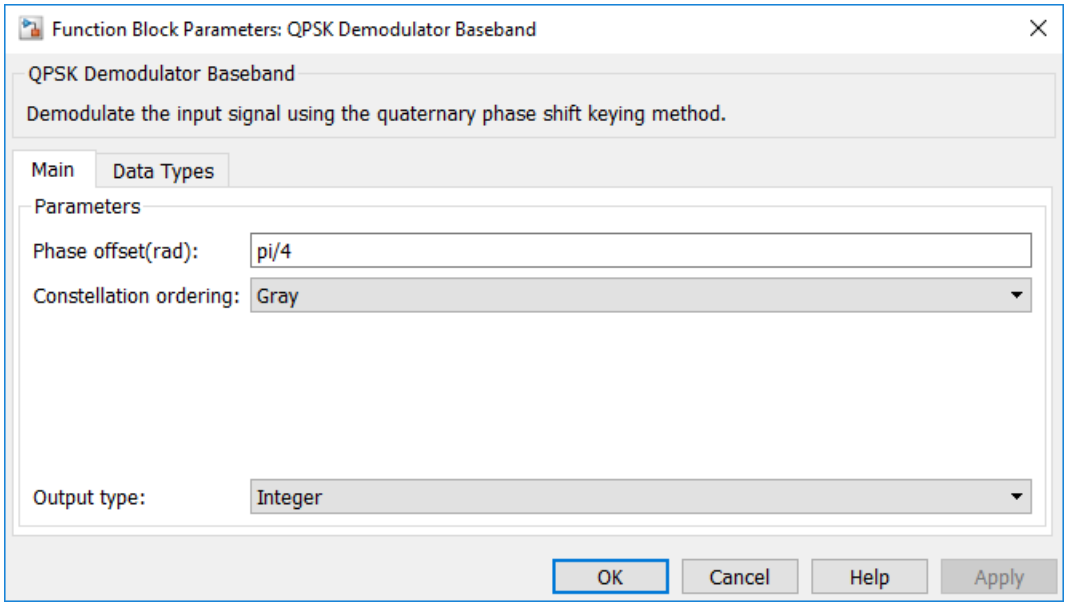
a. *Phase offset(rad),* menentukan nilai pergeseran pada dari titik nol derajat dalam satuan radian. Misalnya berisi pi/4. Dalam simulasi yang peneliti buat, tidak ada pergeseran *phase.*
b. *Decision type,* hanya terdapat pada *demodulator,* akan menentukan metode yang digunakan modulator dalam menentukan nilai bit, apakah 0 atau 1. Dalam penelitian ini yaitu bernilai *hard decision.*

3.4.2.3. QPSK

Sama seperti BPSK, yaitu mengandalkan perbedaan sudut *phase* sinyal untuk membedakan sinyal satu dengan lainnya. Hanya saja, dalam QPSK terdapat 4 simbol dari setiap data yang dikirim, yang langsung berisi 2 bit data. Simbol-simbol yang dikirim akan berisi nilai biner 00, 01, 10, dan 11. Gambar 3.8 menjabarkan parameter yang ada pada blok *modulator* QPSK dan Gambar 3.9 menjabarkan parameter yang ada pada blok *demodulator* QPSK.



Gambar 3.8. Parameter-Parameter Pada Blok Modulator QPSK



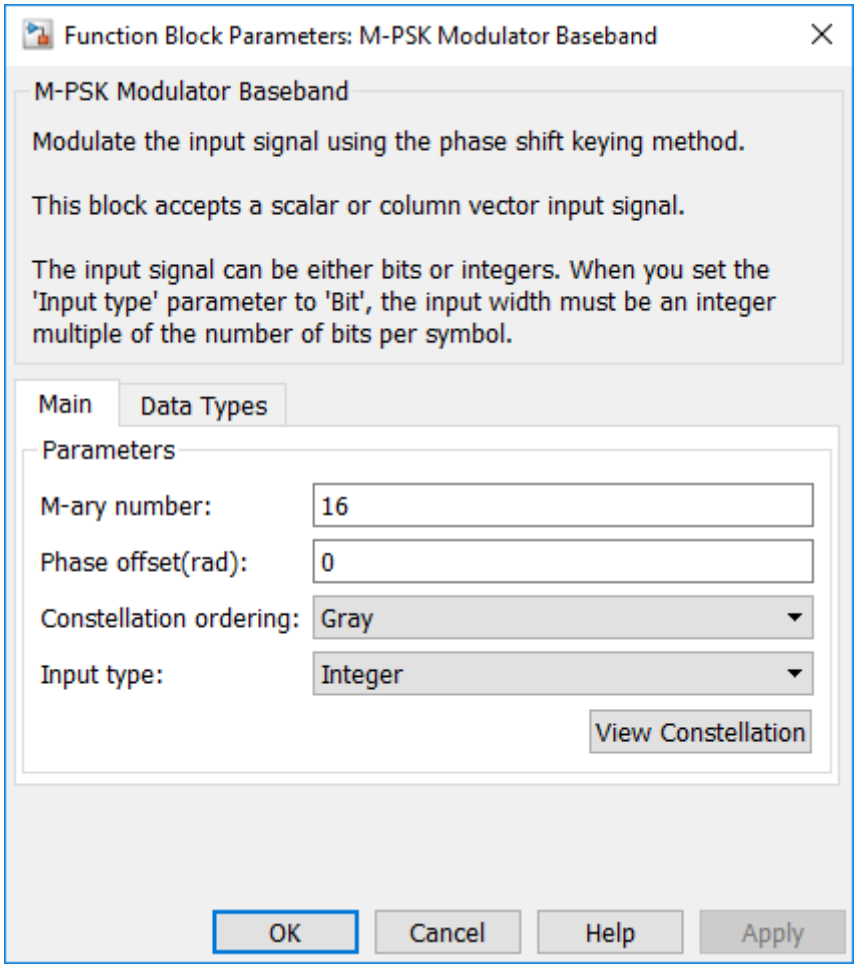
Gambar 3.9. Parameter-Parameter Pada Blok Demodulator QPSK

a. *Phase offset(rad),* menentukan nilai pergeseran pada dari titik nol derajat dalam satuan radian. Misalnya berisi pi/4.

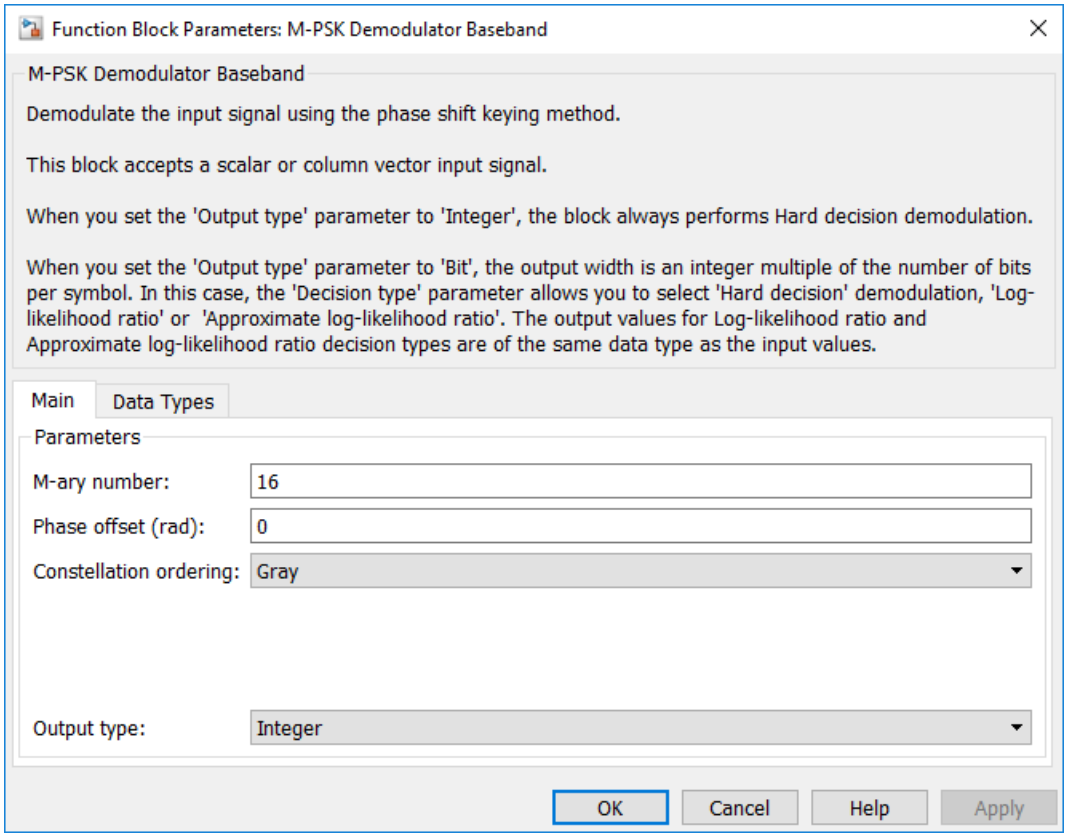
b. *Constellation ordering,* akan menentukan nilai dari titik-titik yang ada pada konstelasi sinyal.
c. *Output type,* tipe keluaran data yang diinginkan.

3.4.2.4. 16-QPSK

Modulasi 16-QPSK memiliki 16 simbol berbeda dalam setiap pengirimannya, sehingga dengan menggunakan modulasi 16-QPSK, kita dapat mengirimkan 4 bit sekaligus dalam satu simbol. Simbol tersebut akan berisi nilai biner 0000, 0001, 0010, 0011, 0100, 0101, 0110, 0111, 1000, 1001, 1010, 1011, 1100, 1101, 1110, dan 1111. Gambar 3.10 menjabarkan parameter yang ada pada blok *modulator* 16-QPSK dan Gambar 3.11 menjabarkan parameter yang ada pada blok *demodulator* 16-QPSK.



Gambar 3.10. Parameter-Parameter Pada Blok Modulator 16-QPSK



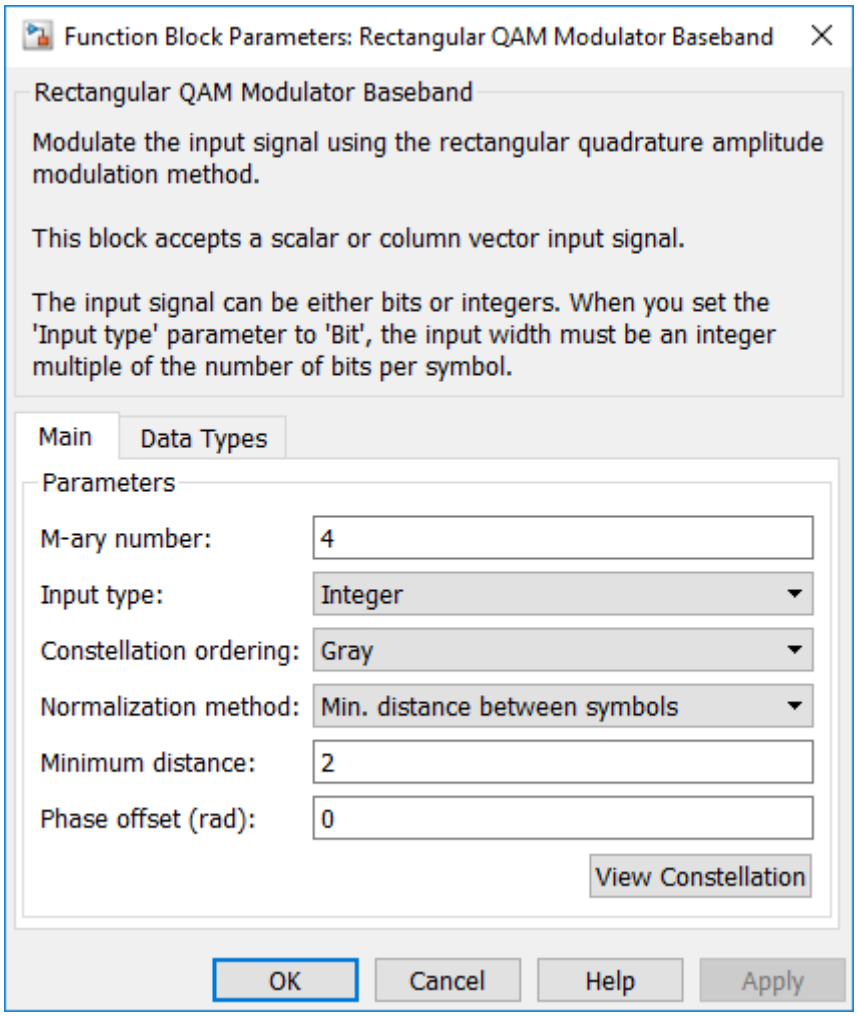
Gambar 3.11. Parameter-Parameter Pada Blok Demodulator 16-QPSK

a. *M-ary number*, orde modulasi yang digunakan. Ini karena peneliti menggunakan blok umum PSK, sehingga nilai orde perlu diketahui oleh blok.
b. *Phase offset(rad)*, pergeseran *phase* yang diinginkan dalam sinyal.
c. *Constellation ordering*, urutan data konstelasi. Dapat berisi *Gray* atau pun *Binary*. Ini tidak akan mengubah data nilai bit yang keluar.
d. *Output type*, tipe data keluaran yang diinginkan.

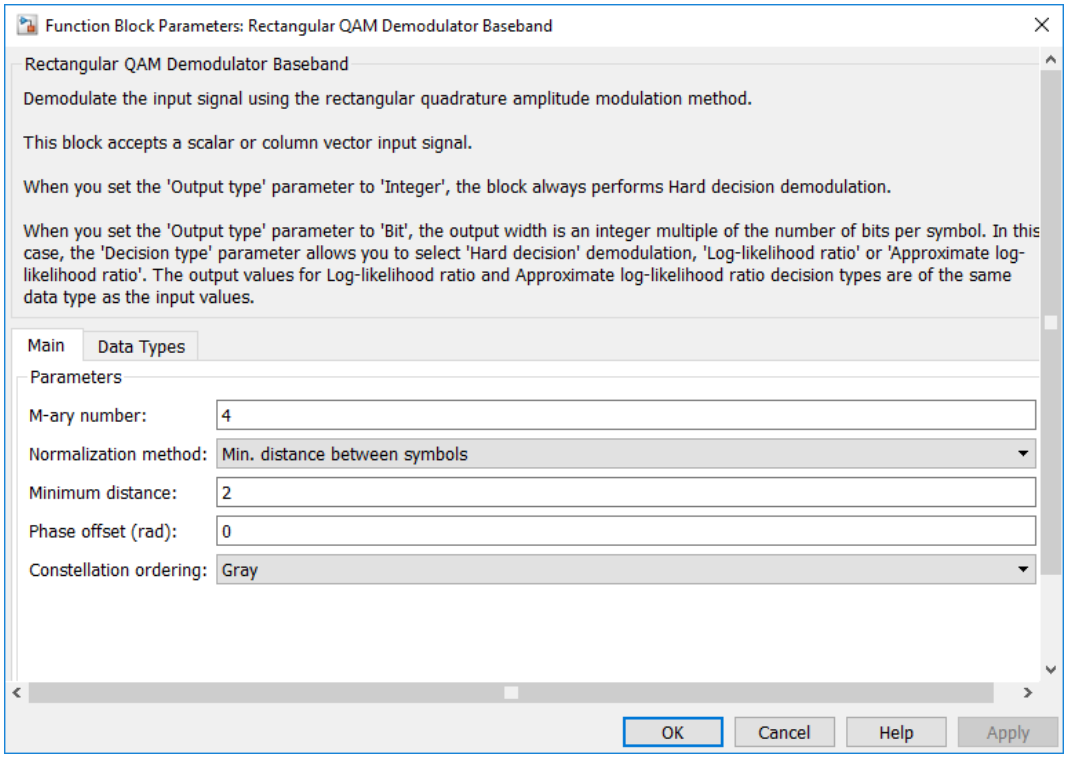
3.4.2.5. QAM

Tidak seperti pada modulasi berbasis PSK yang hanya menggunakan perbedaan *phase* sinyal, dalam QAM selain menggunakan perbedaan *phase* sinyal juga menggunakan level tegangan atau pun daya. Ini akan lebih mempermudah

demodulator dalam menentukan nilai sinyal, karena terdapat dua parameter sinyal yang akan menentukan nilai data yang dibawa oleh simbol. Gambar 3.12 menjabarkan parameter yang ada pada blok *modulator* QAM dan Gambar 3.13 menjabarkan parameter yang ada pada blok *demodulator* QAM.



Gambar 3.12. Parameter-Parameter Pada Blok Modulator QAM



Gambar 3.13. Parameter-Parameter Pada Blok Demodulator QAM

a. *M-ary number*, nilai orde modulasi. Dalam hal ini berisi 4.

b. *Normalization method*, metode normalisasi yang digunakan. Karena terdapat dua parameter yang dihitung untuk menentukan nilai data, maka metode untuk menentukannya juga lebih rumit ketimbang QPSK. Dalam hal ini berisi *Min. distance between symbols*, yaitu jarak minimal antara simbol pada diagram konstelasinya.

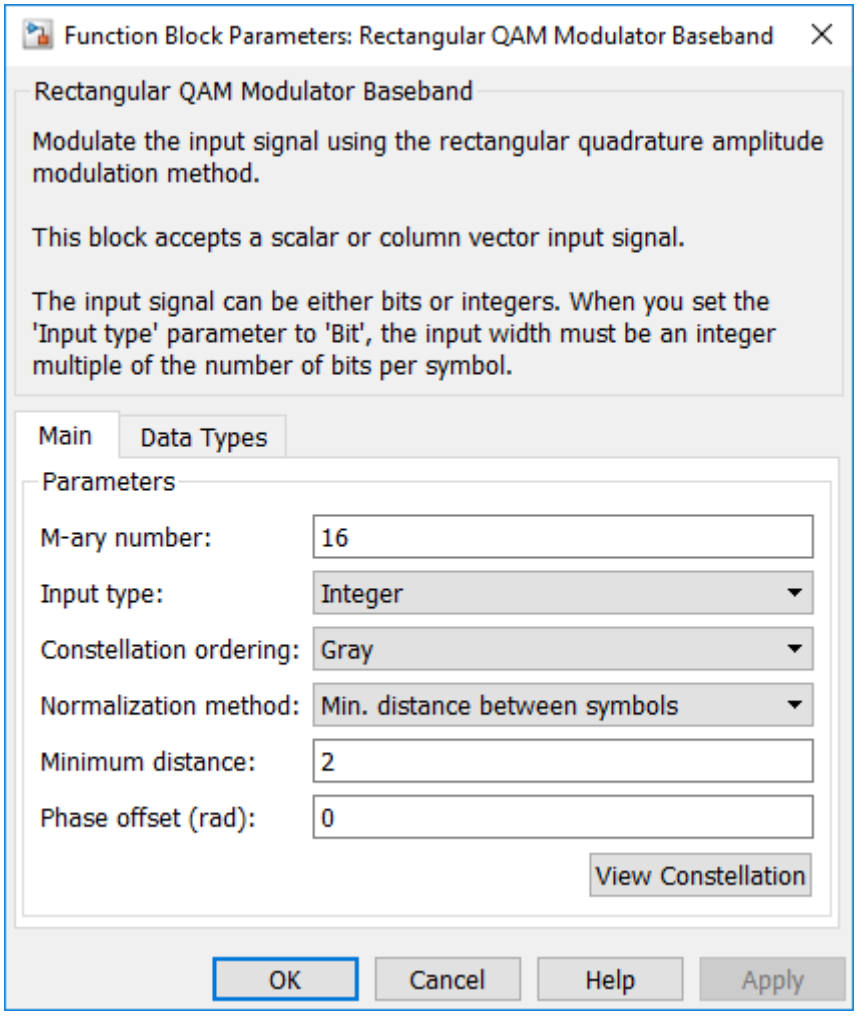
c. *Minimum distances*, yaitu jarak minimal antara simbol pada konstelasi sinyalnya.

d. *Phase offset(rad)*, yaitu pergeseran *phase* yang diinginkan.

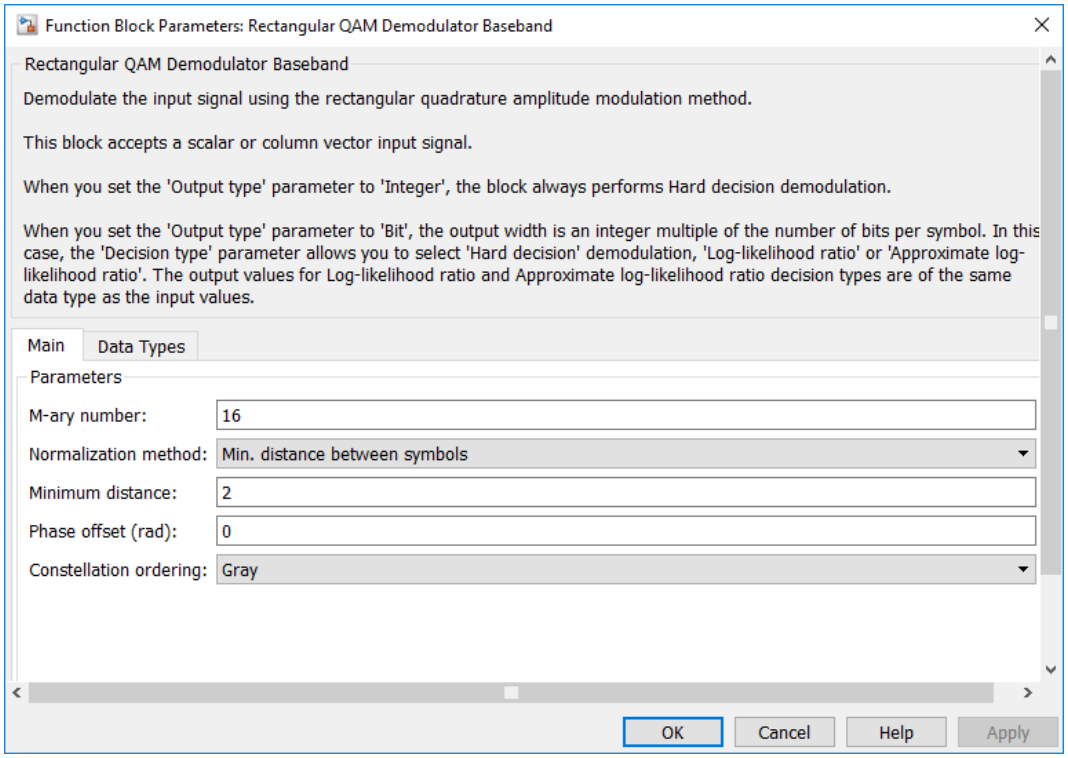
e. *Constellation ordering*, urutan data konstelasi.

3.4.2.6. 16-QAM

Dalam modulasi 16-QAM, terdapat 16 simbol sinyal berbeda yang akan merepresentasikan nilai biner mulai dari 0000 sampai 1111. Gambar 3.14 menjabarkan parameter yang ada pada blok *modulator* 16-QAM dan Gambar 3.15 menjabarkan parameter yang ada pada blok *demodulator* 16-QAM.



Gambar 3.14. Parameter-Parameter Pada Blok Modulator 16-QAM



Gambar 3.15. Parameter-Parameter Pada Blok Demodulator 16-QAM

a. *M-ary number*, nilai orde modulasi. Dalam hal ini berisi 16, sesuai orde modulasi.

b. *Normalization method*, metode normalisasi yang digunakan. Karena terdapat dua parameter yang dihitung untuk menentukan nilai data, maka metode untuk menentukannya juga lebih rumit ketimbang QPSK. Dalam hal ini berisi *Min. distance between symbols*, yaitu jarak minimal antara simbol pada diagram konstelasinya.

c. *Minimum distances*, yaitu jarak minimal antara simbol pada konstelasi sinyalnya.

d. *Phase offset(rad)*, yaitu pergeseran *phase* yang diinginkan.

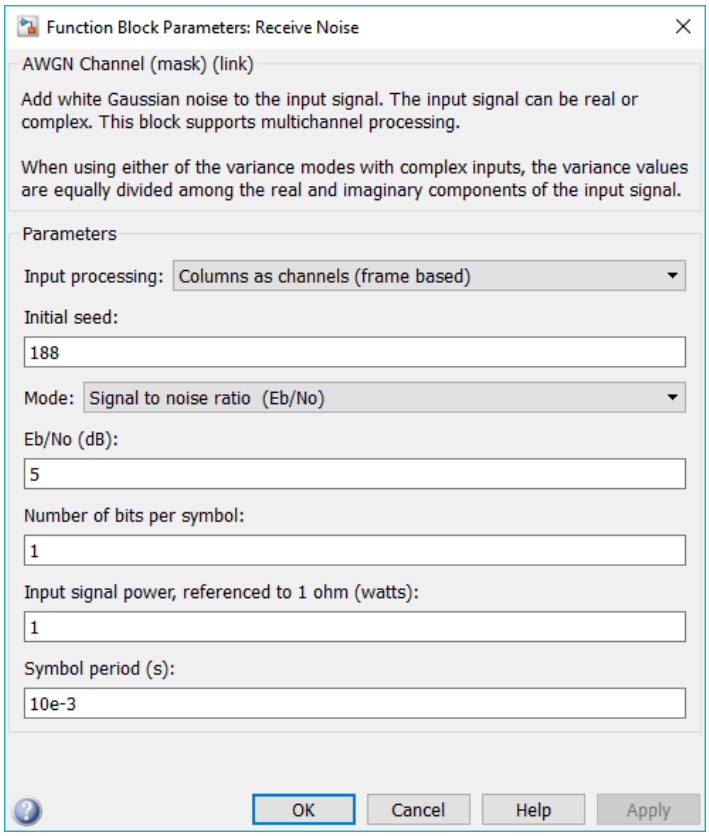
e. *Constellation ordering*, urutan data konstelasi.

3.4.3. Kanal Komunikasi

Seluruh skema kanal yang dibuat bertujuan agar hasil simulasi sebisa mungkin mendekati kenyataan yang ada di lapangan. Terdapat kanal-kanal yang sesuai dengan memberikan blok *equalizer*, namun tidak semuanya dapat diterapkan. Karena di beberapa simulasi yang lain ternyata menghasilkan keluaran yang jauh berbeda dengan teori yang sudah ada. Untuk itu berikut ini dijelaskan skema kanal yang digunakan dalam simulasi yang peneliti buat.

3.4.3.1. AdditiveWhite Gaussian Noise (AWGN)

Gambar 3.16 menjabarkan parameter-parameter yang ada pada blok kanal AWGN.



Gambar 3.16. Parameter-Parameter Pada Blok Kanal AWGN

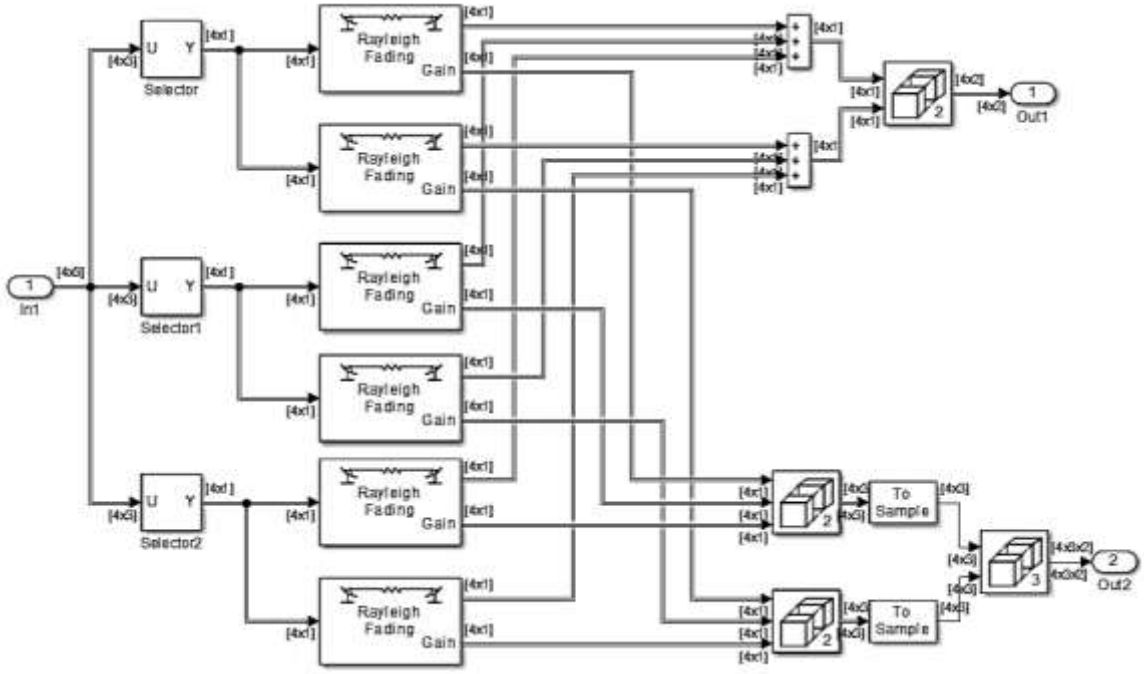
a. *Input processing,* pemrosesan sinyal masukan. Dalam hal ini, data yang telah dimodulasi akan diberi w*hite noise* tiap *frame*, karena menggunakan skema *frame based.* Meski demikian, kita dapat pula memberikan *white noise* dengan metode tiap bitnya.
b. *Initial seed,* nilai awal dari distribusi *white noise* yang diberikan. Dalam percobaan yang penulis lakukan, *seed* ini tidak mempengaruhi hasil simulasi secara signifikan.
c. *Mode,* skema *white noise* yang digunakan. Dalam hal ini, Eb/No, *Energi bits/Noise*. Yaitu perbandingan daya pada bit dengan tingkat sebaran *white noise*-nya.
d. *Eb/No (dB),* nilai perbandingan Eb/No yang diinginkan. Dalam hal ini bernilai 5 dB. Peneliti memilih 5 dB dikarenakan dalam percobaan sebelumnya, jika nilai Eb/No terlalu besar, misalnya 10 dB, maka ini akan membuat signifikansi dari rerata *error* data yang diuji tidak terlalu jelas antara satu model simulasi dengan model lainnya. Namun, dalam orde yang lebih besar peneliti juga akan menyertakan penggunaan Eb/No bernilai 10 dB, dikarenakan nilai rerata *error* yang terlalu besar dengan orde modulasi tersebut. Hal ini bertujuan agar pembaca bisa mengira berapa nilai daya yang harus dipancarkan jika ingin mendapatkan kapasitas data yang lebih besar dengan meningkatkan nilai orde modulasi.
e. *Number of bits per symbol,* jumlah bit yang ada pada tiap simbol sinyal.
f. *Input signal power, referenced to 1 ohm (watts),* daya sinyal masukan yang masuk pada skema kanalnya, direferensikan dalam resistansi 1 ohm.

g. *Symbol period*, periode simbol sinyal. Dalam hal ini bernilai 10e-3, 0,001 detik. Nilai ini harus disesuaikan dengan *sample time* yang ada pada *random data generator*, yang dalam penelitian ini menggunakan *Bernoulli Binary Generator* dan *Random Integer Generator*.

3.4.3.2. Multipath Rayleigh Fading

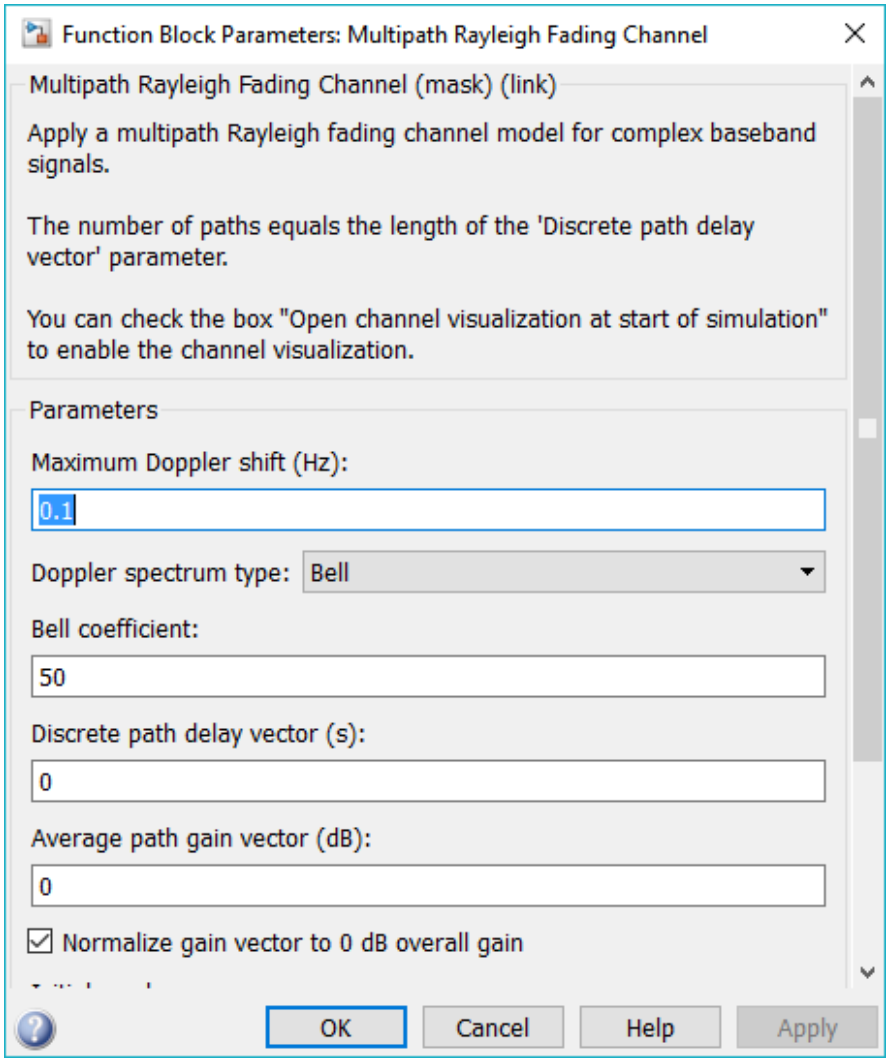
Memberikan gangguan pada sinyal asli berupa *multipath fading* dengan menggunakan distribusi *Rayleigh.* Dalam skema *noise* pada kanal ini, sinyal akan dihitung seolah-olah menghadapi keadaan *multipath fading.* Yaitu keadaan di mana sinyal yang ditransmisikan mengalami proses pemantulan, sehingga antara sinyal asli dan yang terpantul akan sampai dalam waktu yang berbeda, terdapat waktu tunda antara sinyal yang satu dengan lainnya dikarenakan pemantulan itu menambahkan jarak tempuh sinyal.

Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan OSTBC Encoder sebagai *encoder*, dan OSTBC Combiner sebagai *decoder*. Untuk memberikan efek kanal *Multipath Rayleigh Fading*, maka dibuat sebuah sub-sistem untuk kanal ini. Gambar 3.17 memperlihatkan bentuk sub-sistem yang dimaksud.



Gambar 3.17. Sub-sistem Kanal Multipath Rayleigh Fading

Sedangkan untuk parameter yang digunakan dalam blok ini peneliti jabarkan pada Gambar 3.18.



Gambar 3.18. Parameter-Parameter Pada Blok Kanal *Multipath Rayleigh Fading*

a. *Maximum Doppler shift (Hz),* yaitu pergeseran maksimum pada efek Doppler. Efek Doppler diartikan sebagai, "*The relative motion between the transmitter and receiver."* (http://www.mathworks.com, 2016) Yaitu gerakan relatif antara pemancar dan penerima.

b. *Doppler spectrum type,* yaitu tipe spektrum *Doppler* yang ingin digunakan. Terdapat beberapa skema seperti *Jakes*, *Bell*, dsb.

c. *Bell coefficient,* nilai koefisien *Bell,* karena dalam hal ini tipe spektrum *Doppler* yang digunakan adalah tipe *Bell.* Dalam hal ini bernilai 50. Ini sangat mempengaruhi pemberian skema kanal, karena akan berpengaruh pada efek Doppler.

d. *Discrete path delay vector(s),* nilai *path delay* dalam bentuk matriks vektor. Bernilai 0, karena memang tidak diperlukan *path delay* dalam model yang peneliti buat.

e. *Average path gain vector (dB),* nilai *path gain* dalam bentuk vektor matriks. Bernilai 0.

f. *Normalize gain vector to 0 dB overall gain,* jika diaktifkan maka seluruh nilai *gain* pada blok *Multipath Rayleigh Fading* akan bernilai 0 dB.

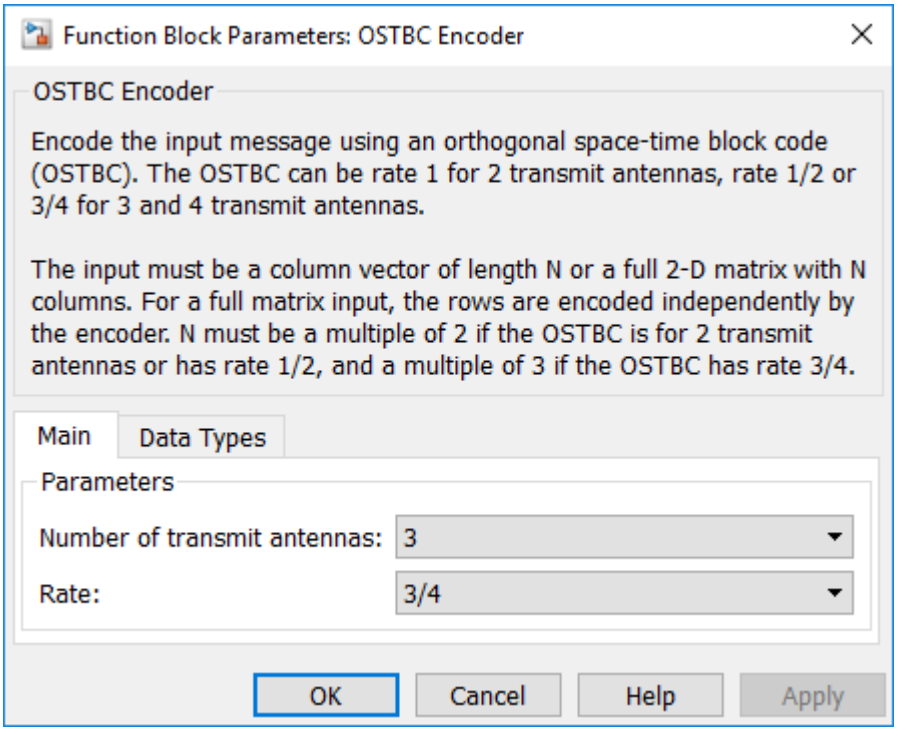
3.4.3.3. MIMO Dengan OSTBC Encoder

OSTBC adalah suatu teknik adaptif *Orthogonal Space Time Block Code* yang jalur transmisinya dilakukan melalui kanal MIMO. Teknik ini menggunakan beberapa antena untuk mengirim (*Encoder)* dan menerima (*Combiner*) (http://www.mathworks.com).

OSTBC Encoder melakukan proses enkode terhadap simbol informasi yang berasal dari modulator menggunakan *Alamouti code* untuk dua antena pengirim atau menghasilkan kode *orthogonal* kompleks untuk tiga atau empat antena. *Alamouti code* adalah suatu teknik yang digunakan pada suatu sistem MIMO untuk merekayasa sinyal yang ditransmisikan di Tx dan di terima di Rx sehingga pola sinyalnya mengikuti suatu matriks berdasarkan jumlah antena Tx dan Rx menggunakan teknik Euclid. Jumlah antena pemancar dalam blok ini digunakan sebagai masukkan. Sedangkan keluaran blok ini berupa sebuah matriks

(Ns x Nt), di mana Nt adalah jumlah kolom yang merupakan jumlah antena pemancar dan Ns sebagai jumlah baris yang merupakan jumlah *orthogonal* kode sampel yang dikirimkan dari tiap-tiap antena dalam satu *frame*.

Pada Gambar 3.19 peneliti jabarkan parameter-parameter yang ada pada blok OSTBC.



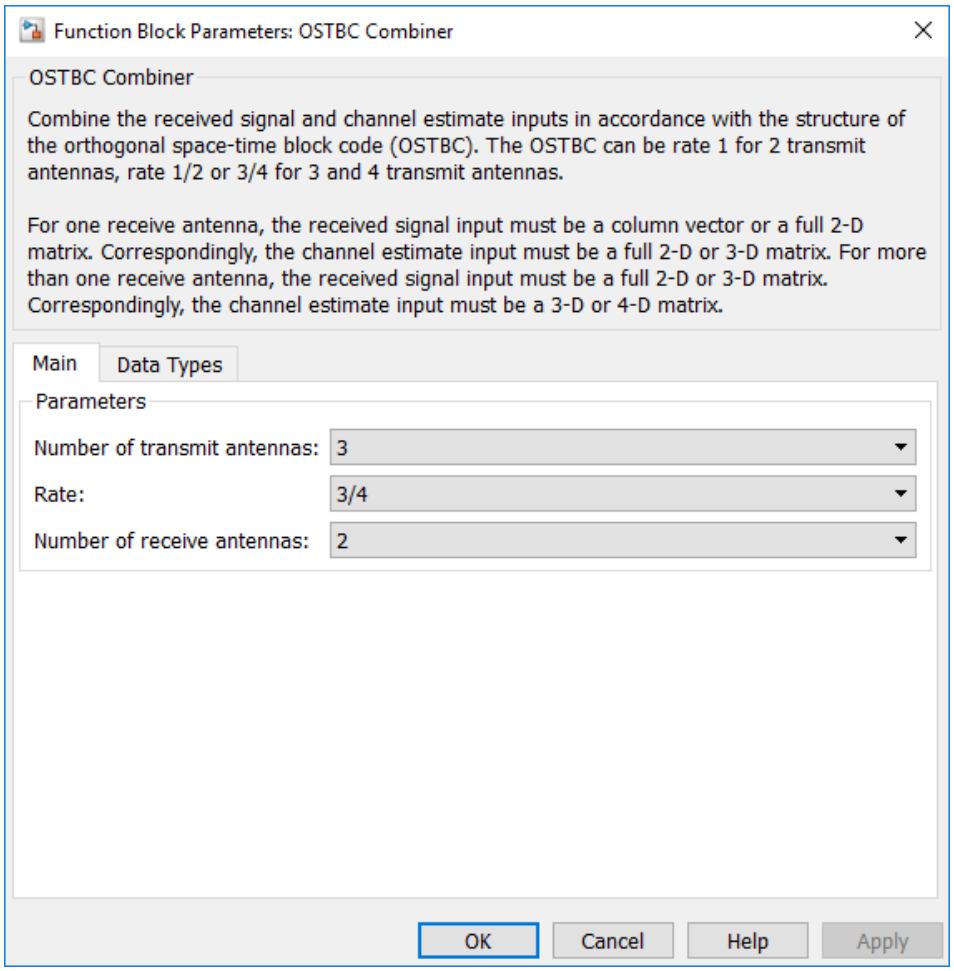
Gambar 3.19. Parameter-Parameter Pada Blok *OSTBC Encoder*

a. *Number of transmit antennas,* yaitu jumlah skema antena pemancar.
b. *Rate,* merupakan rerata transfer data berdasarkan bentuk matriks. Dalam hal ini 3/4. Tiga (3) adalah jumlah antena, sedangkan 4 adalah nilai N, harus kelipatan dua.

3.4.3.4. MIMO Dengan OSTBC Combiner

OSTBC Combiner ini merupakan pasangan dari *OSTBC Encoder*. Setelah data dikirim dengan menggunakan *OSTBC Encoder*, data dikombinasi kembali

dengan blok ini. Pada Gambar 3.20 peneliti jabarkan parameter-parameter yang ada pada blok *OSTBC Combiner.*



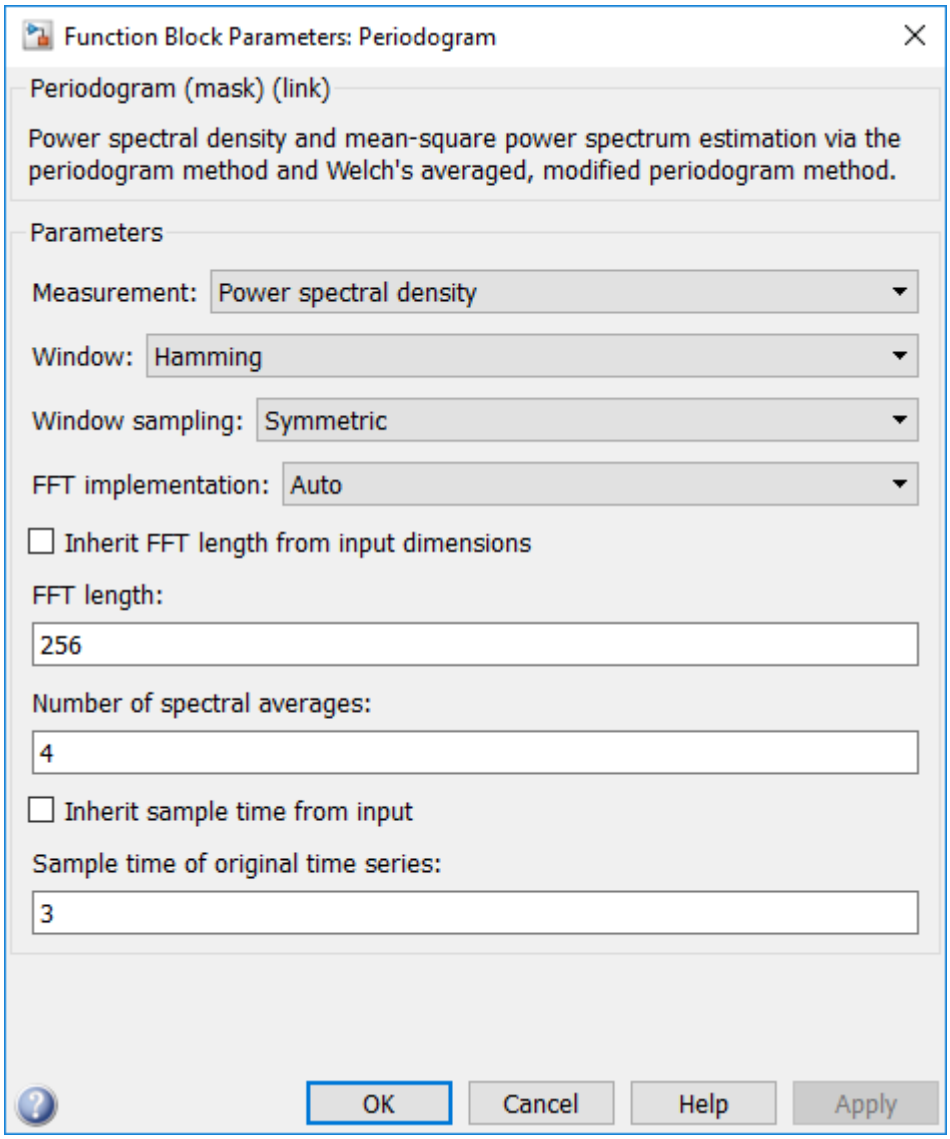
Gambar 3.20. Parameter-Parameter Pada Blok *OSTBC Combiner*

a. *Number of transmit antennas,* yaitu jumlah skema antena pemancar.

b. *Rate,* merupakan rerata transfer data berdasarkan bentuk matriks. Dalam hal ini 3/4. Tiga (3) adalah jumlah antena, sedangkan 4 adalah nilai N, harus kelipatan dua.

c. *Number of receive antenna,* yaitu jumlah antena penerima.

3.4.4. Power Spectral Density (PSD) Dengan Periodogram



Gambar 3.21. Parameter-Parameter Pada Blok *Periodogram Welch*

a. *Measurement*, menentukan nilai parameter yang akan diukur, dalam hal ini adalah *Power Spectral Density*. Selain pilihan *Power Spectral Density*, terdapat juga pilihan *Mean-square Spectrum.*

b. *Window*, memilih jenis *Window* yang digunakan. *Window* menentukan metode yang digunakan untuk menghitung sinyal yang masuk.

c. *Window sampling,* menentukan apakah sinyal masukan dihitung secara *symetric* atau *periodic.*

d. *FFT implementation,* menentukan implementasi *FFT* yang digunakan dalam menghitung sinyal. *Auto* artinya *simulink* akan memilihkan mana metode yang akan digunakan. Selain itu terdapat *FFTW* dan juga *Radix-2*.

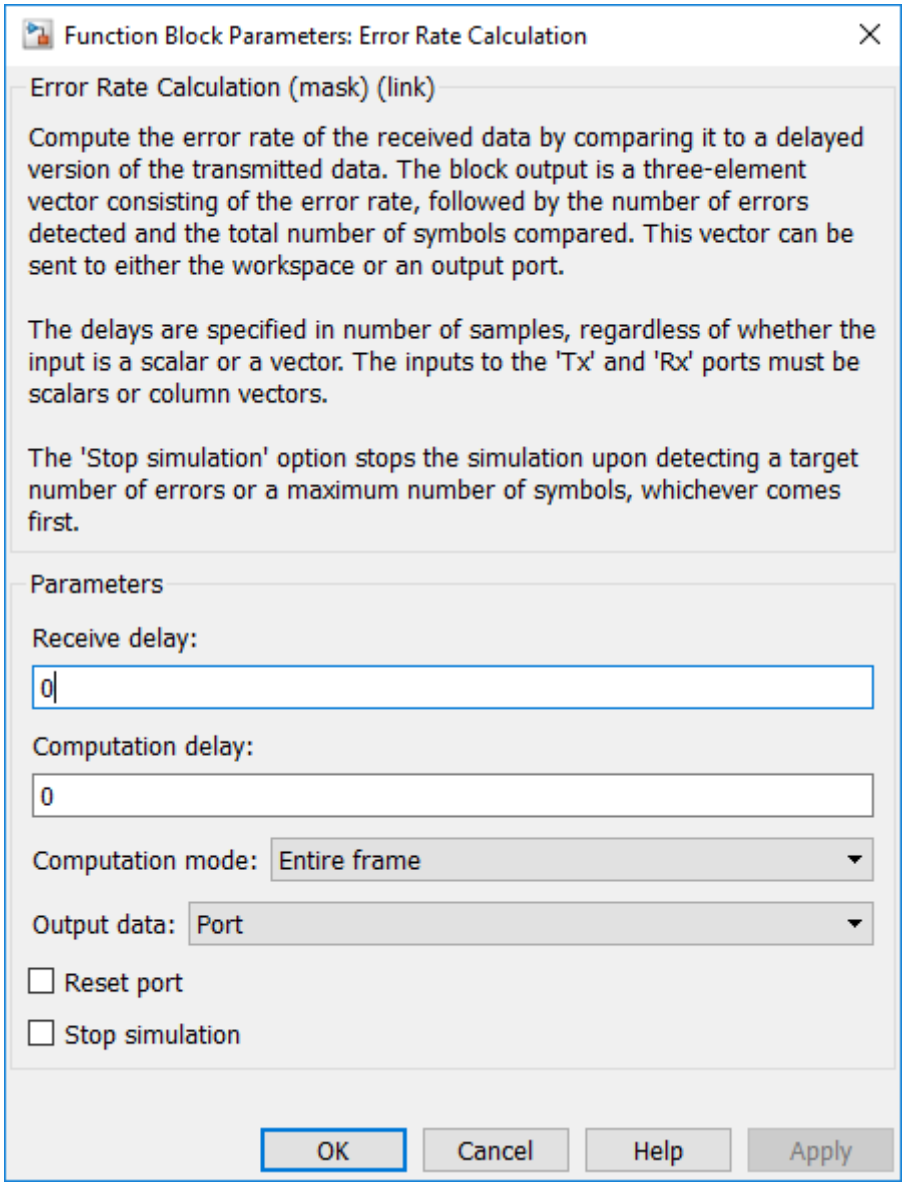
e. *FFT length,* menentukan jumlah data yang digunakan untuk menghitung nilai *FFT. FFT length* mengacu pada ukuran panjang sinyal yang akan dihitung menggunakan metode FFT. *FFT length* berhubungan dengan *sample rate* dan sampel spektrum (bin) dalam analisis *window*. Ukuran ini akan memberikan kemampuan pada penghitung untuk mencuplik data untuk masing-masing spektrum daya di berbagai frekuensi sepanjang frekuensi kerja.

f. *Number of spectral averages,* jika diisi 1, maka blok akan menghasilkan keluaran berupa perhitungan *periodogram*. Sedangkan, jika diisi lebih dari 1, maka akan menggunakan metode *Welch.*

g. *Sample time of original time series,* menentukan *sample time* pada domain sinyal asli.

3.4.5. Error Rate Calculation

Blok *Error Rate Calculation* digunakan untuk menghitung rerata galat yang ditemukan dalam proses transfer sinyal. Blok ini menghitung dengan membandingkan nilai sinyal yang dihasilkan pada masukkan (*Bernoulli Binary Generator*) dengan sinyal yang dihasilkan pada keluaran (*Demodulator*). Pada Gambar 3.22 peneliti parameter-parameter yang ada pada blok *Error Rate Calculation.*



Gambar 3.22. Parameter-Parameter Pada Blok *Error Rate Calculation*

a. *Receive delay*, menentukan nilai penundaan penerimaan sinyal.

b. *Computational delay*, menentukan nilai penundaan penghitungan galat.

c. *Computation mode*, mode penghitungan galat.

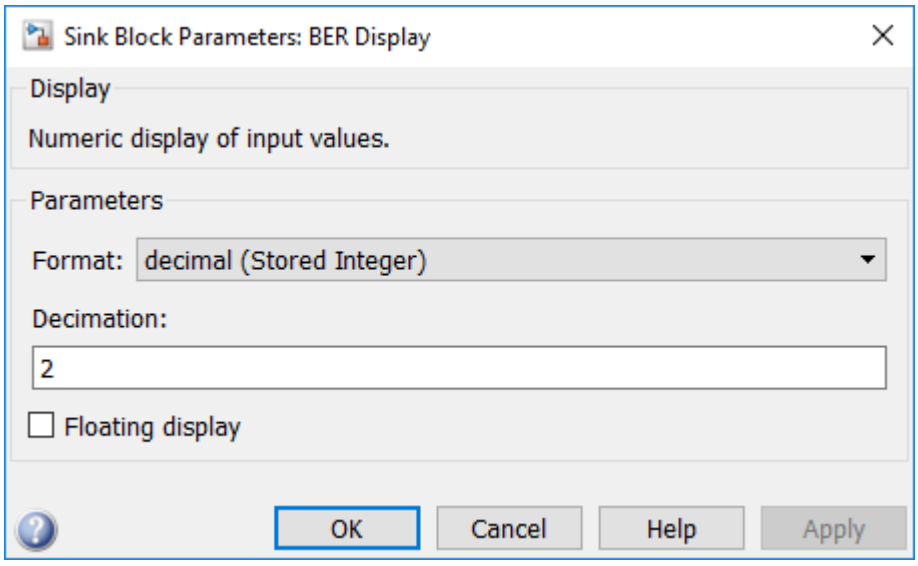
d. *Output data*, menentukan jalur keluaran data, dapat berupa *port* untuk diteruskan kepada blok lain, atau dapat juga berupa variabel yang akan disimpan dalam matlab.

3.4.6. Display Output

Peneliti menggunakan dua buah blok untuk memberikan gambaran terhadap keluaran yang dihasilkan dalam proses simulasi, yaitu *BER Display* dan *Spectrum Analyzer.*

3.4.6.1. BER Display

Blok *BER Display* akan memberikan nilai keluaran yang berasal dari masukkan berupa bilangan real, imajiner, atau pun matriks. Dalam hal ini yaitu berupa bilangan real hasil perhitungan dari blok *Error Rate Calculation.* Pada Gambar 3.23 peneliti jabarkan parameter-parameter yang ada pada blok *BER Display*.



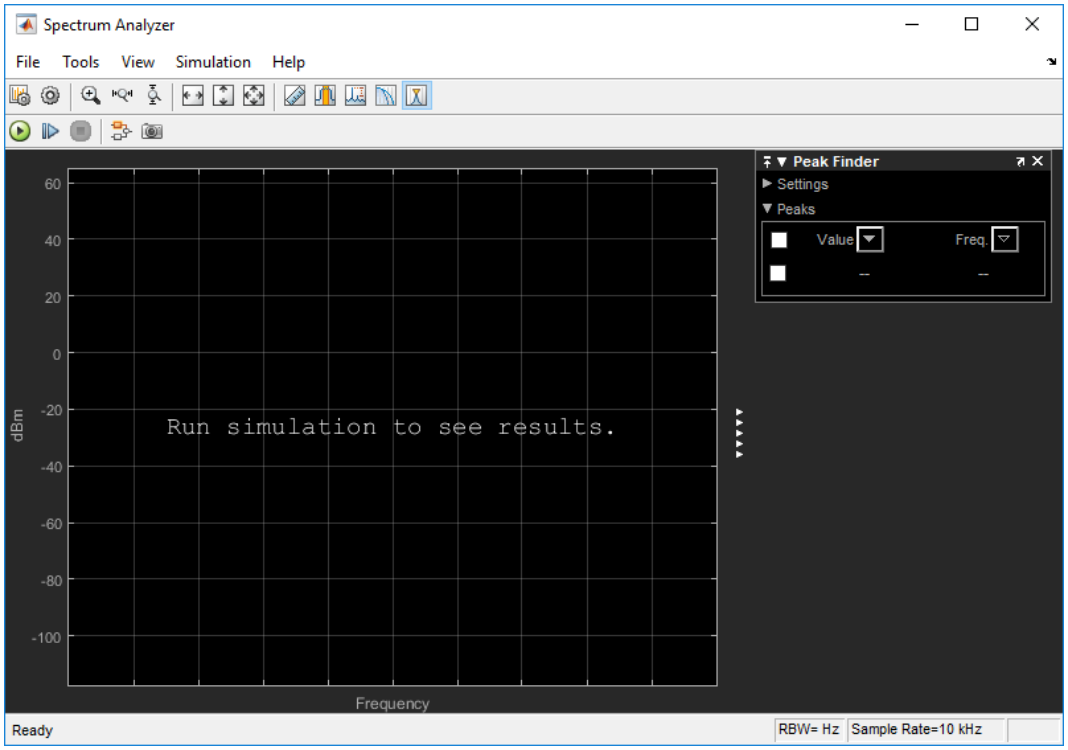
Gambar 3.23. Parameter-Parameter Pada Blok *Display Output*

a. *Format,* dapat berupa bilangan desimal, heksadesimal, dst.

b. *Decimation,* pembulatan nilai desimal yang ingin dilakukan.

3.4.6.2. Spectrum Analyzer

Blok ini peneliti gunakan untuk memberikan visualisasi mengenai spektrum daya yang dihasilkan pada tiap-tiap simulasi modulasi yang dilakukan. Pada Gambar 3.24 peneliti jabarkan parameter-parameter yang ada pada blok *Spectrum Analyzer*.



Gambar 3.24. Visualisasi Blok *Spectrum Analyzer*

Terdapat beberapa fitur-fitur yang dapat peneliti gunakan untuk mempermudah pengolahan data. Dalam hal ini peneliti menggunakan fitur *peak finder*, yaitu fitur untuk menemukan letak titik puncak pada hasil perhitungan spektrum daya yang dihasilkan dari blok *Periodogram Welch's*. Data yang diambil akan peneliti cuplik menggunakan fitur *step* yang akan memberikan hasil simulasi secara bertahap. Untuk mendapatkan hasil yang akurat, peneliti akan melakukan pengujian sebanyak 10 kali untuk dua buah nilai *initial seed* yang

berbeda pada blok *Bernoully Binary* Generator dan *Random Integer* Generator. Perbedaan data acak yang dihasilkan akan mempengaruhi nilai keluaran hasil simulasi, ini akan memberikan hasil yang presisi untuk model dan memungkinkan peneliti untuk memberikan kesimpulan berupa nilai rerata yang sesuai.

Setelah program simulasi selesai dibuat, peneliti akan menjalankan simulasi tersebut dan mengambil data hasil simulasi tersebut. Simulasi akan menggunakan teknik *random sample* sebagai masukan bitnya, sehingga variasi nilai hasil akan ditemukan dalam berbagai percobaan. Untuk itu, peneliti akan melakukan beberapa kali percobaan simulasi untuk didapatkan data sebagai validasi keakuratan hasil simulasi.

Untuk melakukan pengumpulan data simulasi tersebut, maka peneliti menggunakan beberapa tabel. Tabel 3.1 peneliti gunakan untuk mendokumentasikan nilai BER. Tabel 3.2 Peneliti gunakan untuk mendokumentasikan nilai kerapatan spektrum daya (PSD). Tabel 3.3 Peneliti gunakan untuk mendokumentasikan nilai BER pada saat proses pemutakhiran simulasi.

Tabel 3.1. Data Nilai BER Hasil Simulasi

Percobaan Ke	JS	Modulasi											
		BFSK		BPSK		QPSK		16-QPSK		QAM		16-QAM	
		JE	PE	JE	PE	JE	PE	JE	PE	JE	PE	JE	PE
1													
2													
3													
4													
5													
6													
7													
8													
9													
10													
Rerata PE													

Keterangan:

JS = Jumlah Sampel

JE = Jumlah Error

PE = Presentase Error

Tabel 3.2. Data Nilai Spektrum Daya Hasil Simulasi

Percobaan Ke	Nilai PSD						
	BASK	BPSK	BFSK	QPSK	QAM	16-QPSK	16-QAM
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
Rerata							

Tabel 3.3. Nilai BER Pemutakhiran Simulasi

Percobaan Ke	(Nama Modulasi)											
	Blok Simulasi Ke-1			Blok Simulasi Ke-2			Blok Simulasi Ke-3			Blok Simulasi Ke-4		
	JS	JE	PE	JS	JE	PE	JS	JE	PE	JS	JE	PE
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
Rerata												

Keterangan:

JS = Jumlah Sampel

JE = Jumlah Error

PE = Persentase Error

3.5. Teknik Analisis Data

Peneliti menggunakan teknik analisis statistik deskriptif untuk menentukan kesimpulan dari data-data yang diambil dalam simulasi. Data tersebut kemudian akan peneliti analisis dengan membandingkan antara hasil simulasi dari satu teknik modulasi sinyal terhadap teknik modulasi sinyal yang lainnya, lalu kesimpulan akan diambil dari teknik modulasi yang memberikan performa terbaik . Untuk parameter BER, performa terbaik ditunjukkan dengan nilai rendah. Semakin rendah nilai BER, maka semakin baik performanya. Untuk parameter PSD, performa terbaik ditunjukkan dengan nilai rendah yang mengindikasikan penggunaan daya yang rendah. Semakin rendah nilai PSD, maka semakin baik performanya.

BAB IV

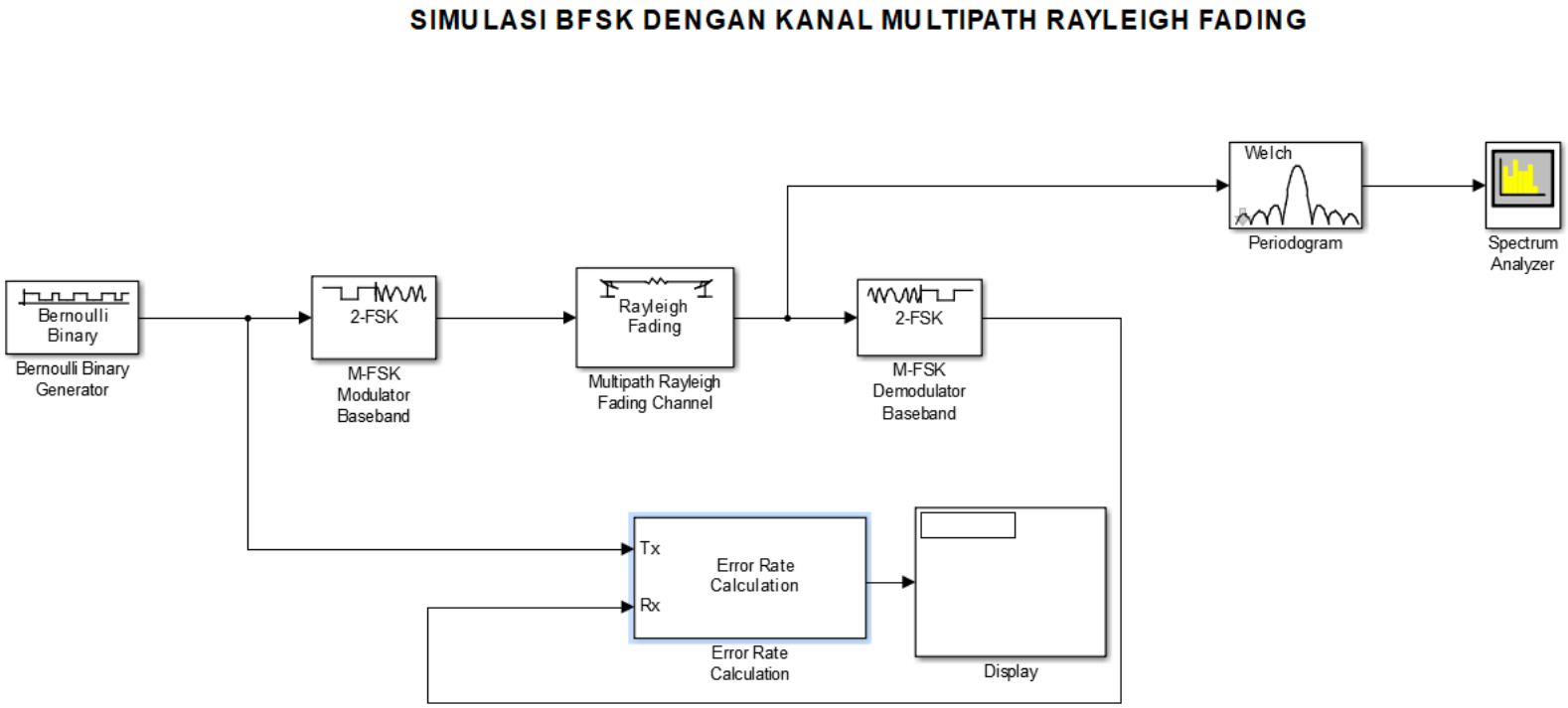
HASIL PENELITIAN

4.1. Deskripsi Hasil Penelitian

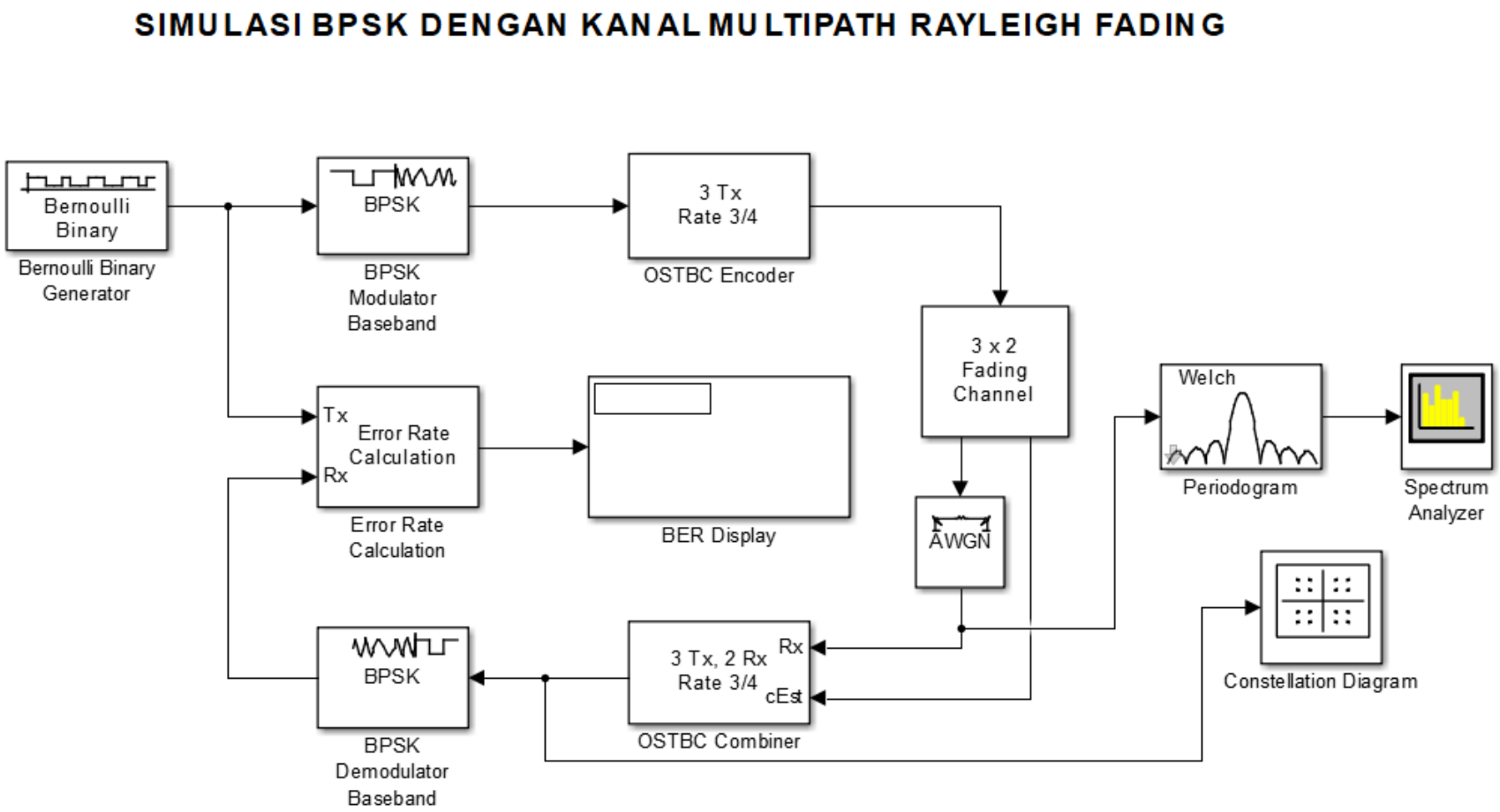
Peneliti menggunakan 6 buah model simulasi pada aplikasi Matlab Simulink R2015a®. Enam buah simulasi tersebut merupakan desain umum dari proses transfer data menggunakan modulasi digital. Modulasi-modulasi tersebut, yaitu:

1. *Binary Frequency Shift Keying (BFSK)*
2. *Binary Phase Shift Keying (BPSK)*
3. *Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)*
4. *16-QPSK*
5. *Quadrature Amplitude Modulation (QAM)*
6. *16-QAM*

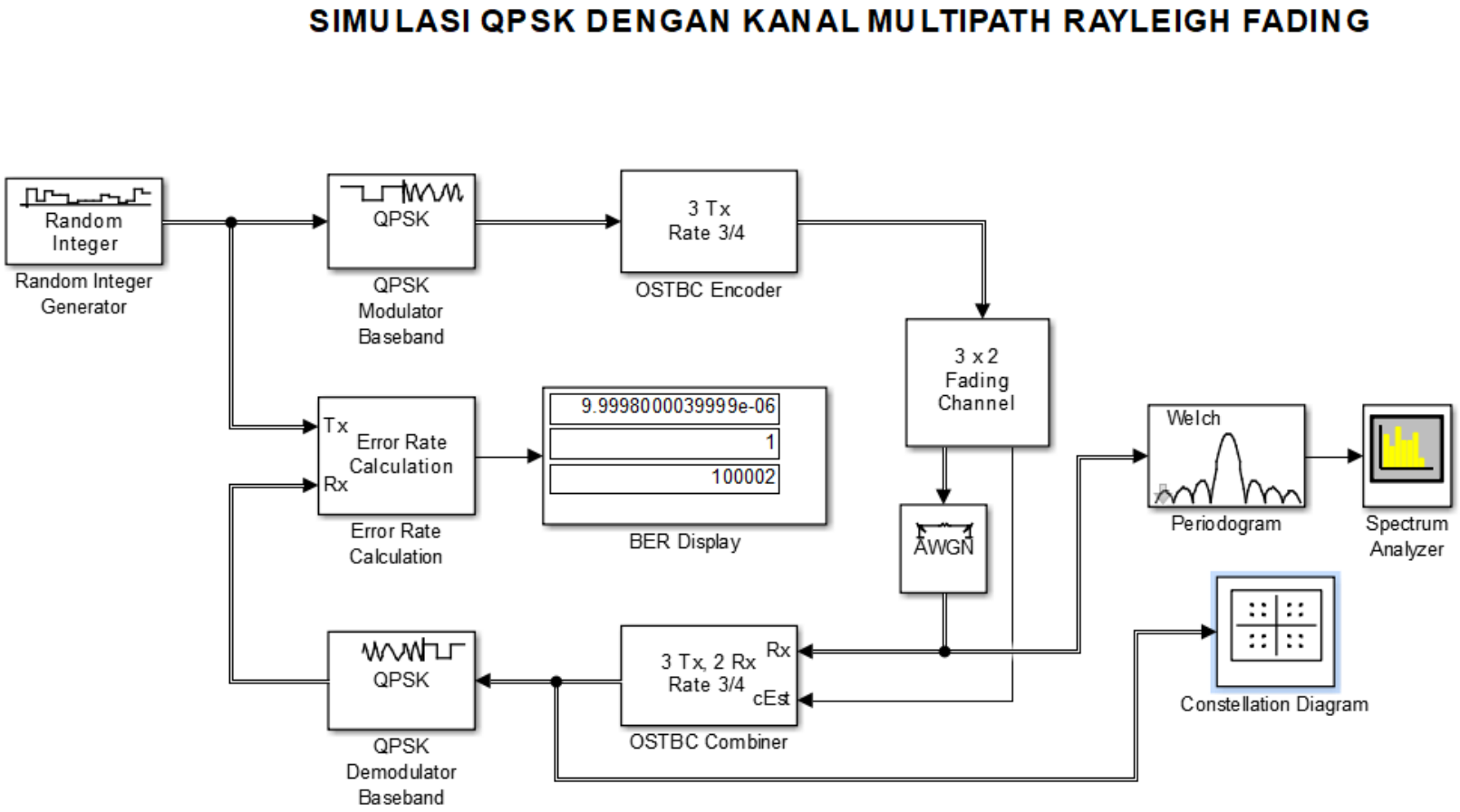
Dalam simulasi yang peneliti gunakan, terdapat komponen yang merupakan bagian-bagian utama dari sebuah sistem telekomunikasi. Gambar 4.1 menunjukkan model simulasi modulasi BFSK, Gambar 4.2 menunjukkan model simulasi modulasi BPSK, Gambar 4.3 menunjukkan model simulasi modulasi QPSK, Gambar 4.4 menunjukkan model simulasi modulasi 16-QPSK, Gambar 4.5 menunjukkan model simulasi modulasi QAM, dan Gambar 4.6 menunjukkan model simulasi modulasi 16-QAM.



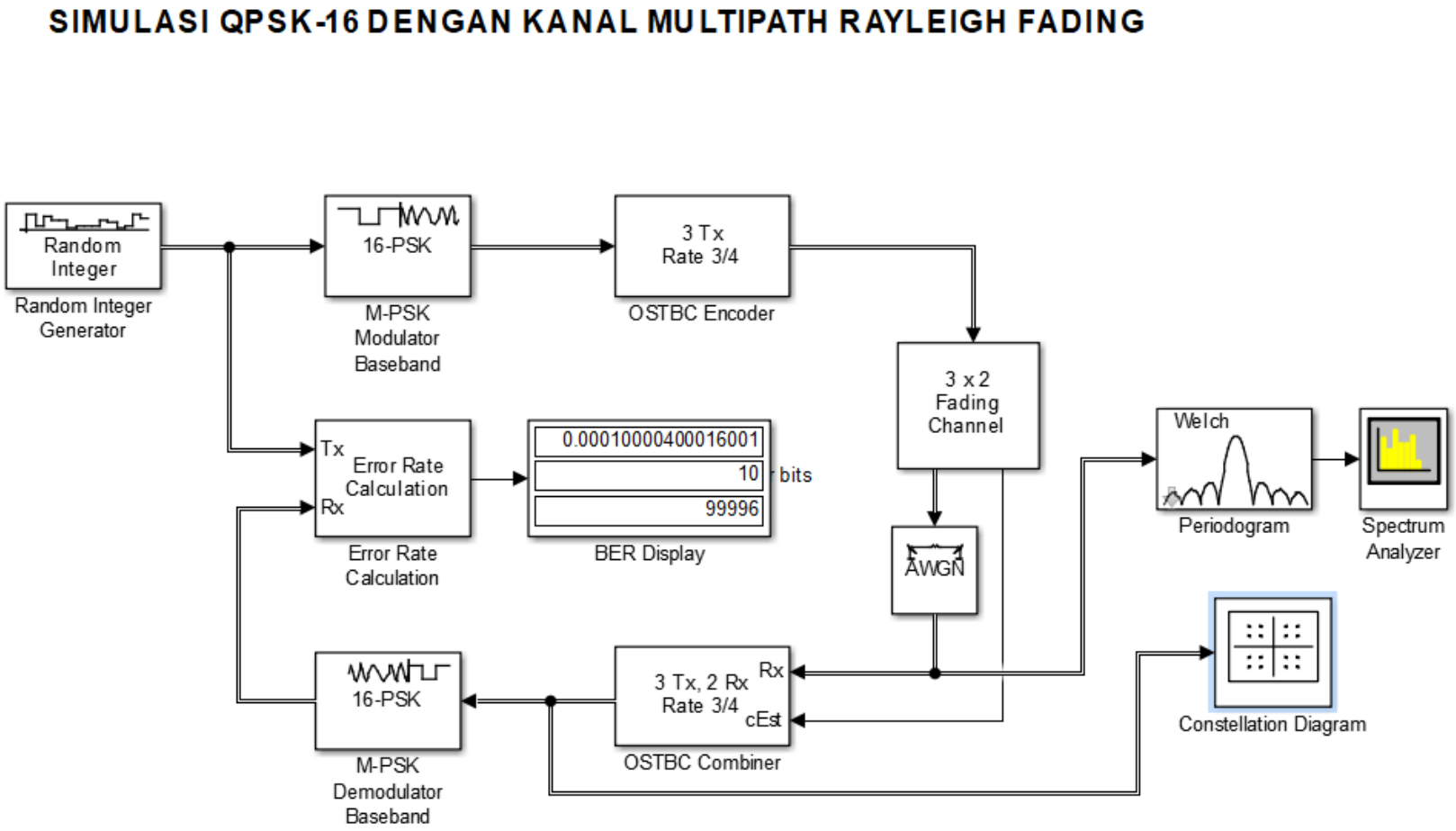
Gambar 4.1. Simulasi Modulasi BFSK



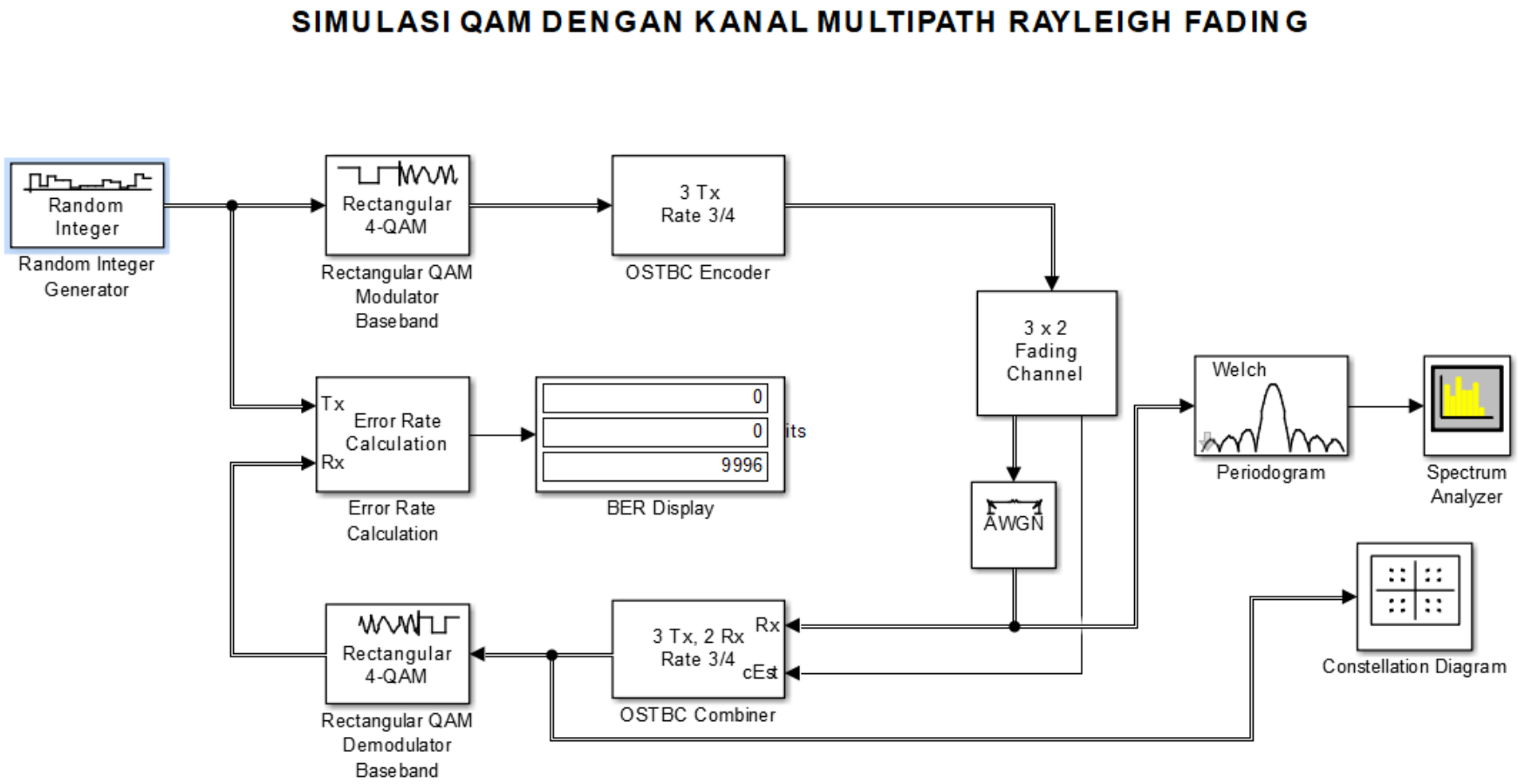
Gambar 4.2. Simulasi Modulasi BPSK



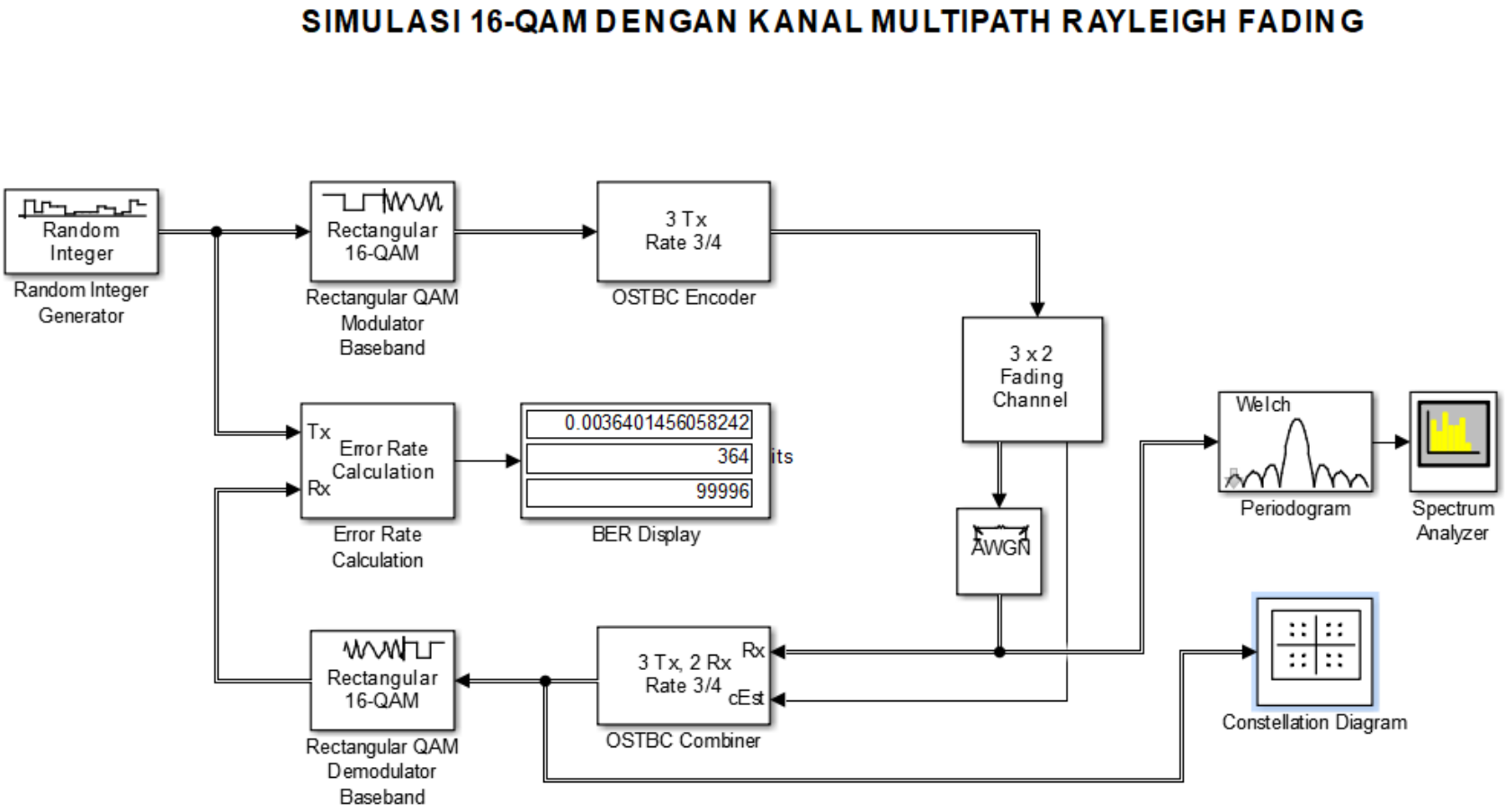
Gambar 4.3. Simulasi Modulasi QPSK



Gambar 4.4. Simulasi Modulasi 16-QPSK



Gambar 4.5. Simulasi Modulasi QAM



Gambar 4.6. Simulasi Modulasi 16-QAM

Secara umum, seluruh proses pembuatan simulasi dilakukan melalui tahap seperti yang dijabarkan pada metodologi penelitian. Proses identifikasi dilakukan melalui bentuk umum suatu sistem telekomunikasi. Mulai dari data yang akan dikirim, dikodekan melalui modulasi, dilewatkan melalui kanal komunikasi yang merupakan representasi dari berbagai jenis *noise* yang ada di suatu komunikasi (dalam simulasi ini dibuat permodelannya dengan menggunakan kanal AWGN yang merepresentasikan derau internal berupa *thermal noise* , kanal MIMO-OSTBC yang merepresentasikan pengiriman dan penerimaan banyak sinyal secara simultan, lalu bagian kanal *Multipath Rayleigh Fading* yang merepresentasikan keadaan *noise* berupa *multipath* suatu sinyal yang permodelannya menggunakan distribusi *Rayleigh* yang variabelnya dibuat acak.)

Simulasi akan dijalankan masing-masing sebanyak 10 kali dengan menggunakan jumlah sampel yang berbeda. Mulai dari 1.000.000 sampel sampai dengan 10.000.000 sampel. Sampel sejumlah ini dilakukan hanya pada simulasi yang peneliti uji dan ternyata sudah cukup untuk memenuhi kemungkinan bentuk sesungguhnya dari suatu sistem telekomunikasi, khususnya pada bagian modulasi. Lalu, untuk model simulasi sebelumnya yang banyak mengalami salah pemberian nilai parameter, maka peneliti hanya uji dengan sampel yang lebih sedikit. Pemilihan jumlah sampel ini lebih dikarenakan jumlah sampel harus memenuhi kriteria agar jumlah *error* didapatkan itu memenuhi pola yang tetap. Jika sampel terlalu kecil, maka kemungkinan terdapat salah perhitungan akan semakin besar, tetapi jika sampel terlalu banyak maka juga akan membuat proses simulasi tidak efisien karena memakan waktu yang lama.

Dalam penentuan nilai parameter-parameter yang tertera pada metodologi penelitian, peneliti merujuk pada referensi yang dapat ditemukan pada daftar pustaka. Banyak juga yang merupakan bagian dari pengaturan *default*.

4.2. Analisis Data Hasil Penelitian

Agar suatu simulasi merepresentasikan keadaan sesungguhnya di lapangan, maka model simulasi harus dibuat dengan sehati-hati mungkin dengan tetap mengedepankan *review* teradap model matematika yang telah ada. Hasil dari suatu simulasi akan sangat bergantung pada model matematika yang digunakan dan juga diterapkan dalam model sesungguhnya dalam blok-blok model simulasi yang bisa dijalankan dengan *realtime.* Maka untuk mendapatkan suatu model yang sesuai tersebut, peneliti melakukan beberapa kali pengujian terhadap model simulasi pada aplikasi Simulink® yang telah dibuat. Dengan melihat hasilnya dan membandingkan dengan hasil yang ada pada persamaan matematis, maka peneliti akhirnya dapat menentukan mana model yang paling sesuai dengan keadaan di lapangan dan menjadi gambaran perilaku dari variabel-variabel dan parameter-parameter yang peneliti teliti.

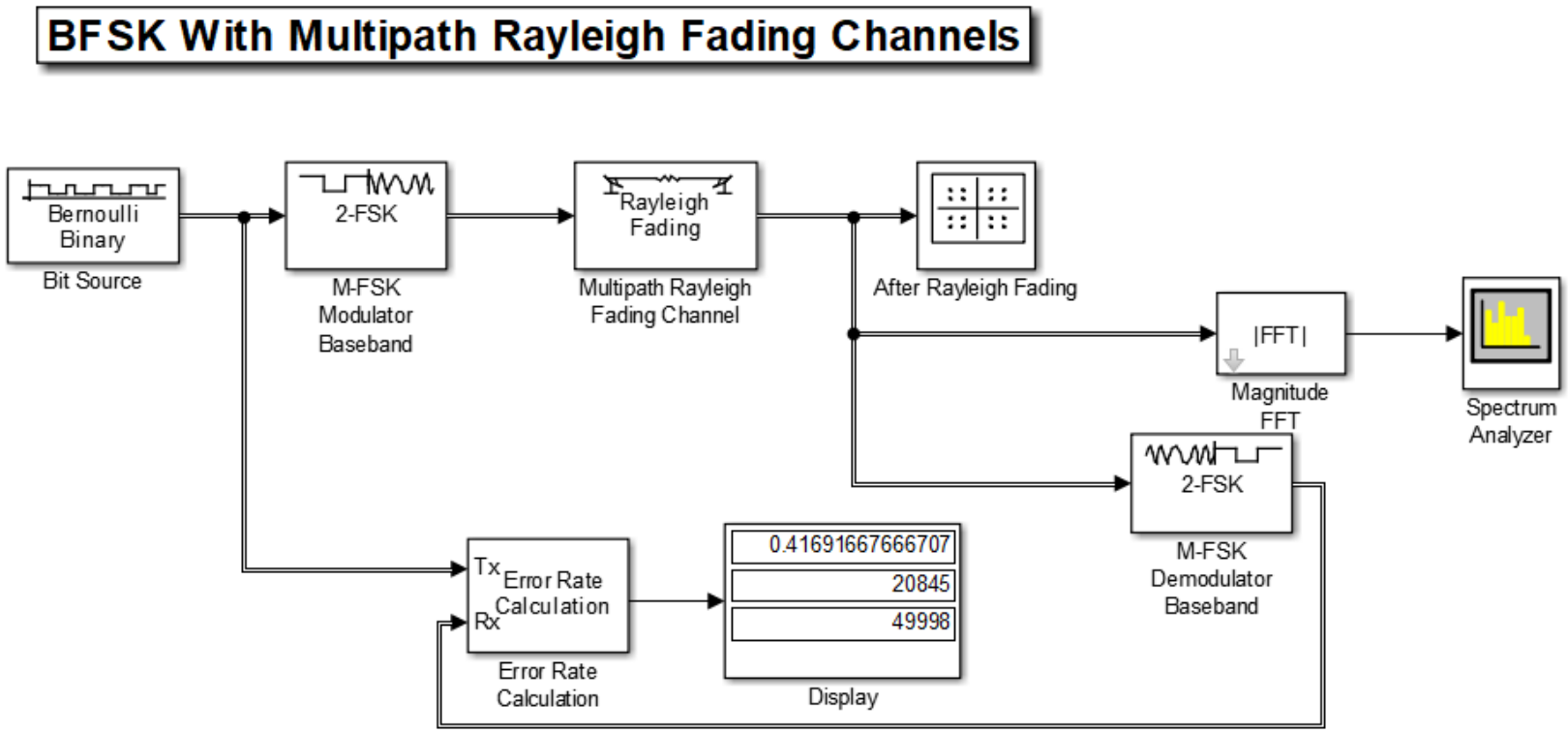
Berikut ini akan peneliti jabarkan model-model simulasi yang akan dibandingkan satu sama lainnya sehingga didapatkan model yang paling sesuai. Selain itu, pada bagian akhirnya, penulis juga tetap akan memberikan gambaran yaitu, di antara seluruh simulasi yang penulis buat, manakah simulasi yang menunjukkan nilai-nilai parameter yang paling efisien. Model simulasi ini peneliti buat berdasarkan contoh-contoh dari jurnal-jurnal yang sudah tertera dan juga dari contoh-contoh model yang ada pada aplikasi Simulink®. Peneliti di sini memberi catatan, bahwa antara satu model dengan model yang lain akan diuji dengan

jumlah sampel yang berbeda. Hal ini sangat diperlukan, karena jumlah sampel akan dibuat supaya benar-benar menggambarkan karakteristik parameter, terutama untuk keperluan pengujian model yaitu nilai parameter *Error Rate.*

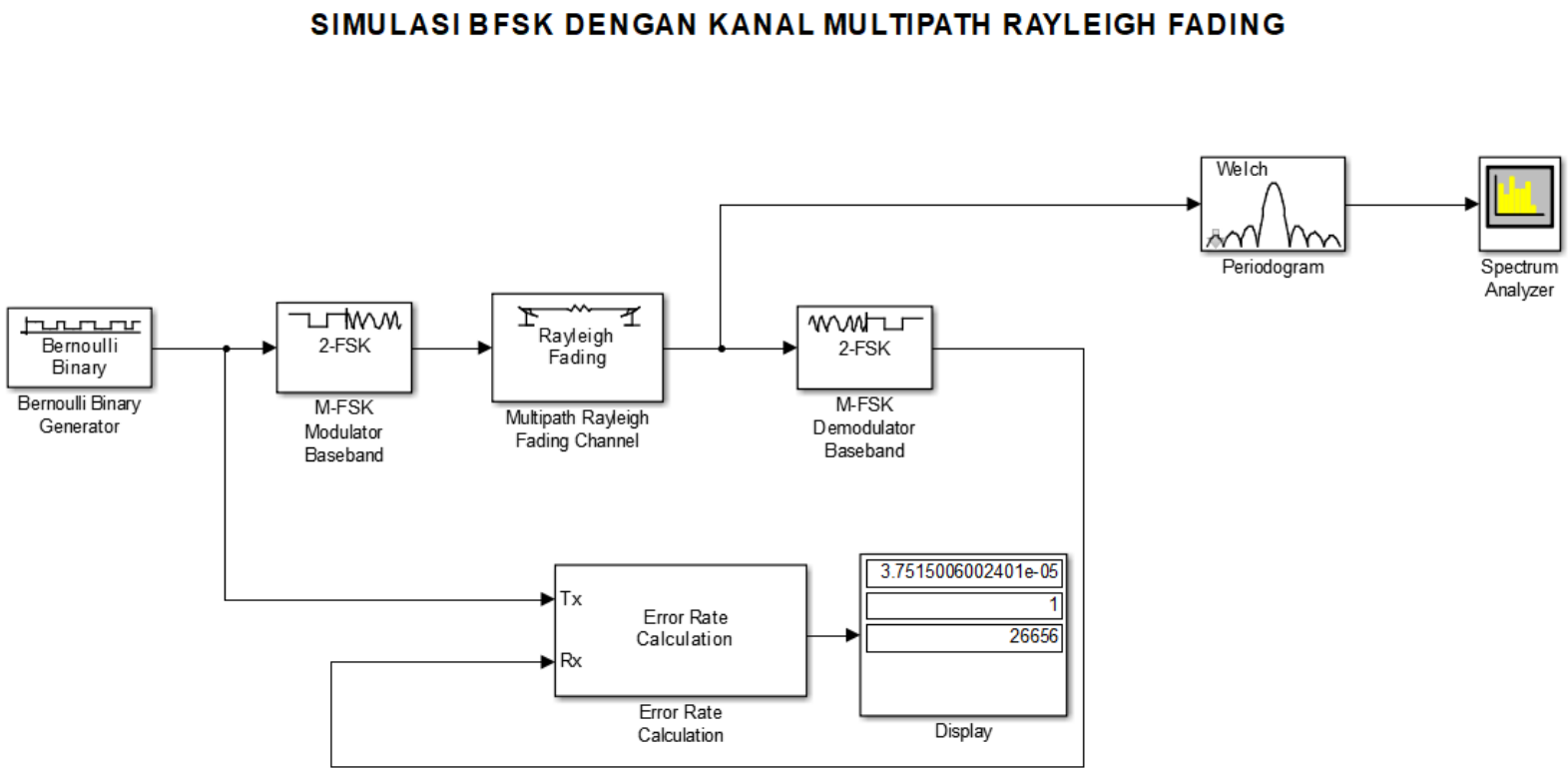
4.2.1. Model Simulasi BFSK

Dalam model simulasi untuk modulasi BFSK ini peneliti membuat dua buah simulasi sebagai perbandingan untuk menemukan mana simulasi yang sesuai. Parameter yang diuji dalam simulasi ini adalah nilai BER. Untuk itu, peneliti juga menyertakan tabel yang akan memberikan gambaran nilai BER dengan berbagai jumlah sampel uji.

Dalam dua model yang peneliti berikan berikut ini, blok yang digunakan tidaklah jauh berbeda. Namun, dua model ini akan sangat berbeda dengan model pada simulasi dari modulasi lainnya. Pembaca akan menemukan bahwa, model simulasi modulasi BFSK adalah satu-satunya model yang peneliti buat, namun tidak menggunakan OSTBC. Ini dikarenakan peneliti justru menemukan bahwa nilai BER yang dihasilkan jika dengan menggunakan OSTBC justru jauh lebih besar ketimbang tidak. Nilai BER yang terlalu besar ini justru tidak merepresentasikan keadaan sesungguhnya dari suatu sistem BFSK, sehingga peneliti meniadakannya. Adapun untuk nilai parameter dan juga skema bloknya sama. Termasuk dalam pola pemberian *noise,* perhitungan BER, dan perhitungan PSD.



Gambar 4.7. Model Simulasi Modulasi BFSK Pertama



Gambar 4.8. Model Simulasi Modulasi BFSK Kedua

Tabel 4.1 menunjukkan perbedaan nilai parameter-parameter yang peneliti gunakan pada dua model simulasi model BFSK tersebut.

Tabel 4.1. Perbedaan Nilai Parameter Model Simulasi BFSK Pertama dan Kedua

No.	Blok Model & Parameter		Nilai Parameter Model Simulasi Pertama	Nilai Parameter Model Simulasi Kedua
	Blok Model	Parameter		
1	Bernoulli Binary	Sample time	1/bitRate (bitRate = 500000)	1
		Frame based output	Yes	No.
		Sample per frame	bitsPerFrame (bitsPerFrame = 200)	No
		Output data type	Boolean	Double
2	M-FSK Modulator	Frequency separation (Hz)	200	6
		Sample per symbol	10	17
3	Rayleigh fading channel	Maximum Doppler shift	200	0.1
		Doppler spectrum type	Jakes	Bell
		Bell Coefficient	No	50
		Discrete delay vector (s)	[0 4e-06 8e-06 1.2e-05]	0
		Average path gain vector (dB)	[-0 -3 -6 -9]	0

4	Error Rate Calculation	Receive delay	2	0

Perbedaan nilai parameter-parameter tersebut juga mempengaruhi nilai parameter yang peneliti uji, yaitu BER. Berikut ini peneliti jabarkan melalui Tabel 4.2 yaitu nilai BER yang peneliti dapatkan melalui pengujian simulasi.

Tabel 4.2. Hasil Pengujian Nilai BER Pada Kedua Model Simulasi BFSK

Percobaan Ke	BFSK					
	Model Simulasi Ke-1			Model Simulasi Ke-2		
	JS	JE	PE	JS	JE	PE
1	50,000	20845	4.17E-01	1,000,000	19	1.90E-05
2	100,000	41971	4.20E-01	2,000,000	39	1.95E-05
3	150,000	62515	4.17E-01	3,000,000	39	1.30E-05
4	200,000	84347	4.22E-01	4,000,000	68	1.70E-05
5	250,000	104605	4.18E-01	5,000,000	87	1.74E-05
6	300,000	124994	4.17E-01	6,000,000	95	1.58E-05
7	350,000	145828	4.17E-01	7,000,000	95	1.36E-05
8	400,000	167239	4.18E-01	8,000,000	121	1.51E-05
9	450,000	187363	4.16E-01	9,000,000	143	1.59E-05
10	500,000	209037	4.18E-01	10,000,000	176	1.76E-05
Rerata PE		4.18E-01			1.64E-05	

Keterangan:

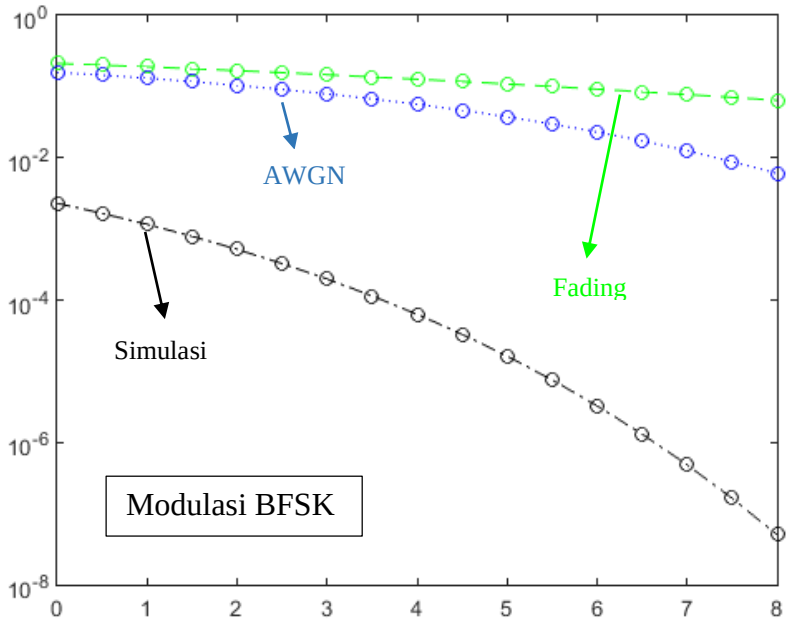
a. JS : Jumlah Sampel

b. JE : Jumlah *Error*

c. PE : Persentase *Error*

Dapat dilihat bahwa nilai rerata persentase *error* yang didapatkan pada kedua model simulasi sangat signifikan. Percobaan-percobaan dini pada perancangan model simulasi pertama yang menghasilkan nilai rerata *error* yang sangat besar ini, yaitu 4.1e-1. Peningkatan yang signifikan ini dikarenakan banyak perbedaan pada parameternya perbedaan pada kanal *Multipath Rayleigh Fading*-nya, sehingga pada model kedua nilai BER menjadi 2.97e-5.

Pada model simulasi yang ada pada Gambar 4.1, Gambar 4.2, Gambar 4.3, Gambar 4.4, Gambar 4.5, dan Gambar 4.6, peneliti memang tidak bermaksud membandingkan seutuhnya modulasi frekuensi dengan modulasi *phase* dan level sinyal. Hal ini dikarenakan modulasi BFSK sudah jarang digunakan karena borosnya *bandwidth* yang diperlukan. Namun, alasan mengapa peneliti tetap memasukkan modulasi BFSK dalam penelitian kali ini yaitu supaya menjadi perbandingan umum terhadap seluruh modulasi lainnya, tidak secara spesifik, hanya secara gambaran umum. Gambar 4.9 menunjukkan nilai BER pada skema kanal AWGN dan kanal *fading* yang merupakan nilai teoretis dengan perbandingan kurva BER dari hasil simulasi. Kurva diambil dengan rentang nilai Eb/No. 0.5. Skrip *m-file* Matlab® dari kurva tersebut peneliti sertakan pada lampiran.



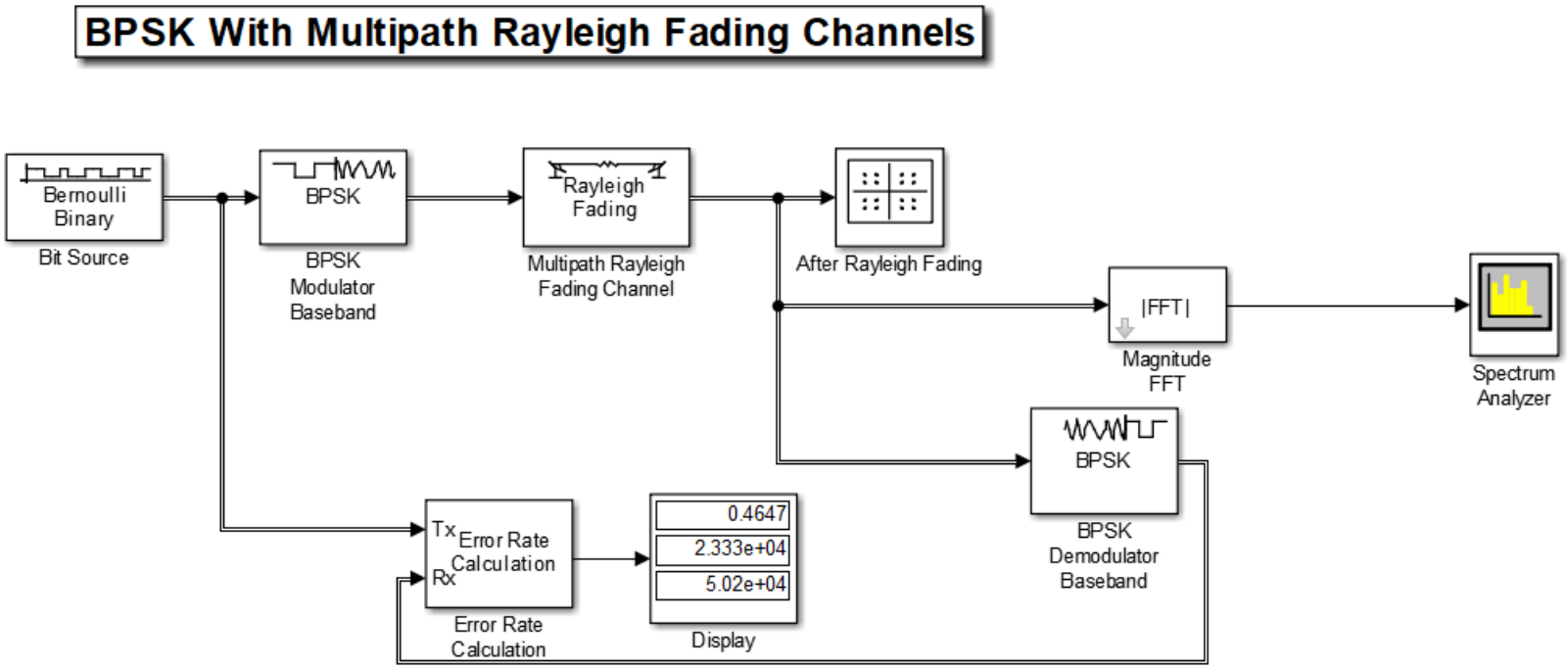
Gambar 4.9. Nilai Teoretis BER Modulasi BFSK Pada Kanal AWGN dan *Fading* Dengan Hasil Simulasi

4.2.2. Model Simulasi BPSK

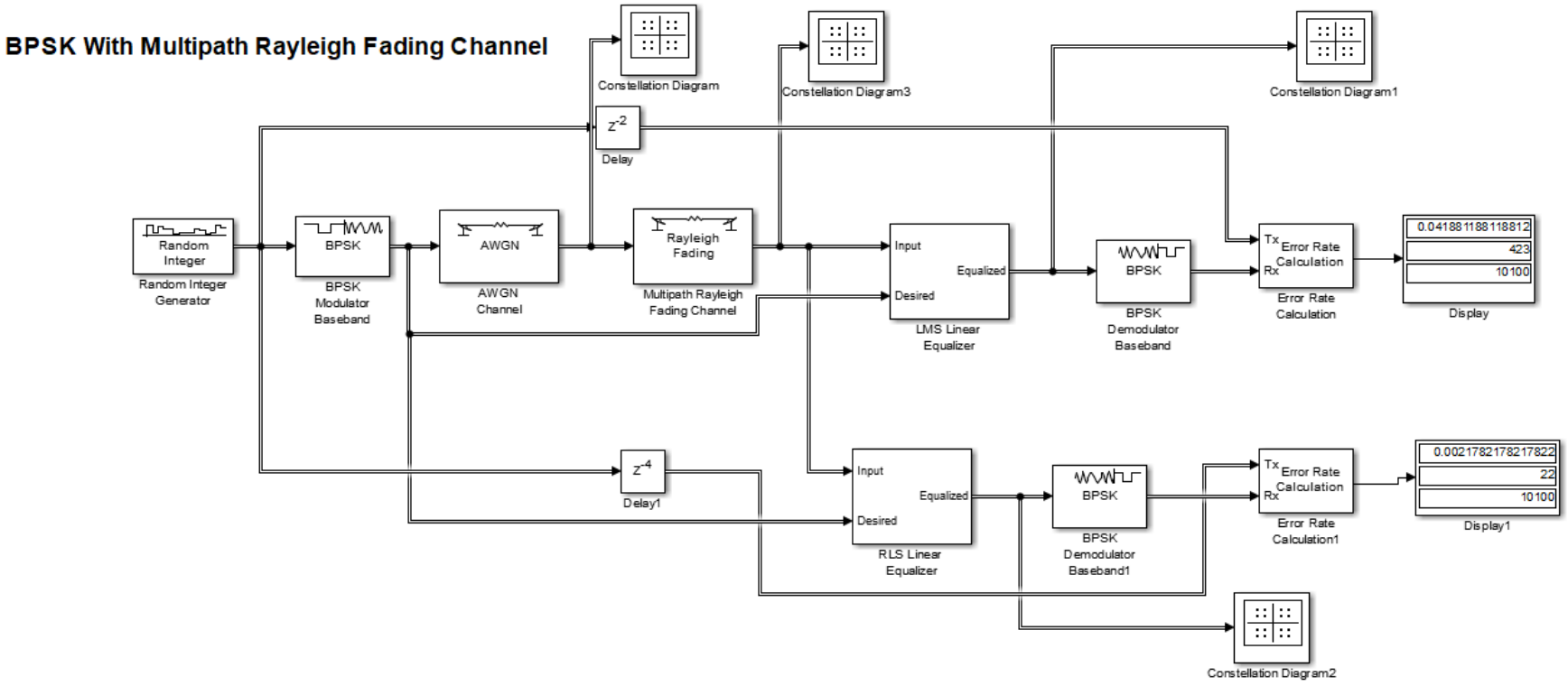
Tidak seperti pada model simulasi BFSK, dalam modulasi BPSK mempunyai konstelasi sinyal. Ini memungkinkan peneliti untuk menggunakan beberapa blok *equalizer* dan *filter* demi mendapatkan nilai BER yang diinginkan. Berikut ini peneliti jabarkan model-model yang peneliti buat berkenaan dengan modulasi BPSK. Peneliti juga menyertakan data hasil pengujian dari model yang peneliti uji dalam bentuk tabel.

Model pada Gambar 4.10 dibuat sederhana seperti pada model simulasi pertama BFSK. Namun, pada Gambar 4.11 terdapat dua model simulasi dalam satu model keseluruhan. Dua model ini menggunakan masing-masing *equalizer* dan *filter* yang berbeda, yaitu *LMS Equalizer* dan *RLS Equalizer*. Sedangkan untuk model keempat pada Gambar 4.12 peneliti menggunakan blok OSTBC. Di

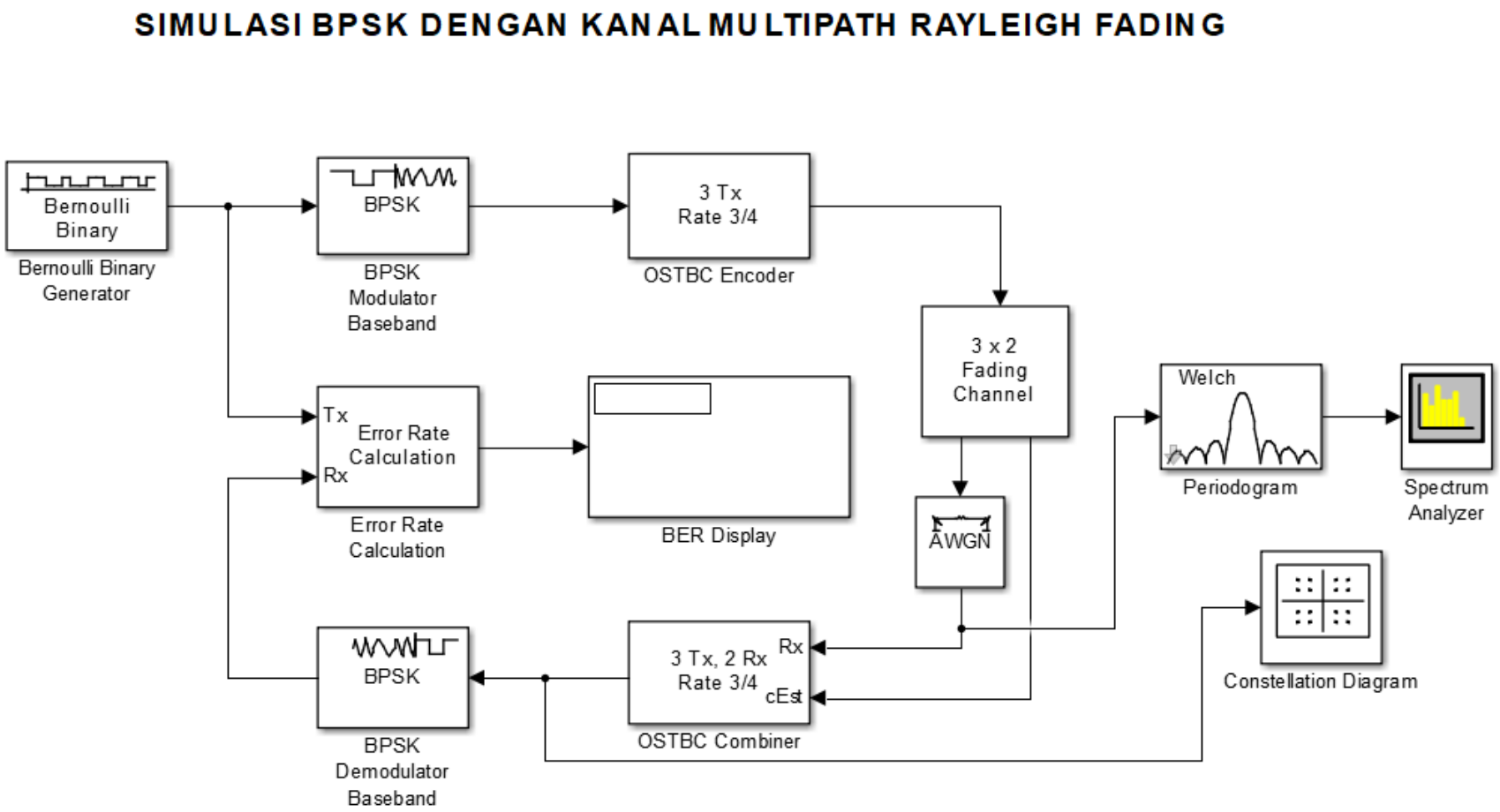
setiap simulasi tersebut, peneliti juga menyertakan diagram konstelasinya. Pada Tabel 4.3 peneliti juga memberikan hasil simulasi berupa data hasil penelitian. Sedangkan diagram konstelasinya terdapat pada Gambar 4.13.



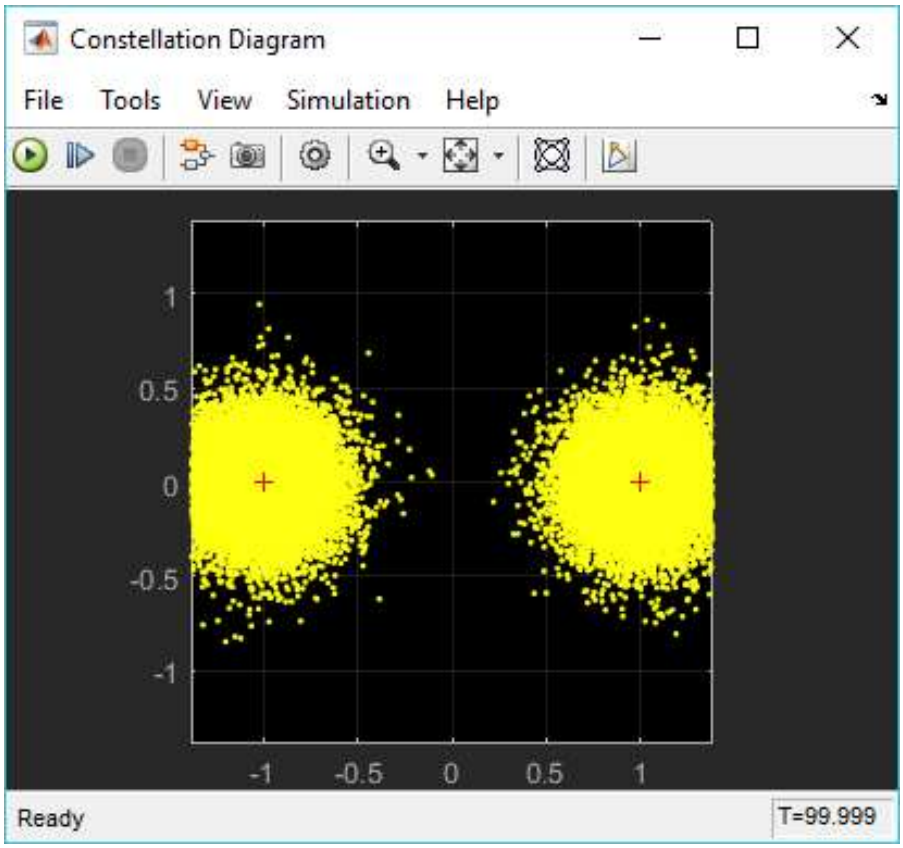
Gambar 4.10. Model Simulasi Modulasi BPSK Pertama



Gambar 4.11. Model Simulasi Modulasi BPSK Kedua dan Ketiga



Gambar 4.12. Model Simulasi Modulasi Keempat



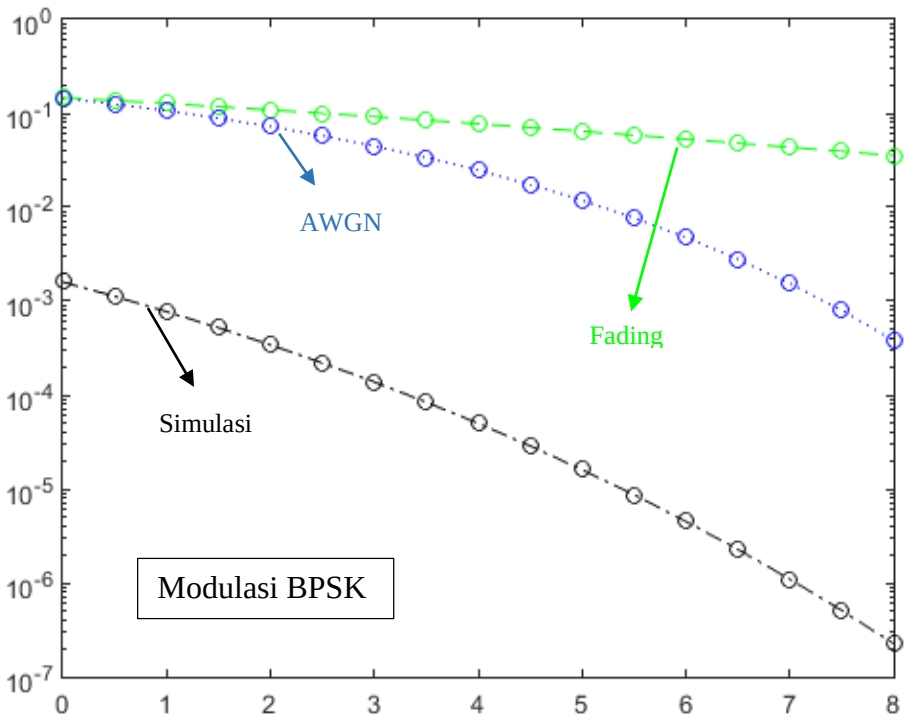
Gambar 4.13. Diagram Konstelasi Hasil Simulasi Model Keempat

Tabel 4.3. Hasil Pengujian Nilai BER Pada Keempat Model Simulasi BPSK

Percobaan Ke	BPSK											
	Model Simulasi Ke-1			Model Simulasi Ke-2 (LMS)			Model Simulasi Ke-3 (RLS)			Model Simulasi Ke-4 (OSTBC)		
	JS	JE	PE	JS	JE	PE	JS	JE	PE	JS	JE	PE
1	50,000	22813	4.56E-01	10,000	423	4.23E-02	10,000	22	2.20E-03	1,000,000	26	2.60E-05
2	100,000	49816	4.98E-01	20,000	1317	6.59E-02	20,000	35	1.75E-03	2,000,000	48	2.40E-05
3	150,000	74289	4.95E-01	30,000	2330	7.77E-02	30,000	109	3.63E-03	3,000,000	55	1.83E-05
4	200,000	101393	5.07E-01	40,000	3074	7.69E-02	40,000	157	3.93E-03	4,000,000	131	3.28E-05
5	250,000	126522	5.06E-01	50,000	3869	7.74E-02	50,000	168	3.36E-03	5,000,000	145	2.90E-05
6	300,000	153727	5.12E-01	60,000	4494	7.49E-02	60,000	223	3.72E-03	6,000,000	184	3.07E-05
7	350,000	177660	5.08E-01	70,000	5768	8.24E-02	70,000	253	3.61E-03	7,000,000	190	2.71E-05
8	400,000	202191	5.05E-01	80,000	6464	8.08E-02	80,000	270	3.38E-03	8,000,000	196	2.45E-05
9	450,000	226640	5.04E-01	90,000	7539	8.38E-02	90,000	305	3.39E-03	9,000,000	197	2.19E-05
10	500,000	250674	5.01E-01	100,000	8409	8.41E-02	100,000	330	3.30E-03	10,000,000	228	2.28E-05
Rerata PE		4.99E-01			7.46E-02			3.23E-03			2.57E-05	

Sebaran titik sinyal pada diagram konstelasi menunjukkan performa yang baik. Ini artinya, dalam model simulasi yang dibuat sudah sesuai dengan kriteria. Meskipun nilai BER tidak sesuai dengan standar 10e-6, yaitu 2.57e-5, tetapi simulasi yang ada pada Gambar 4.10, Gambar 4.11, dan Gambar 4.12 masih menggunakan nilai Eb/No = 5. Menaikkan nilai Eb/No menjadi, misalnya, 10 akan secara signifikan memberikan nilai BER jauh lebih kecil.

Nilai 2.57e-5 itu sangat signifikan dibandingkan dengan model simulasi yang lainnya pada modulasi yang sama. Misalnya, pada model simulasi pertama, jumlah rerata *error*nya yaitu 5e-1. Setengah dari data yang ditransfer melalui *Bernoilli Binary Generator* mengalami kesalahan dalam pengirimannya. Sedangkan pada model simulasi kedua dan ketiga yang menggunakan LMS Equalizer dan juga RLS Equalizer jumlah rerata *error*nya masing-masing yaitu 7.46e-2 dan 3.23e-3. Secara teori, sebenarnya nilai ini sudah sesuai. Gambar 4.14 menunjukkan nilai BER pada skema kanal AWGN dan kanal *fading* yang merupakan nilai teoretis dengan perbandingan kurva BER dari hasil simulasi. Kurva diambil dengan rentang nilai Eb/No. 0.5. Skrip *m-file* Matlab® dari kurva tersebut peneliti sertakan pada lampiran.



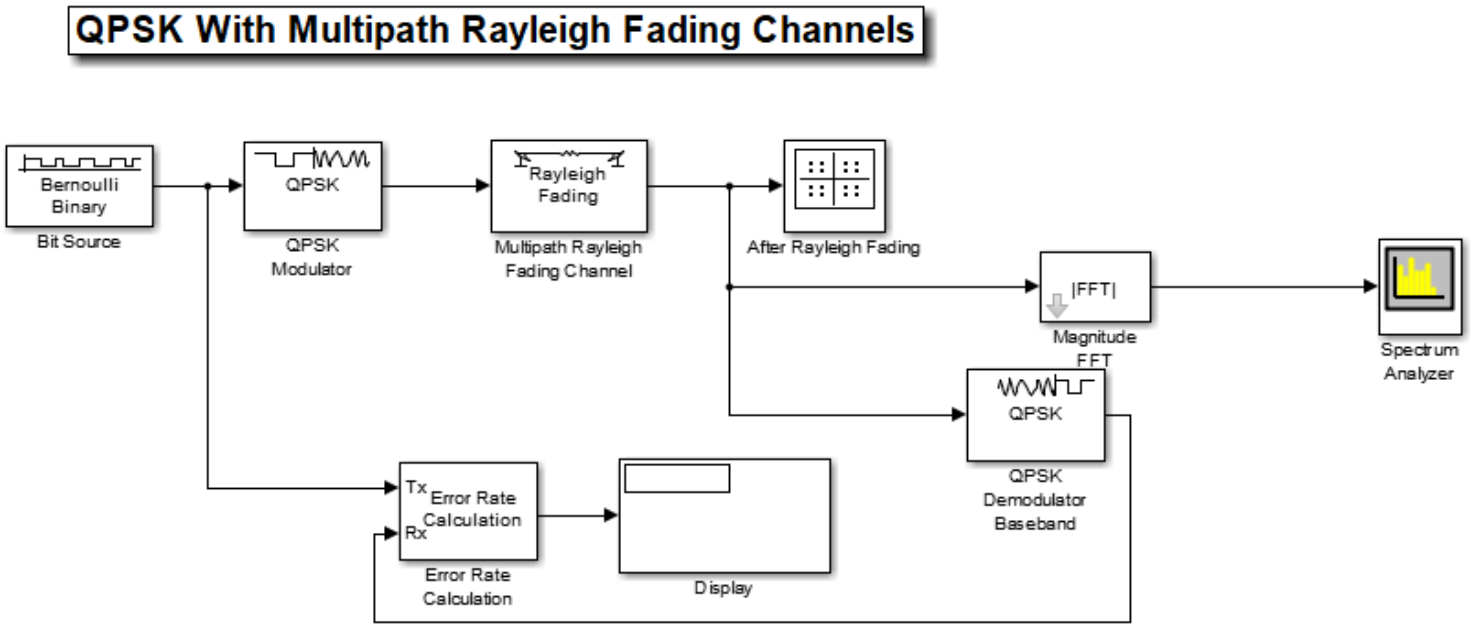
Gambar 4.14. Nilai Teoretis BER Modulasi BPSK Pada Kanal AWGN dan *Fading* Dengan Hasil Simulasi

Nilai BER 6.41e-2 ini ternyata berbeda jauh dengan hasil uji pada model keempat yaitu 2.57e-5. Tetapi, tidak berbeda jauh dengan model kedua yaitu 7.46e-2 dan model ketiga 3.23e-3. Perbedaan nilai ini dikarenakan perlakuan parameter dan bentuk model yang berbeda. Pada kenyataannya di lapangan memang sering ditemukan perbedaan.

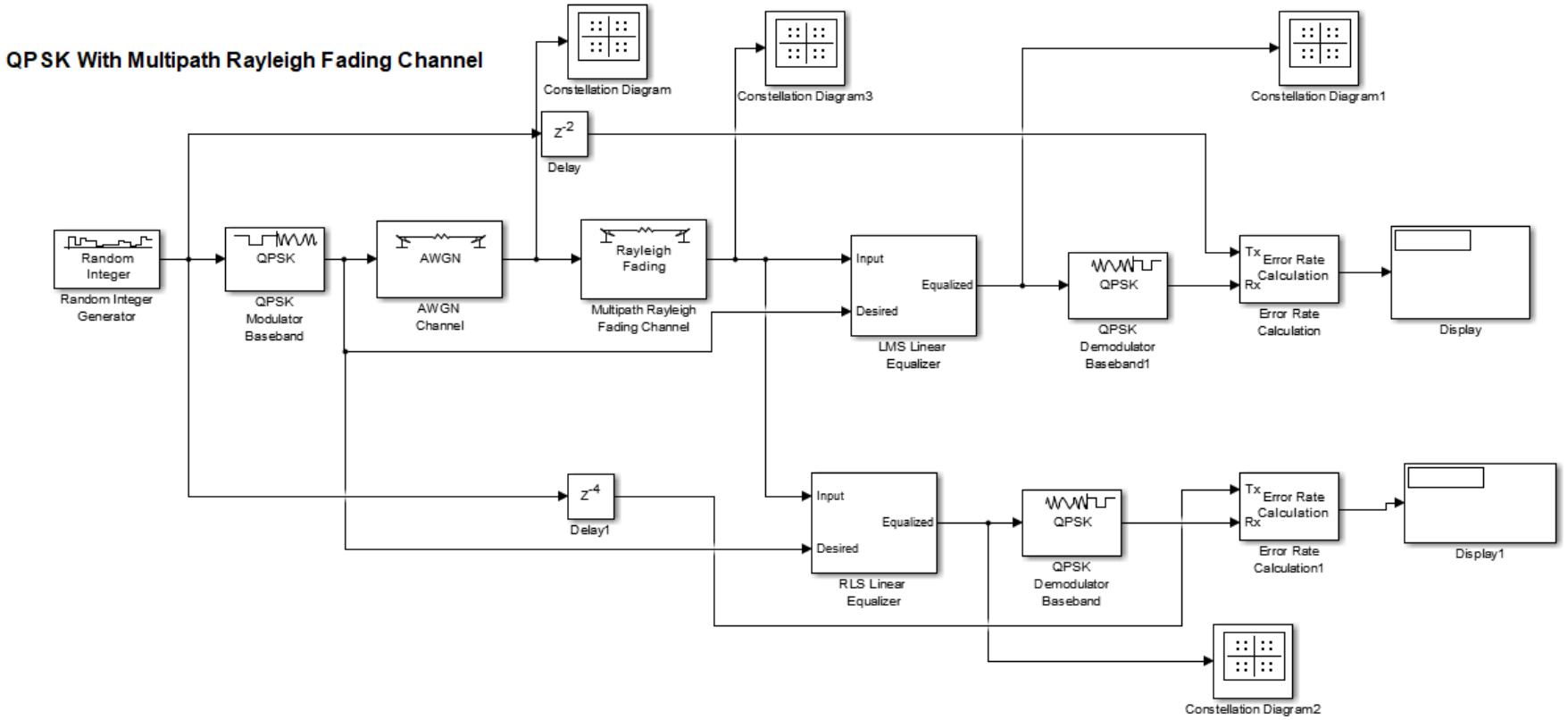
4.2.3. Model Simulasi QPSK

Dalam model simulasi modulasi QPSK peneliti membuat empat buah model yang masing-masingnya akan diuji. Sama seperti simulasi pada BPSK, dalam model ini, model simulasi pertama yang tertera pada Gambar 4.15 dibuat secara langsung, tanpa menggunakan *equalizer* atau pun *filter*. Lalu, dalam model

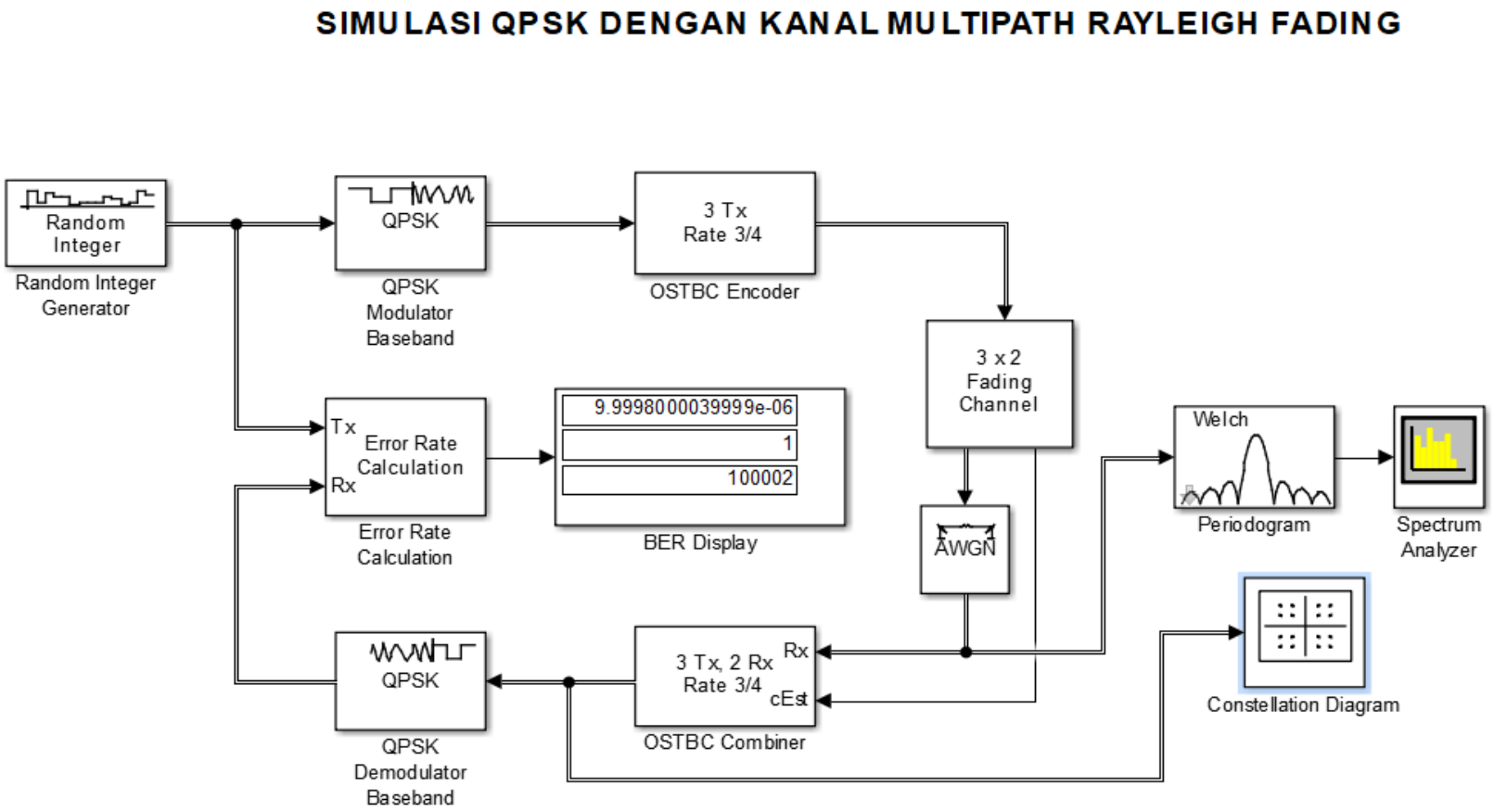
simulasi kedua dan ketiga yang tertera pada Gambar 4.16, peneliti menggunakan masing-masing *equalizer* dan *filter*, yaitu *LMS Equalizer* dan *RLS Equalizer*. Selanjutnya pada Gambar 4.17 peneliti menggunakan OSTBC. Peneliti juga menyertakan hasil pengujian model simulasi pada Tabel 4.4. Peneliti juga menyertakan diagram konstelasi sinyalnya sebagai gambaran umum. Sedangkan diagram konstelasinya terpadat pada Gambar 4.18.



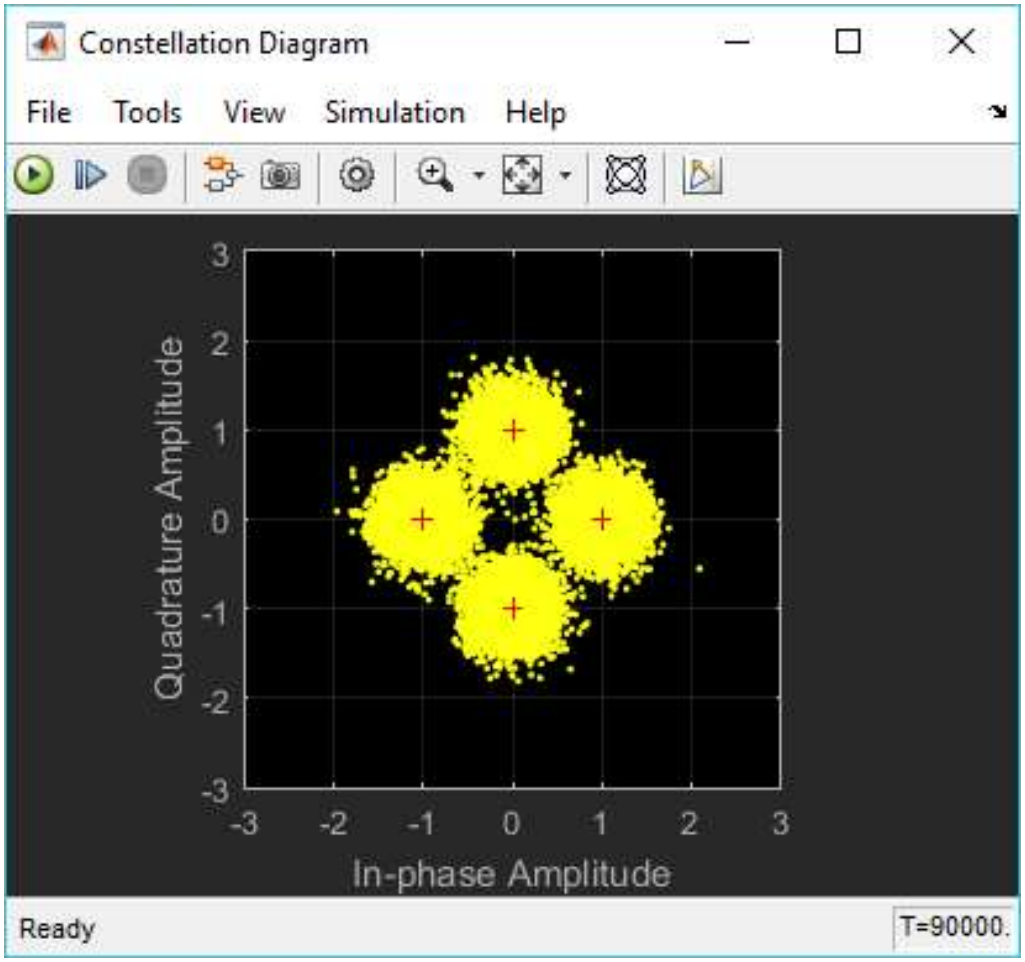
Gambar 4.15. Model Simulasi Modulasi QPSK Pertama



Gambar 4.16. Model Simulasi Modulasi QPSK Kedua dan Ketiga



Gambar 4.17. Model Simulasi Modulasi QPSK Keempat

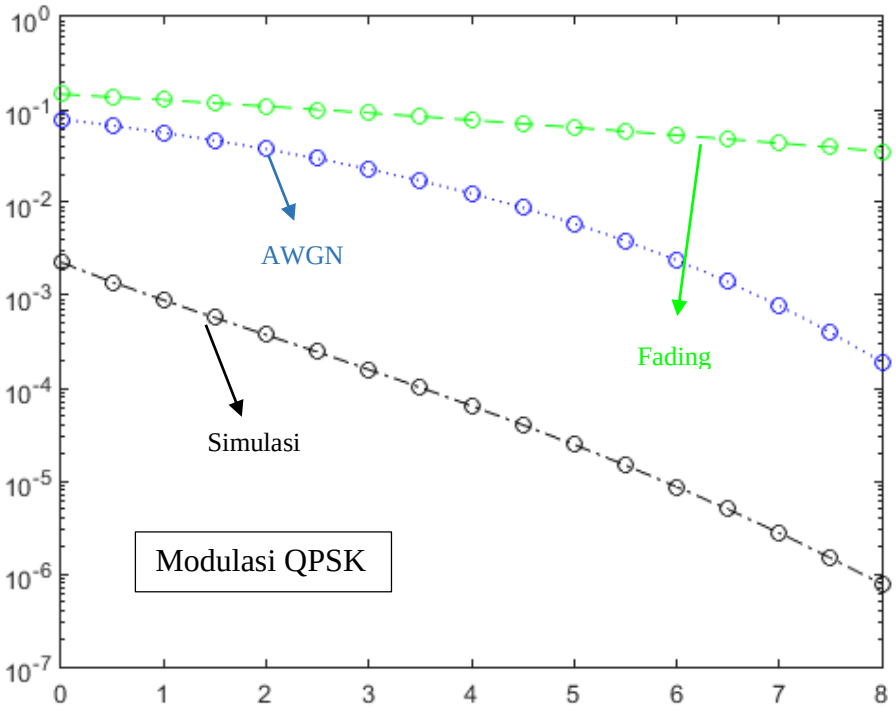


Gambar 4.18. Diagram Konstelasi Hasil Simulasi Model Keempat

Tabel 4.4. Hasil Pengujian Nilai BER Pada Keempat Model Simulasi QPSK

Percobaan Ke	QPSK											
	Model Simulasi Ke-1			Model Simulasi Ke-2 (LMS)			Model Simulasi Ke-3 (RLS)			Model Simulasi Ke-4 (OSTBC)		
	JS	JE	PE	JS	JE	PE	JS	JE	PE	JS	JE	PE
1	50,000	23,103	4.62E-01	10,000	1696	1.70E-01	10,000	114	1.14E-02	1,000,000	2750	2.75E-03
2	100,000	50,030	5.00E-01	20,000	4542	2.27E-01	20,000	472	2.36E-02	2,000,000	5259	2.63E-03
3	150,000	74,566	4.97E-01	30,000	7552	2.52E-01	30,000	765	2.55E-02	3,000,000	7744	2.58E-03
4	200,000	99,814	4.99E-01	40,000	10337	2.58E-01	40,000	955	2.39E-02	4,000,000	10659	2.66E-03
5	250,000	125,670	5.03E-01	50,000	12801	2.56E-01	50,000	1073	2.15E-02	5,000,000	13252	2.65E-03
6	300,000	151,667	5.06E-01	60,000	14980	2.50E-01	60,000	1326	2.21E-02	6,000,000	15372	2.56E-03
7	350,000	175,647	5.02E-01	70,000	18165	2.60E-01	70,000	1501	2.14E-02	7,000,000	17995	2.57E-03
8	400,000	201,464	5.04E-01	80,000	20220	2.53E-01	80,000	1603	2.00E-02	8,000,000	20585	2.57E-03
9	450,000	225,950	5.02E-01	90,000	23206	2.58E-01	90,000	1847	2.05E-02	9,000,000	22810	2.53E-03
10	500,000	250,709	5.01E-01	100,000	26041	2.60E-01	100,000	2038	2.04E-02	10,000,000	25750	2.58E-03
Rerata PE	4.98E-01			2.44E-01			2.10E-02			2.61E-03		

Model simulasi pertama menghasilkan BER yang sangat besar, yaitu 4.98e-1. Berbeda dengan model simulasi kedua dan ketiga, yaitu masing-masing 2.44e-1 dan 2.1e-2. Sedangkan nilai BER dari model simulasi keempat yaitu 2.61e-3. Nilai yang setidaknya memenuhi nilai BER berdasarkan teori yaitu pada model simulasi ketiga dan keempat. Gambar 4.19 menunjukkan nilai BER pada skema kanal AWGN dan kanal *fading* yang merupakan nilai teoretis dengan perbandingan kurva BER dari hasil simulasi. Kurva diambil dengan rentang nilai Eb/No. 0.5. Skrip *m-file* Matlab® dari kurva tersebut peneliti sertakan pada lampiran.

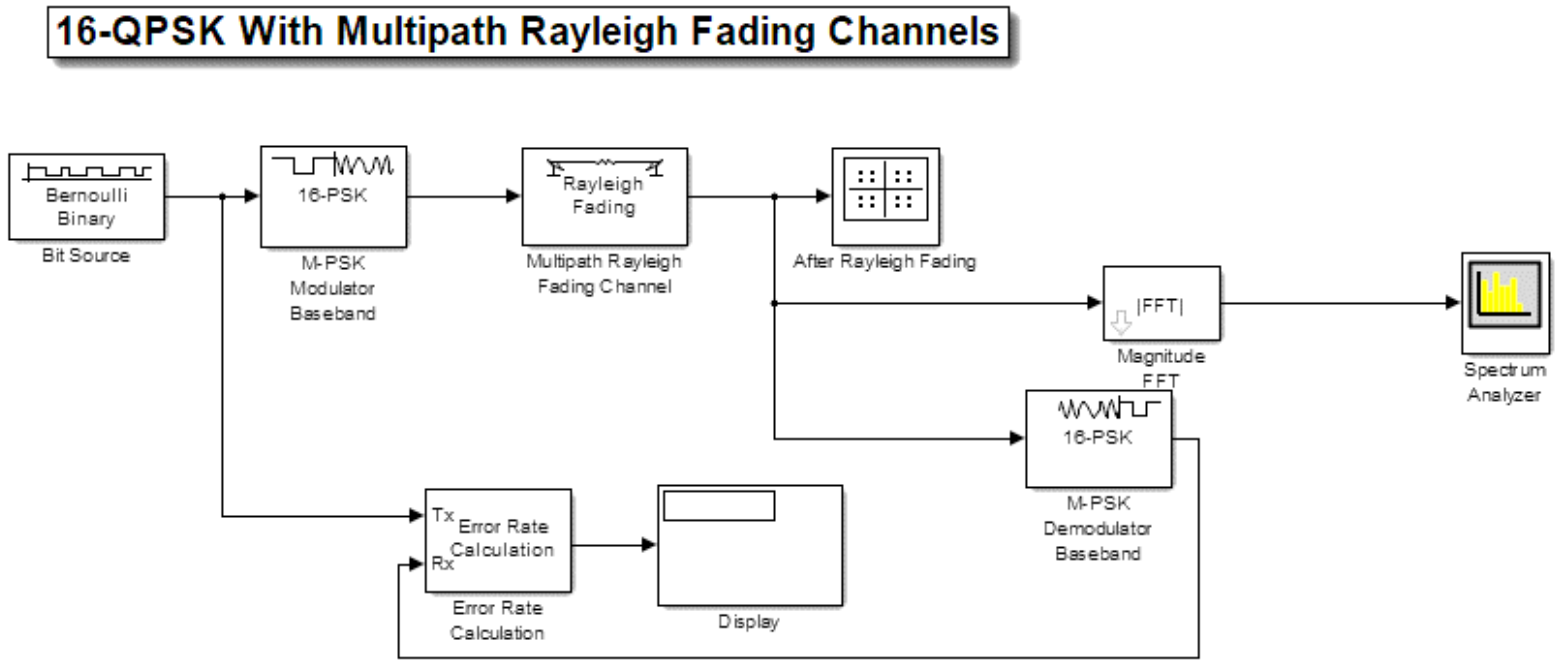


Gambar 4.19. Nilai Teoretis BER Modulasi QPSK Pada Kanal AWGN dan *Fading* Dengan Hasil Simulasi

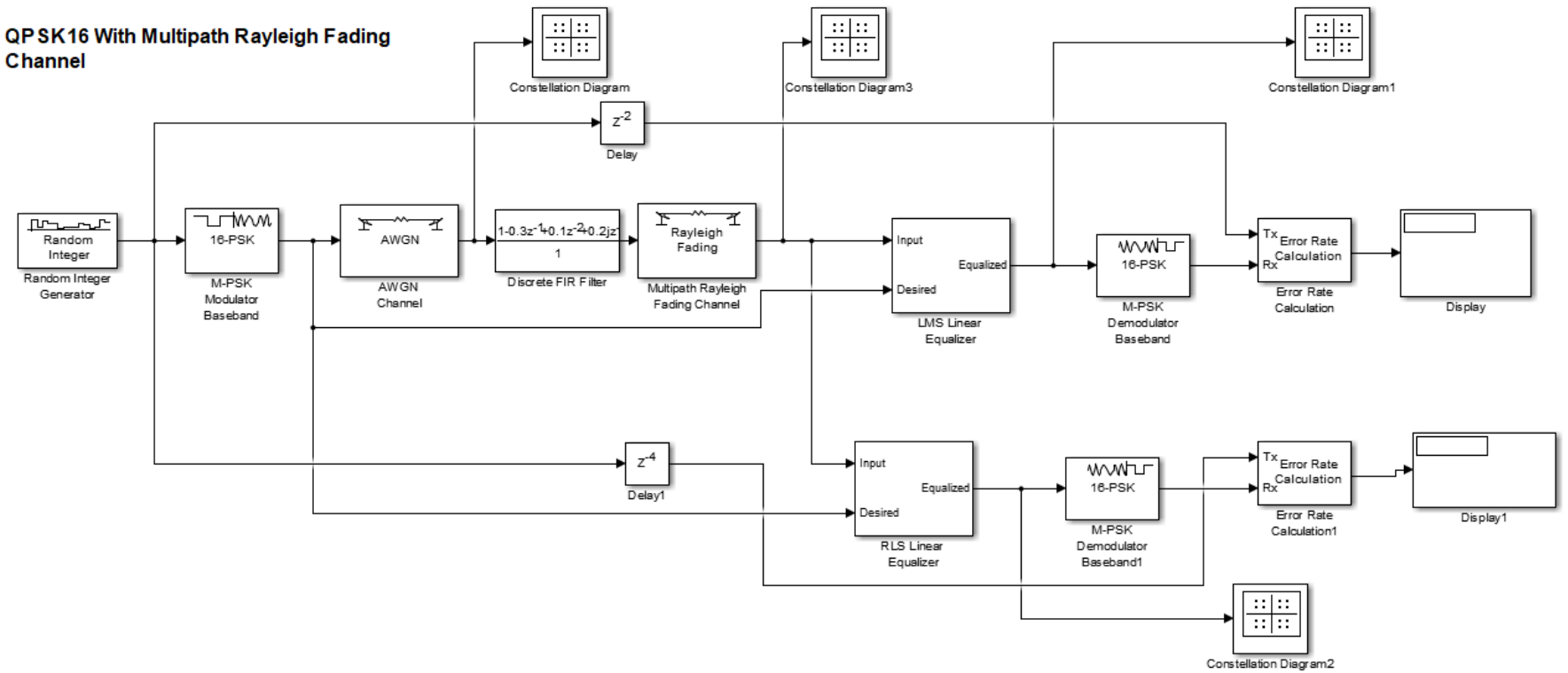
4.2.4. Model Simulasi 16-QPSK

Dalam model simulasi 16-QPSK juga dibuat sebisa mungkin memiliki skema kanal dan *noise* yang sama dengan model simulasi yang sudah dibuat sebelumnya. Tujuannya agar dalam perbandingan keseluruhan didapatkan perilaku parameter sinyal pada berbagai modulasi yang jelas.

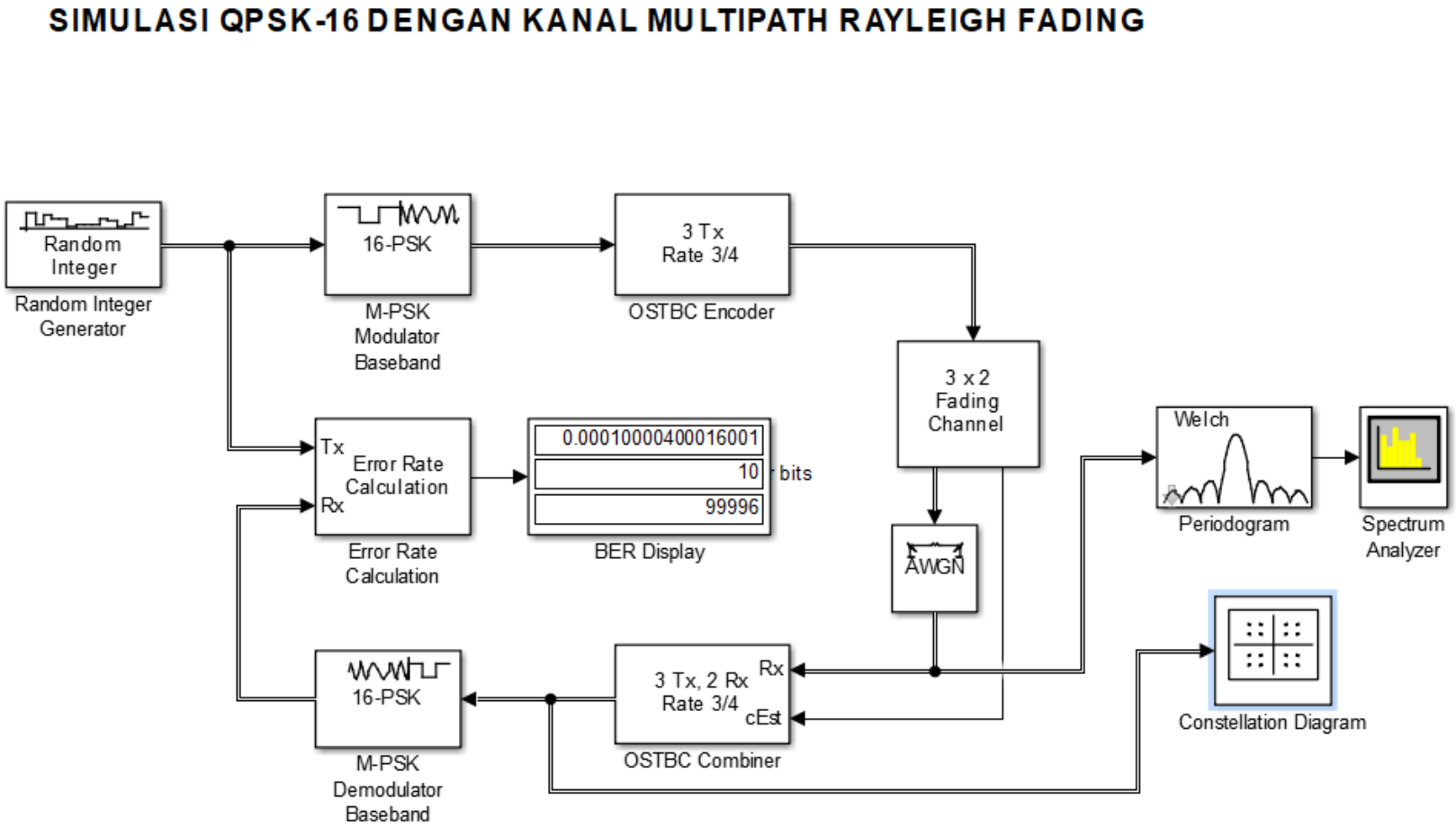
Dalam model simulasi pertama yang tertera pada Gambar 4.20 dibuat secara langsung, tanpa menggunakan *equalizer* atau pun *filter*. Lalu, dalam model simulasi kedua dan ketiga yang tertera pada Gambar 4.21, peneliti menggunakan masing-masing *equalizer* dan *filter*, yaitu *LMS Equalizer* dan *RLS Equalizer*. Selanjutnya pada Gambar 4.22 peneliti menggunakan OSTBC. Peneliti juga menyertakan hasil pengujian model simulasi pada Tabel 4.5. Sedangkan diagram konstelasinya terdapat pada Gambar 4.23.



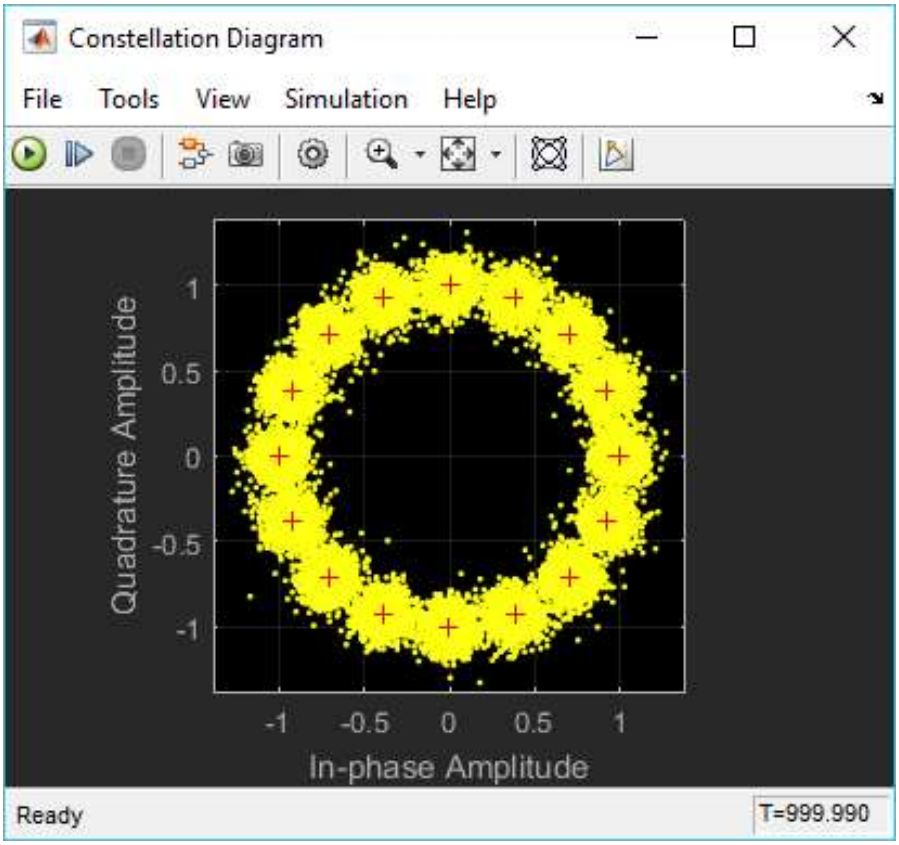
Gambar 4.20. Model Simulasi Modulasi 16-QPSK Pertama



Gambar 4.21. Model Simulasi Modulasi 16-QPSK Kedua dan Ketiga



Gambar 4.22. Model Simulasi Modulasi 16-QPSK Keempat

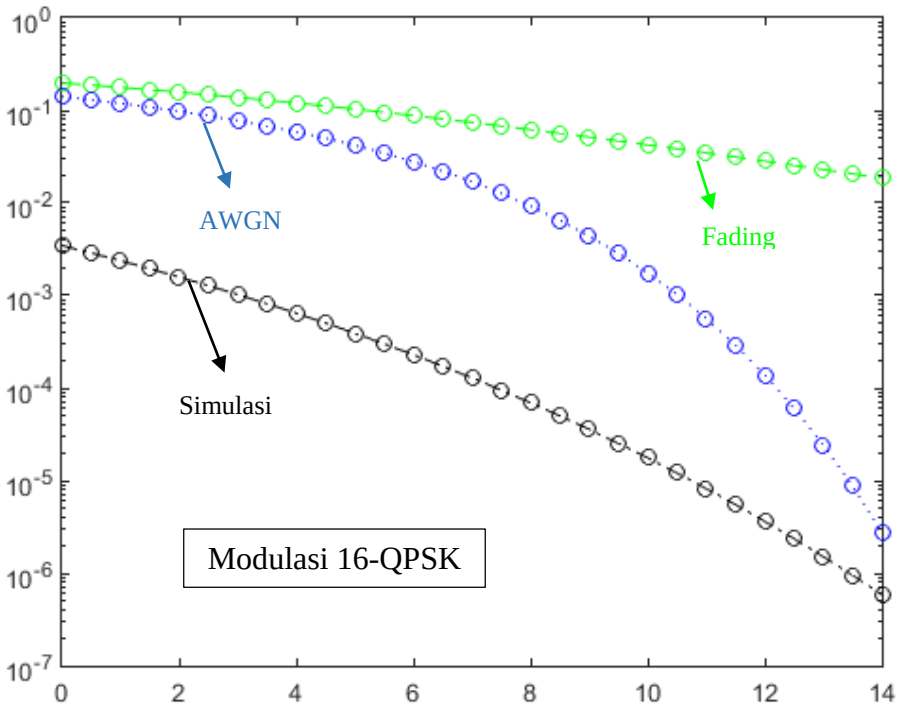


Gambar 4.23. Diagram Konstelasi Hasil Simulasi Model Keempat

Tabel 4.5. Hasil Pengujian Nilai BER Pada Keempat Model Simulasi 16-QPSK

Percobaan Ke	16-QPSK											
	Model Simulasi Ke-1			Model Simulasi Ke-2 (LMS)			Model Simulasi Ke-3 (RLS)			Model Simulasi Ke-4		
	JS	JE	PE	JS	JE	PE	JS	JE	PE	JS	JE	PE
1	50,000	24844	4.97E-01	10,000	6542	6.54E-01	10,000	1463	1.46E-01	1,000,000	6642	6.64E-03
2	100,000	50052	5.01E-01	20,000	14058	7.03E-01	20,000	4910	2.46E-01	2,000,000	12805	6.40E-03
3	150,000	75060	5.00E-01	30,000	21690	7.23E-01	30,000	7773	2.59E-01	3,000,000	19210	6.40E-03
4	200,000	100447	5.02E-01	40,000	28702	7.18E-01	40,000	10210	2.55E-01	4,000,000	23184	5.80E-03
5	250,000	125555	5.02E-01	50,000	35425	7.09E-01	50,000	12110	2.42E-01	5,000,000	32369	6.47E-03
6	300,000	150722	5.02E-01	60,000	42931	7.16E-01	60,000	15023	2.50E-01	6,000,000	37852	6.31E-03
7	350,000	175517	5.01E-01	70,000	50169	7.17E-01	70,000	17163	2.45E-01	7,000,000	44392	6.34E-03
8	400,000	200590	5.01E-01	80,000	56496	7.06E-01	80,000	18609	2.33E-01	8,000,000	50891	6.36E-03
9	450,000	225225	5.01E-01	90,000	64100	7.12E-01	90,000	21569	2.40E-01	9,000,000	56562	6.28E-03
10	500,000	250400	5.01E-01	100,000	71316	7.13E-01	100,000	23688	2.37E-01	10,000,000	63443	6.34E-03
Rerata PE	5.01E-01			7.07E-01			2.35E-01			6.34E-03		

Gambar 4.24 menunjukkan nilai BER pada skema kanal AWGN dan kanal *fading* yang merupakan nilai teoretis dengan perbandingan kurva BER dari hasil simulasi. Kurva diambil dengan rentang nilai Eb/No. 0.5. Skrip *m-file* Matlab® dari kurva tersebut peneliti sertakan pada lampiran.



Gambar 4.24. Nilai Teoretis BER Modulasi 16-QPSK Pada Kanal AWGN dan *Fading* Dengan Hasil Simulasi

Nilai BER ketiga model dan secara teoretis berbeda jauh dengan model simulasi keempat, yaitu 6.34e-3. Menggunakan sistem MIMO yang dalam model ini peneliti menggunakan blok OSTBC memang secara signifikan menurunkan nilai BER. Ini dikarenakan, hasil *fading* dari sinyal dikirim justru akan dikuatkan dalam sistem MIMO.

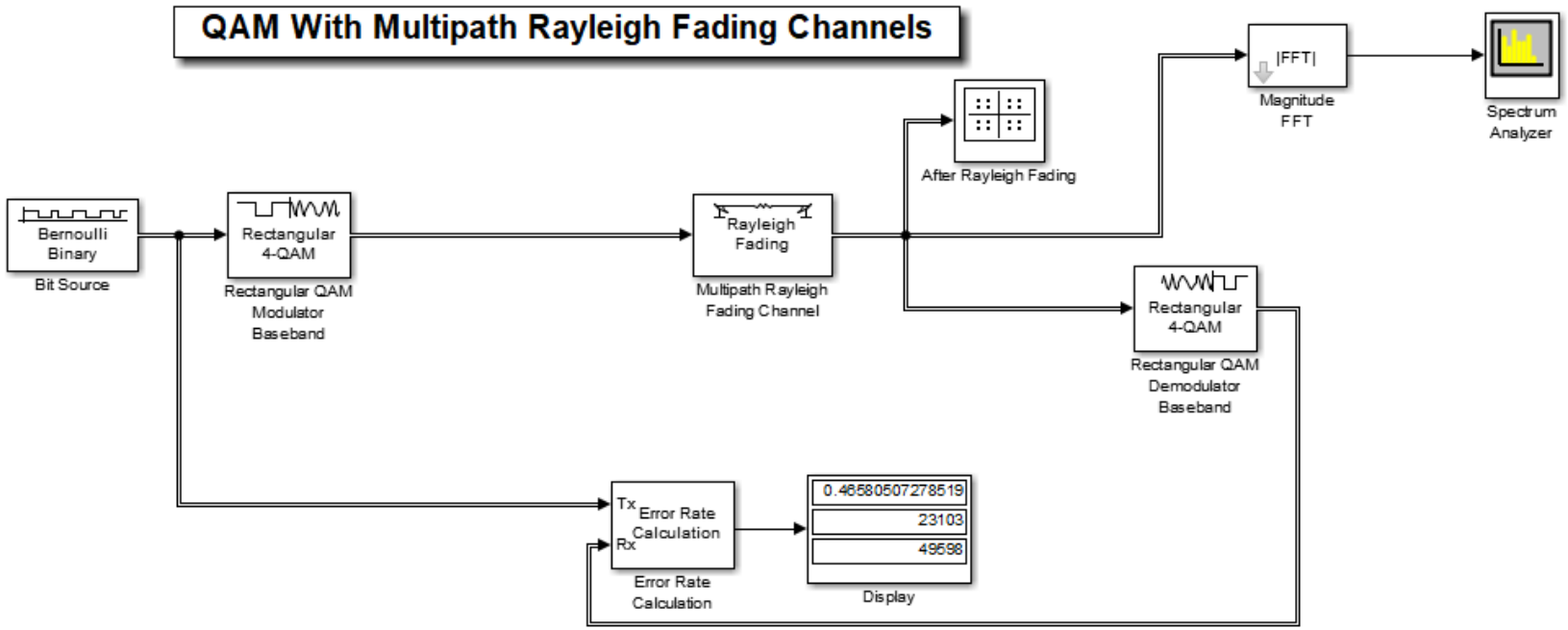
Kalau kita perhatikan dari diagram konstelasinya, jarak antara masing-masing simbol sinyal memang berdekatan. Memang akan sulit untuk mencapai

nilai BER yang baik dengan keadaan seperti ini. Cara yang bisa dilakukan adalah dengan menaikkan nilai Eb/No. Namun, menaikkan level sinyal, dalam praktiknya akan juga menaikkan konsumsi daya pada perangkat yang bersangkutan.

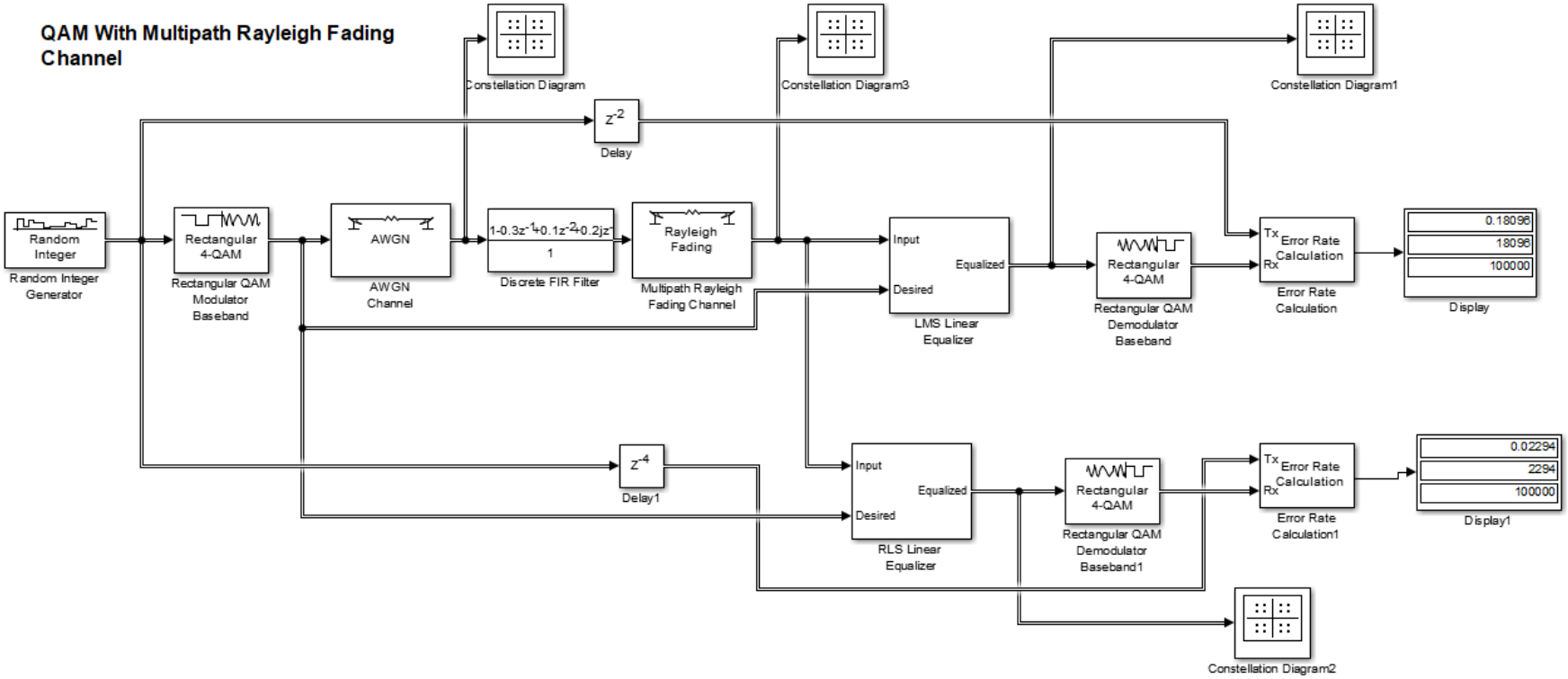
4.2.5. Model Simulasi QAM

Dengan mengandalkan perbedaan pada *phase* dan *amplitude* maka nilai BER pada model simulasi QAM ini cenderung lebih kecil dibandingkan dengan model simulasi pada model QPSK yang hanya membedakan *phase.* Namun, perbedaan level tegangan yang dibuat dalam modulasi ini juga mempengaruhi nilai daya yang digunakan, sehingga nilai PSD pada model ini cenderung lebih besar ketimbang QPSK, dalam orde modulasi yang sama.

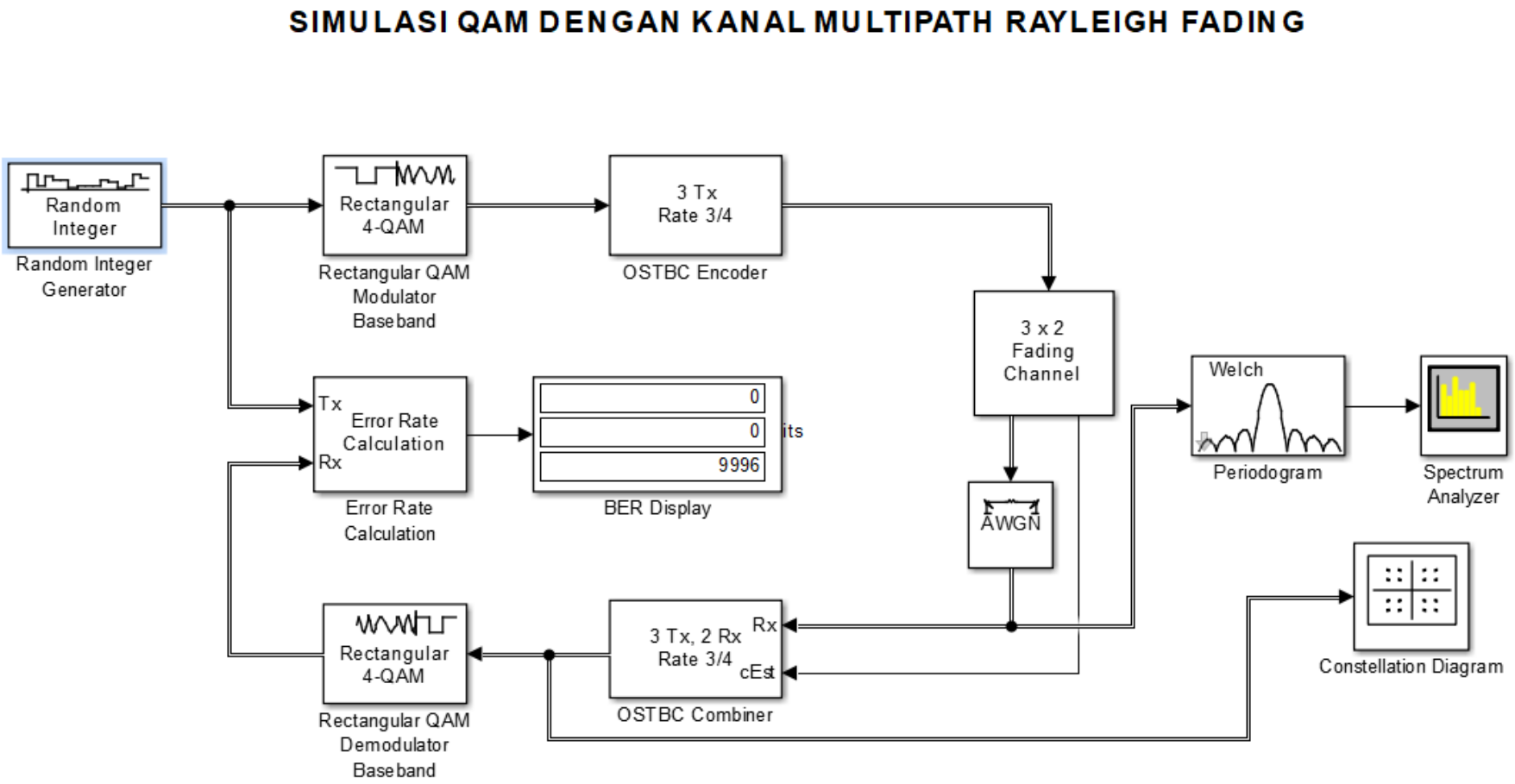
Dalam model simulasi pertama yang tertera pada Gambar 4.25 dibuat secara langsung, tanpa menggunakan *equalizer* atau pun *filter.* Lalu, dalam model simulasi kedua dan ketiga yang tertera pada Gambar 4.26, peneliti menggunakan masing-masing *equalizer* dan *filter*, yaitu *LMS Equalizer* dan *RLS Equalizer*. Selanjutnya pada Gambar 4.27. peneliti menggunakan OSTBC. Peneliti juga menyertakan hasil pengujian model simulasi pada Tabel 4.6. Sedangkan, untuk diagram konstelasi peneliti sertakan pada Gambar 4.28.



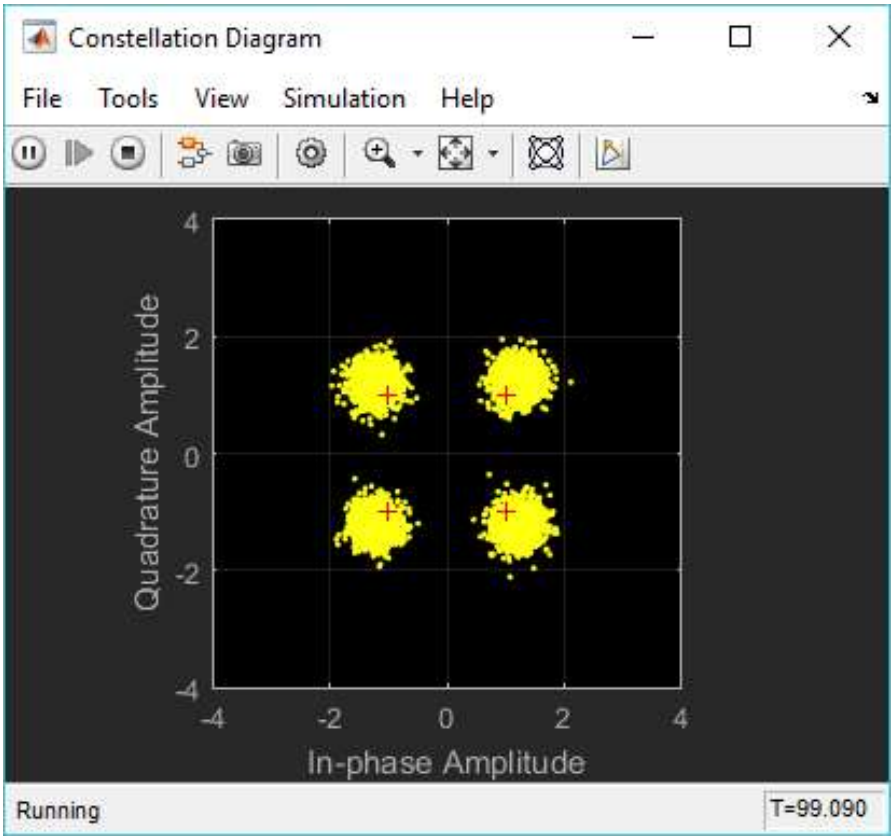
Gambar 4.25. Model Simulasi Modulasi QAM Pertama



Gambar 4.26. Model Simulasi Modulasi QAM Kedua dan Ketiga



Gambar 4.27. Model Simulasi Modulasi QAM Keempat

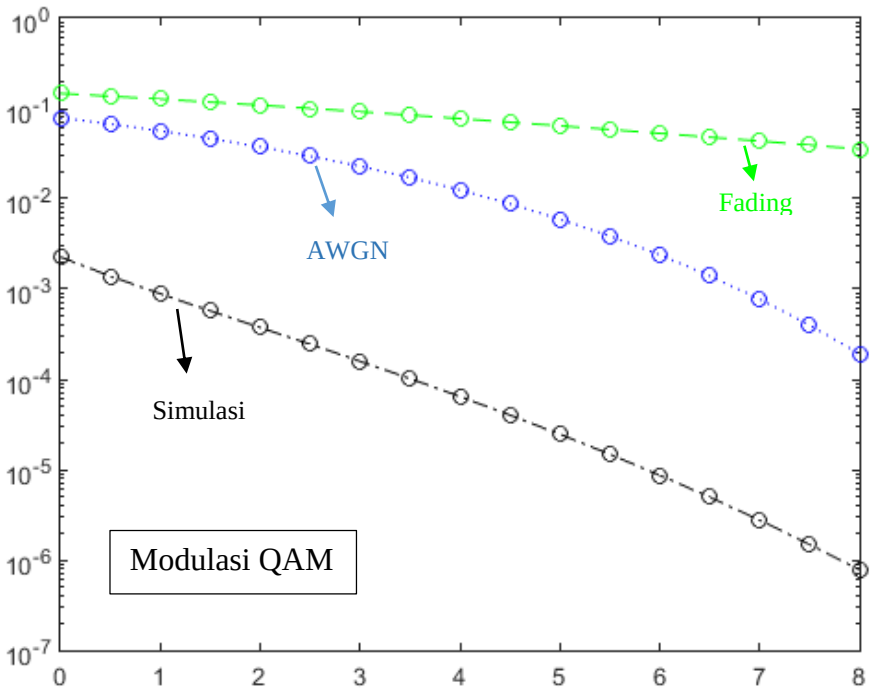


Gambar 4.28. Diagram Konstelasi Hasil Simulasi Model Keempat

Tabel 4.6. Hasil Pengujian Nilai BER Pada Keempat Model Simulasi QAM

Percobaan Ke	QAM											
	Model Simulasi Ke-1			Model Simulasi Ke-2			Model Simulasi Ke-3			Model Simulasi Ke-4		
	JS	JE	PE	JS	JE	PE	JS	JE	PE	JS	JE	PE
1	50,000	23103	4.62E-01	10,000	1069	1.07E-01	10,000	127	1.27E-02	1,000,000	33	3.30E-05
2	100,000	50030	5.00E-01	20,000	3159	1.58E-01	20,000	567	2.84E-02	2,000,000	57	2.85E-05
3	150,000	74566	4.97E-01	30,000	5361	1.79E-01	30,000	913	3.04E-02	3,000,000	87	2.90E-05
4	200,000	99814	4.99E-01	40,000	7244	1.81E-01	40,000	1137	2.84E-02	4,000,000	123	3.08E-05
5	250,000	125670	5.03E-01	50,000	8912	1.78E-01	50,000	1254	2.51E-02	5,000,000	152	3.04E-05
6	300,000	151667	5.06E-01	60,000	10448	1.74E-01	60,000	1506	2.51E-02	6,000,000	161	2.68E-05
7	350,000	175647	5.02E-01	70,000	12650	1.81E-01	70,000	1694	2.42E-02	7,000,000	180	2.57E-05
8	400,000	201464	5.04E-01	80,000	14028	1.75E-01	80,000	1809	2.26E-02	8,000,000	205	2.56E-05
9	450,000	225950	5.02E-01	90,000	16203	1.80E-01	90,000	2104	2.34E-02	9,000,000	218	2.42E-05
10	500,000	250709	5.01E-01	100,000	18096	1.81E-01	100,000	2294	2.29E-02	10,000,000	273	2.73E-05
Rerata PE	4.98E-01			1.69E-01			2.43E-02			2.81E-05		

Hasil rerata BER keempat simulasi berturut-turut yaitu 4.983-1, 1.69e-1, 1.43e-2, 2.81e-5. Model simulasi pertama dan kedua berbeda tidak terlalu signifikan. Sedangkan jika kedua model tersebut dibandingkan dengan model simulasi ketiga maka berbeda jauh. Dari semuanya, hasil model simulasi keempat jauh lebih signifikan. Seperti yang peneliti jabarkan sebelumnya, penggunaan *Equalizer* baik LMS mau pun RLS tetap tidak memberikan perbedaan nilai BER yang signifikan dibandingkan dengan menggunakan sistem MIMO, khususnya dalam model ini direpresentasikan dalam blok OSTBC. Gambar 4.29 menunjukkan nilai BER pada skema kanal AWGN dan kanal *fading* yang merupakan nilai teoretis dengan perbandingan kurva BER dari hasil simulasi. Kurva diambil dengan rentang nilai Eb/No. 0.5. Skrip *m-file* Matlab® dari kurva tersebut peneliti sertakan pada lampiran.



Gambar 4.29. Nilai Teoretis BER Modulasi QAM Pada Kanal AWGN dan *Fading* Dengan Hasil Simulasi

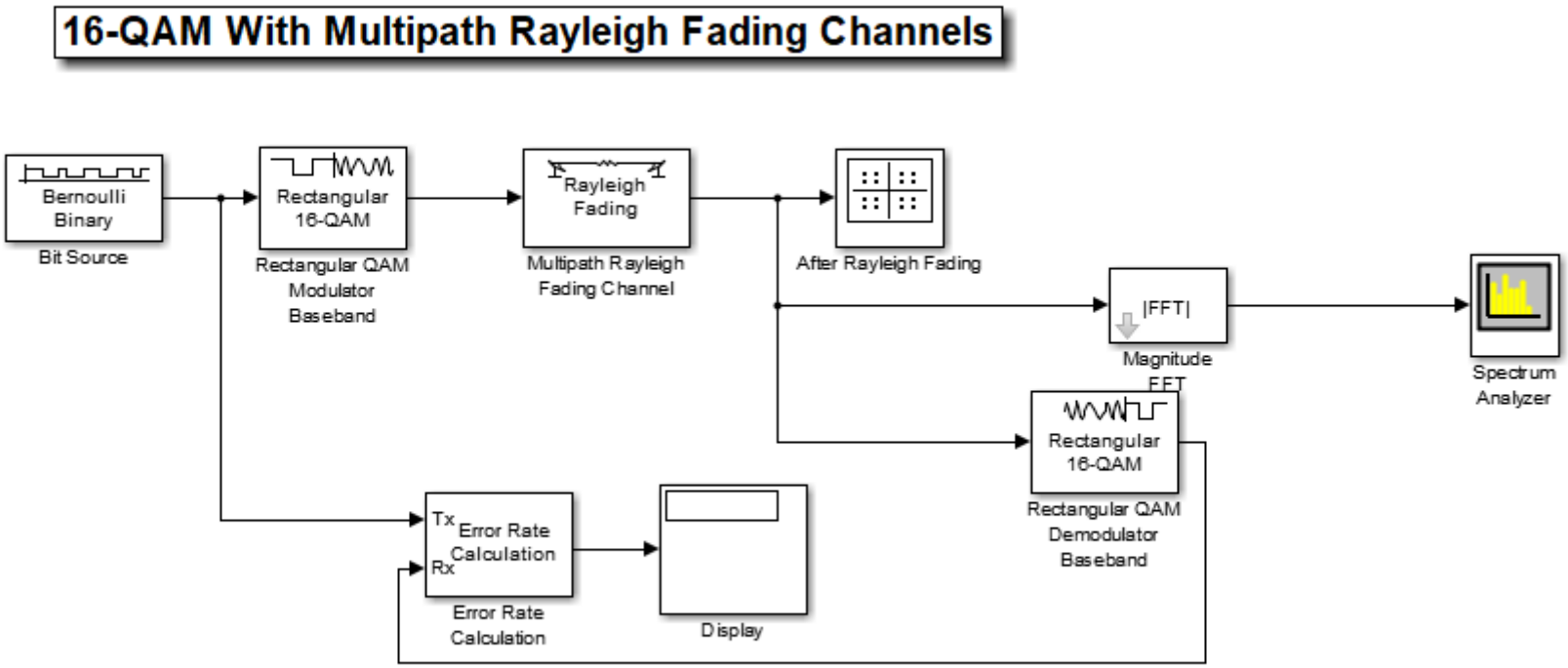
Nilai BER yang kecil pada model ini juga dapat kita lihat melalui diagram konstelasinya. Selain dikarenakan jarak antara simbol yang jauh, dua parameter yang berbeda yaitu *phase* dan level tegangan juga akan berpengaruh pada nilai BER yang lebih kecil.

4.2.6. Model Simulasi 16-QAM

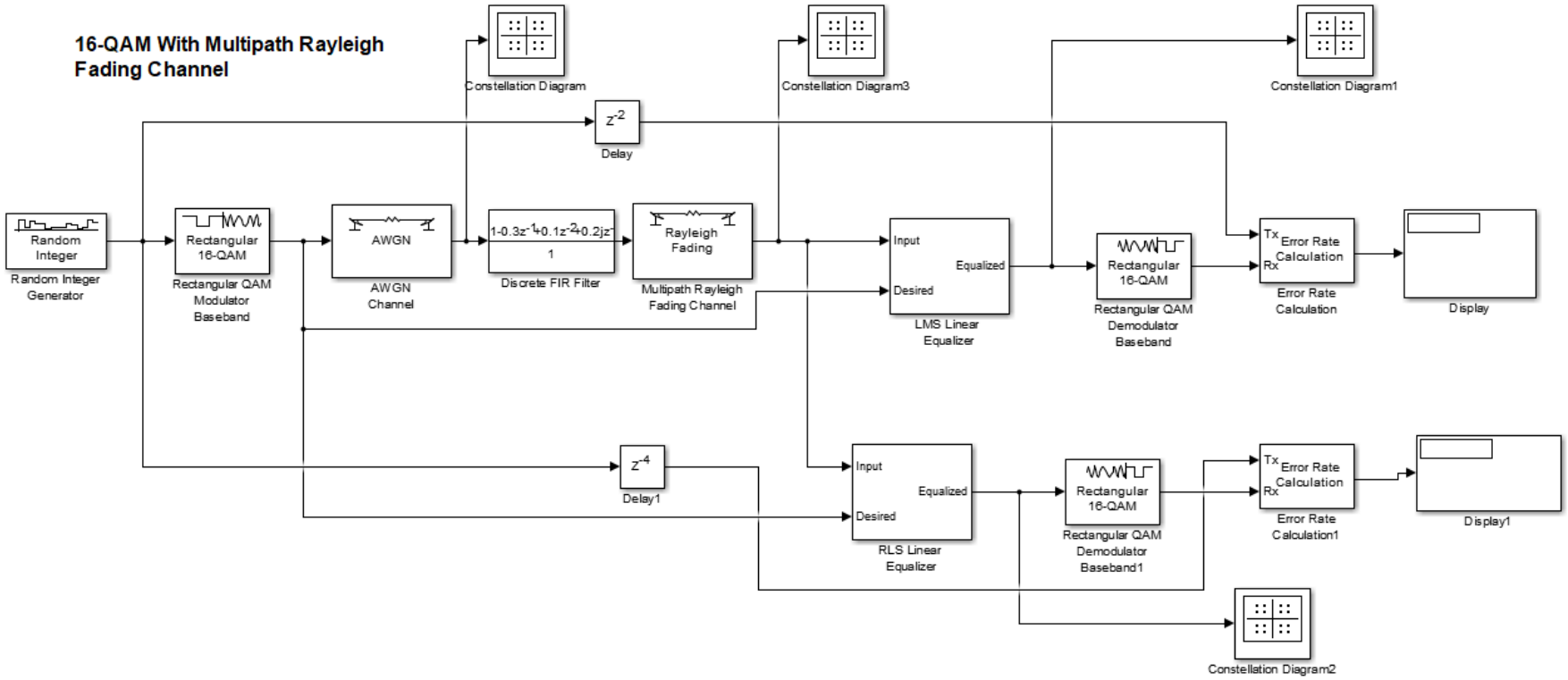
Sama seperti QAM yang dibandingkan dengan QPSK, modulasi 16-QAM juga cenderung memiliki nilai BER yang lebih kecil dibandingkan dengan 16-QPSK. Secara umum, modulasi QAM dengan berbagai orde modulasi memang lebih banyak digunakan dikarenakan karakteristik nilai BER yang lebih kecil dibandingkan modulasi lain dengan kapasitas data yang sama. Selain itu, nilai

BER yang kecil juga membuat modulasi QAM memungkinkan untuk dibuat dengan nilai orde yang lebih tinggi seperti 32-QAM, 64-QAM, 128-QAM dan sebagainya.

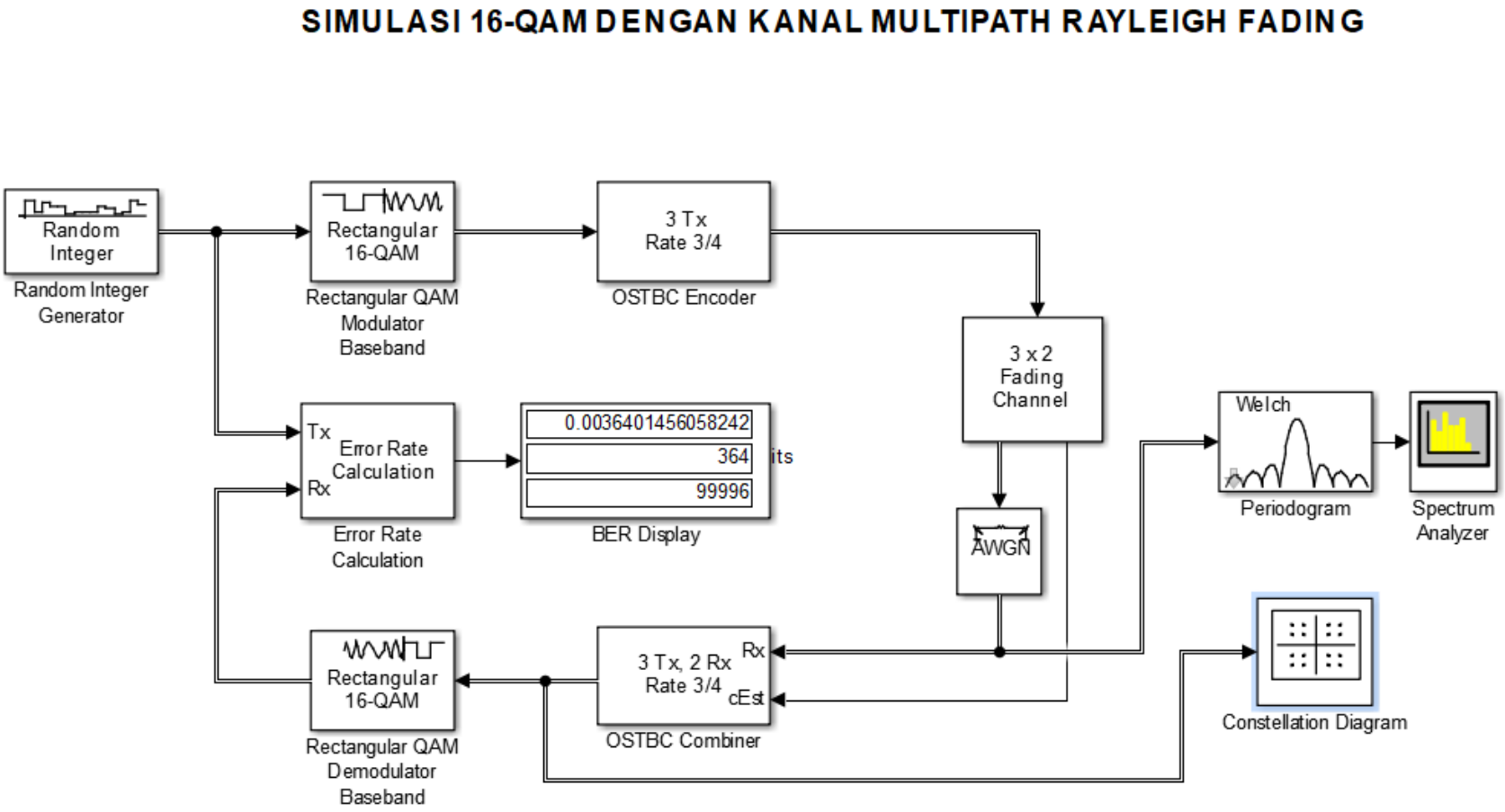
Dalam model simulasi pertama yang tertera pada Gambar 4.30 dibuat secara langsung, tanpa menggunakan *equalizer* atau pun *filter.* Lalu, dalam model simulasi kedua dan ketiga yang tertera pada Gambar 4.31, peneliti menggunakan masing-masing *equalizer* dan *filter*, yaitu *LMS Equalizer* dan *RLS Equalizer*. Selanjutnya pada Gambar 4.32. peneliti menggunakan OSTBC. Peneliti juga menyertakan hasil pengujian model simulasi pada Tabel 4.7, sedangkan diagram konstelasi peneliti sertakan pada Gambar 4.33.



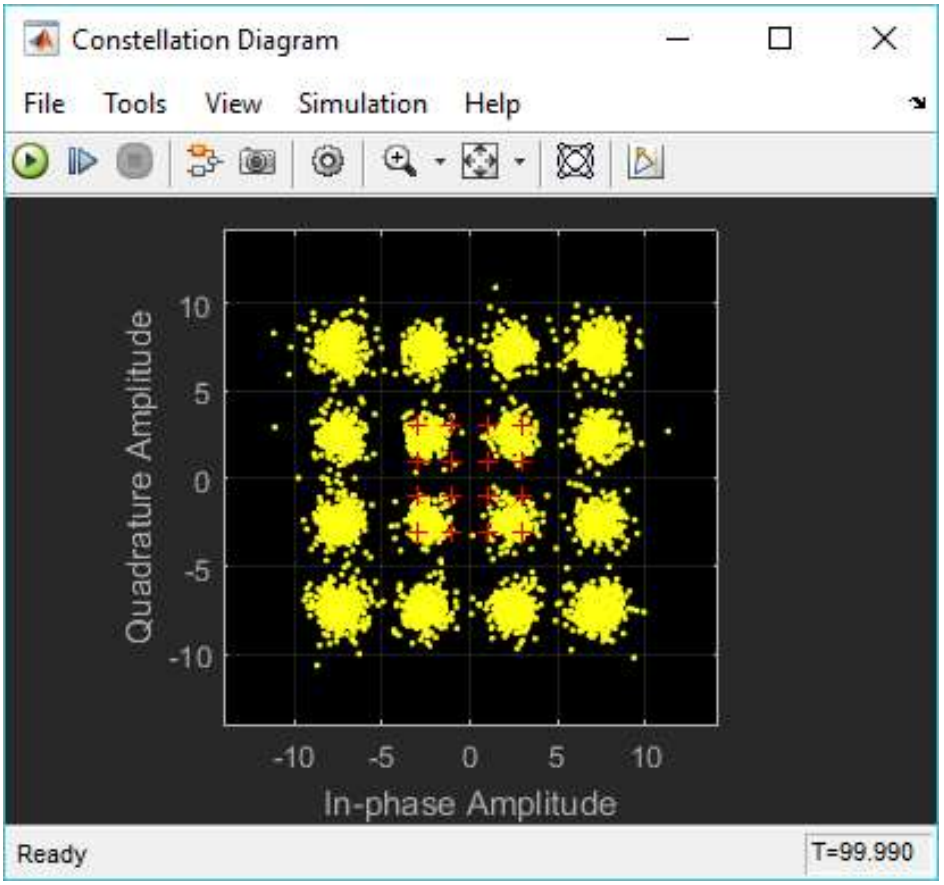
Gambar 4.30. Model Simulasi Modulasi 16-QAM Pertama



Gambar 4.31. Model Simulasi Modulasi 16-QAM Kedua dan Ketiga



Gambar 4.32. Model Simulasi Modulasi 16-QAM Keempat



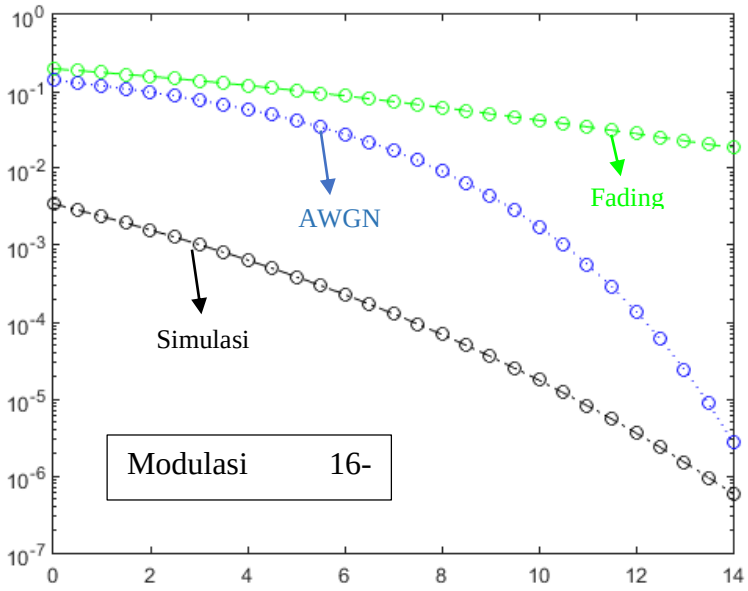
Gambar 4.33. Diagram Konstelasi Hasil Simulasi Model Keempat

Tabel 4.7. Hasil Pengujian Nilai BER Pada Keempat Model Simulasi 16-QAM

Percobaan Ke	16-QAM											
	Model Simulasi Ke-1			Model Simulasi Ke-2			Model Simulasi Ke-3			Model Simulasi Ke-4		
	JS	JE	PE	JS	JE	PE	JS	JE	PE	JS	JE	PE
1	50,000	24766	4.95E-01	10,000	3459	3.46E-01	10,000	1028	1.03E-01	1,000,000	2804	2.80E-03
2	100,000	50036	5.00E-01	20,000	8625	4.31E-01	20,000	3676	1.84E-01	2,000,000	5457	2.73E-03
3	150,000	74867	4.99E-01	30,000	13829	4.61E-01	30,000	5893	1.96E-01	3,000,000	8089	2.70E-03
4	200,000	100023	5.00E-01	40,000	21289	5.32E-01	40,000	7586	1.90E-01	4,000,000	10938	2.73E-03
5	250,000	124832	4.99E-01	50,000	28355	5.67E-01	50,000	8816	1.76E-01	5,000,000	13728	2.75E-03
6	300,000	150262	5.01E-01	60,000	33671	5.61E-01	60,000	10763	1.79E-01	6,000,000	16305	2.72E-03
7	350,000	174993	5.00E-01	70,000	37229	5.32E-01	70,000	12241	1.75E-01	7,000,000	18963	2.71E-03
8	400,000	200244	5.01E-01	80,000	42461	5.31E-01	80,000	13152	1.64E-01	8,000,000	21578	2.70E-03
9	450,000	225006	5.00E-01	90,000	47378	5.26E-01	90,000	15448	1.72E-01	9,000,000	24233	2.69E-03
10	500,000	250223	5.00E-01	100,000	53470	5.35E-01	100,000	16902	1.69E-01	10,000,000	26895	2.69E-03
Rerata PE		5.00E-01			5.02E-01			1.71E-01			2.72E-03	

Hasil simulasi keempat model berturut-turut yaitu, 5e-1, 5e-1, 1.7e-1, dan 2.72e-3. Ketiga model awal tidak memberikan perbedaan yang signifikan pada hasilnya jika dibandingkan dengan model keempat. Perbedaan parameter dan juga model keempat yang menggunakan blok OSTBC juga menjadi penyebabnya.

Jika dilihat dari diagram konstelasinya, maka dapat terlihat bahwa memang dalam modulasi QAM dengan orde yang semakin tinggi tetap memiliki ruang yang cukup untuk membedakan masing-masing simbol sinyalnya. Ini akan membuat detektor lebih mudah untuk membedakan antara simbol yang satu dengan simbol yang lainnya. Gambar 4.34 menunjukkan nilai BER pada skema kanal AWGN dan kanal *fading* yang merupakan nilai teoretis dengan perbandingan kurva BER dari hasil simulasi. Kurva diambil dengan rentang nilai Eb/No. 0.5. Skrip *m-file* Matlab® dari kurva tersebut peneliti sertakan pada lampiran.



Gambar 4.34 Nilai Teoretis BER Modulasi 16-QAM Pada Kanal AWGN dan *Fading* Dengan Hasil Simulasi

4.2.7. Pengujian BER Pada Seluruh Model Simulasi

Setelah menguji model-model yang peneliti buat, maka akhirnya diambil kesimpulan mana model-model yang paling sesuai. Model-model simulasi BFSK, BPSK, QPSK, 16-QPSK, QAM, dan 16-QAM akan peneliti bandingkan dengan model-model dari modulasi lainnya, sehingga nantinya diketahui karakteristik parameter BER dan PSD masing-masing modulasi yang diuji. Model akan dibandingkan dengan modulasi yang setara. Model yang peneliti gunakan untuk pengujian kali ini, yaitu:

a. Model pada Gambar 4.1 untuk modulasi BFSK;
b. Model pada Gambar 4.2 untuk modulasi BPSK;
c. Model pada Gambar 4.3 untuk modulasi QPSK;
d. Model pada Gambar 4.4 untuk modulasi 16-QPSK;

e. Model pada Gambar 4.5 untuk modulasi QAM;
f. Model pada Gambar 4.6 untuk modulasi 16-QAM.

Untuk modulasi BFSK, peneliti tidak membuat model sebanyak seperti pada modulasi lain. Hal ini dikarenakan modulasi frekuensi tidak memiliki konstelasi sinyal, sehingga tidak memerlukan model dengan *equalizer* dan *filter* seperti pada model yang lainnya. Untuk itu, peneliti juga memberikan pengecualian untuk nilai BER yang jauh lebih rendah. Hal ini juga dikarenakan perbedaan beberapa nilai parameter kanalnya. Berikut ini peneliti jabarkan hasil pengujian model simulasi, baik pada parameter BER maupun pada parameter PSD.

Tabel 4.8. Hasil Pengujian Nilai Parameter BER

Percobaan Ke	JS	Modulasi											
		BFSK		BPSK		QPSK		16-QPSK		QAM		16-QAM	
		JE	PE	JE	PE	JE	PE	JE	PE	JE	PE	JE	PE
1	1,000,000	19	1.90E-05	26	2.60E-05	2750	2.75E-03	6642	6.64E-03	33	3.30E-05	2804	2.80E-03
2	2,000,000	39	1.95E-05	48	2.40E-05	5259	2.63E-03	12805	6.40E-03	57	2.85E-05	5457	2.73E-03
3	3,000,000	39	1.30E-05	55	1.83E-05	7744	2.58E-03	19210	6.40E-03	87	2.90E-05	8089	2.70E-03
4	4,000,000	68	1.70E-05	131	3.28E-05	10659	2.66E-03	23184	5.80E-03	123	3.08E-05	10938	2.73E-03
5	5,000,000	87	1.74E-05	145	2.90E-05	13252	2.65E-03	32369	6.47E-03	152	3.04E-05	13728	2.75E-03
6	6,000,000	95	1.58E-05	184	3.07E-05	15372	2.56E-03	37852	6.31E-03	161	2.68E-05	16305	2.72E-03
7	7,000,000	95	1.36E-05	190	2.71E-05	17995	2.57E-03	44392	6.34E-03	180	2.57E-05	18963	2.71E-03
8	8,000,000	121	1.51E-05	196	2.45E-05	20585	2.57E-03	50891	6.36E-03	205	2.56E-05	21578	2.70E-03
9	9,000,000	143	1.59E-05	197	2.19E-05	22810	2.53E-03	56562	6.28E-03	218	2.42E-05	24233	2.69E-03
10	10,000,000	176	1.76E-05	228	2.28E-05	25750	2.58E-03	63443	6.34E-03	273	2.73E-05	26895	2.69E-03
Rerata PE		1.64E-05		2.57E-05		2.61E-03		6.34E-03		2.81E-05		2.72E-03	

Dari keseluruhan model simulasi yang diujikan, secara teoretis BER yang didapati susah sesuai. Namun, untuk memenuhi standar yang ada pada badan standar internasional seperti IEEE maka belum cukup, yaitu harus berada pada kisaran 10e-6. Namun nilai tersebut dapat dicapai dengan meningkatkan nilai dari Eb/No.

Pengujian tersebut menunjukkan bahwa model simulasi dengan unjuk kerja BER terbaik ditemukan pada model simulasi BFSK (1.64e-5), lalu berturut-turut diikuti oleh BPSK (2.57e-5), QAM (2.81e-5), QPSK (2.61e-3), 16-QAM (2.72e-3), dan 16-QPSK (6.34e-3). Kedua model simulasi BPSK dan BFSK ada pada orde 2, sehingga wajar jika memiliki performa BER yang baik. Lalu dengan orde 16, 16-QAM ternyata memiliki performa yang tidak jauh berbeda dengan QPSK, berbeda dengan 16-QPSK yang cukup jauh perbedaannya.

Nilai dari modulasi BFSK memang terbaik, namun dalam penggunaannya di lapangan sudah jarang. Ini dikarenakan, setiap frekuensi yang digunakan untuk masing-masing simbol akan memerlukan *bandwidth* tambahan, yang membuat sistem ini lebih boros *bandwidth.*

4.2.8. Pengujian PSD Pada Seluruh Model Simulasi

Setelah diketahui performa BER, maka akan relevan jika kita juga menguji pada parameter PSD-nya. Dengan performa BER yang dianggap sesuai, maka hasil pengujian pada parameter PSD juga dapat dianggap sesuai. Dalam Tabel 4.9 berikut ini peneliti akan menjabarkan hasil pengujian pada parameter PSD. Setiap hasil yang didapat akan peneliti berikan gambar cupliknya pada lampiran.

Tabel 4.9. Hasil Pengujian Nilai Parameter PSD

Percobaan Ke	IS	T	Modulasi					
			BFSK	BPSK	QPSK	16-QPSK	QAM	16-QAM
1	33	0.015	-48.071	57.096	57.918	56.66	68.01	90.994
2	33	0.033	-46.363	57.003	59.818	54.679	67.251	91.973
3	33	0.051	-46.307	57.117	59.796	53.956	65.789	88.744
4	33	0.069	-46.265	48.86	58.703	53.334	62.7	90.111
5	33	0.087	-46.222	55.721	60.22	54.538	66.041	91.717
6	33	0.105	-46.177	59.198	60.383	52.662	65.009	89.853
7	33	0.123	-46.12	57.056	58.693	56.236	67.009	90.278
8	33	0.141	-46.077	56.168	56.488	52.777	63.635	90.349
9	33	0.159	-46.028	55.62	56.759	54.597	66.513	91.61
10	33	0.177	-45.991	56.816	62.677	55.875	68.231	89.732
11	66	0.015	-48.085	51.932	56.677	52.078	63.51	86.99
12	66	0.033	-46.357	55.171	59.369	57.063	67.468	87.557
13	66	0.051	-46.306	53.37	58.888	55.743	67.389	86.85
14	66	0.069	-46.265	57.048	60.629	57.595	66.537	92.378
15	66	0.087	-46.213	60.064	60.884	57.409	70.327	89.795
16	66	0.105	-46.162	58.188	61.631	55.461	66.84	91.733
17	66	0.123	-46.124	50.833	60.219	55.026	62.727	89.119
18	66	0.141	-46.077	56.168	58.008	57.793	68.391	88.535
19	66	0.159	-46.042	53.715	59.874	57.11	66.637	87.225
20	66	0.177	-45.98	55.885	64.143	59.569	68.701	88.9
Rerata PSD (dBm)			-46.362	55.651	59.589	55.508	66.436	89.722

Keterangan :

IS = *Initial seed*

T = Waktu pengambilan cuplikan data

Dalam pengujian kali ini pun, modulasi BFSK masih memiliki performa terbaik. PSD yang tercatat dalam penarikan data menunjukkan nilai minus pada skala dBm. Ini artinya, BFSK membutuhkan nilai daya yang sangat kecil. Meskipun demikian, ini juga dikarenakan dalam model yang peneliti buat, modulasi BFSK tidak menggunakan blok OSTBC. Tidak digunakannya OSTBC ini juga bukan dikarenakan kesengajaan, melainkan terdapat beberapa parameter dan tipe data yang membuat BFSK tidak dapat disandingkan dengan OSTBC pada model simulasi yang peneliti buat.

Untuk modulasi BPSK, QPSK, 16-QPSK, QAM, dan 16-QAM berturut-turut memiliki nilai PSD rata-rata sebagai berikut 55.651 dBm, 59.589 dBm, 55.508 dBm, 66.436 dBm, dan 89.722 dBm. Dengan orde yang sama, QPSK dan QAM memiliki nilai PSD yang berbeda, meskipun tidak terlalu signifikan, yaitu 59.589 dBm berbanding dengan 66.436 dBm, selisih 6.847 dBm. Namun, jika kita juga melihat pada performa pada BER yang ada pada keduanya, yaitu 2.61e-3 dan 2.81e-5, kedua nilai selisih itu tidak memberikan perbedaan yang signifikan. Kedua modulasi ini memiliki kelebihan performa pada masing-masing lini, yaitu QPSK pada konsumsi daya, sedangkan QAM pada nilai BER.

Berbeda pada orde 16, modulasi 16-QPSK dan modulasi 16-QAM memiliki perbedaan nilai PSD yang jauh, yaitu masing-masing 55.508 dBm dan 89.722 dBm. Kedua modulasi tersebut, dalam parameter PSD pada penelitian ini memiliki selisih 34.214 dBm. Ini perbedaan yang sangat signifikan. Apalagi, jika juga kita lihat pada perbandingan nilai BER pada modulasi yang sama tidak terlalu signifikan. Dalam penelitian ini, 16-QPSK memiliki performa yang lebih baik ketimbang 16-QAM.

4.3. Pembahasan

Dalam berbagai teknik modulasi, teknik modulasi BFSK memang memiliki tingkat rerata *error* yang kecil dibandingkan dengan berbagai modulasi lainnya yang peneliti uji, yaitu dengan nilai BER 21.64E-5 Ini dikarenakan dalam modulasinya BFSK memang menggunakan perubahan pada sisi frekuensi, sehingga kemungkinan *error*nya jauh lebih kecil. Apalagi, dalam penelitian kali ini peneliti hanya menguji BFSK dengan orde 2.

Berbeda dengan BFSK, BPSK membedakan *phase* dalam pembentukan sinyalnya. Dalam skema kanal *Multipath Rayleigh Fading*, sinyal akan seolah-olah dipantulkan. Ini menyebabkan sebagian sinyal yang datang memiliki waktu tunda dibandingkan sinyal yang *line of sight.* Artinya, sinyal yang mengalami waktu tunda ini bisa saja menggeser *phase* yang akan menggeser nilai dari sinyal yang nantinya akan dideteksi. BPSK memang berisiko lebih besar untuk mengalami *error* ketimbang BFSK. Namun, karena BPSK merupakan orde terendah dari modulasi PSK, maka dibandingkan dengan QPSK dan 16-QPSK, BPSK memiliki tingkat rerata *error* yang lebih rendah. Masing-masing nilai BER BPSK, QPSK, dan 16-QPSK yaitu 2.57e-5, 2.61e-3, 6.34e-3.

Namun, dengan orde 4 dan 16, modulasi QAM memiliki performa lebih baik pada parameter BER. Jika QPSK dibandingkan dengan QAM, masing-masing nilainya yaitu 2.61e-3 dan 2.81e-5. Ini perbedaan yang jauh. Akan tetapi, pada penggunaan daya yang direpresentasikan dengan PSD, maka QAM memang menggunakan daya yang lebih boros ketimbang QPSK dengan nilai PSD masing-masing QPSK dan QAM yaitu 59.589 dBm dengan 66.436 dBm. Perbedaan level daya dari simbol-simbol yang ada pada QAM membuatnya harus

melakukan secara terus menerus transisi daya. Hal membuat daya yang digunakan lebih tinggi. Sedangkan, QPSK dengan level daya yang konstan tidak memerlukan transisi level daya pada saat pergantian simbol-simbol yang dikirim.

Selanjutnya pada orde yang lebih tinggi, yaitu 16. Modulasi 16-QPSK dan 16-QAM memiliki nilai BER masing-masing 6.34e-3 dan 2.72e-3. Performa BER yang dimiliki modulasi 16-QAM lebih baik ketimbang modulasi 16-QAM. Tetapi, jika kita melihat juga pada konsumsi dayanya, maka modulasi 16-QAM memakan daya yang lebih besar, yaitu dengan rata-rata 89.722 dBm, dibandingkan dengan modulasi 16-QPSK yang hanya 55.508 dBm.

Berdasarkan kesetaraan rerata BER teoretis yang terdapat pada Tabel 2.1, maka modulasi yang dapat dibandingkan yaitu modulasi BPSK, QPSK, dan QAM. Nilai rerata BER masing-masing modulasi BPSK, QPSK, dan QAM adalah 2.57E-5, 2.61E-3, dan 2.81E-5. Modulasi BPSK dan QAM memiliki nilai BER yang relatif lebih baik dibandingkan dengan QPSK. Urutan performa terbaik untuk parameter BER adalah BPSK, QAM, dan QPSK. Sedangkan, pada parameter PSD, nilai rerata modulasi BPSK, QPSK, dan QAM masing-masing yaitu, 55.651 dBm, 59.589 dBm, dan 66.436 dBm. Urutan performa terbaik untuk parameter PSD adalah modulasi BPSK, QPSK, dan QAM.

Jika peneliti tarik kesimpulan lebih umum, dengan tingkatan ordenya masing-masing, maka jenis modulasi PSK memiliki konsumsi daya yang lebih rendah ketimbang QAM. Tetapi, terhadap performa BER, modulasi QAM memiliki performa yang lebih baik ketimbang PSK.

4.4. Aplikasi Hasil Penelitian

Selain gambaran secara spesifik, peneliti juga menyasar pada gambaran secara garis besarnya, yaitu bahwa dalam suatu teknik modulasi, antara BER dan orde modulasi itu berbanding terbaik. Artinya, semakin tinggi orde modulasi, nilai BER cenderung membesar pula. Akan tetapi, nilai orde modulasi berbanding lurus dengan kecepatan transfer datanya. Kita tetap harus memilih suatu teknik modulasi terbaik dalam sistem yang akan dibangun, memilih apakah akan lebih mengutamakan nilai BER atau orde modulasi yang juga mempengaruhi kecepatan transfer data.

Setelah diketahui hasil simulasi seperti yang dijabarkan sebelumnya, kita dapat mempergunakannya untuk keperluan pemilihan sistem modulasi yang paling sesuai dengan kebutuhan. Jika dibutuhkan suatu teknik modulasi dengan nilai BER yang kecil, maka kita dapat menggunakan modulasi-modulasi dengan orde yang rendah seperti BFSK dan BPSK, dengan asumsi bahwa kecepatan transfer data di kesampingkan. Dibandingkan dengan dua metode modulasi, yaitu modulasi frekuensi dan modulasi *phase*, maka modulasi QAM memiliki performa yang lebih baik. Seperti dijabarkan sebelumnya, tidak hanya menggeser *phase*, metode modulasi ini juga memberikan level sinyal yang berbeda untuk setiap simbol. Hasilnya, yaitu bentuk setiap simbol yang lebih unik dan membuat pembacaan tiap-tiap simbolnya cenderung mengalami salah baca yang lebih sedikit.

Di beberapa sistem telekomunikasi yang banyak digunakan saat ini juga memang teknik modulasi QAM sangat populer. Jaringan seperti 3G, HSDPA, 4G LTE/WiMAX juga menggunakan teknik modulasi QAM. Tetapi, untuk

mendapatkan hasil yang lebih baik, maka para pengembang juga telah menerapkan sistem *adaptive modulation.* Artinya, orde modulasi yang digunakan akan disesuaikan dengan keadaan tiap pengguna. Misalnya, jika pengguna terlalu jauh dari pemancar, atau antara pemancar dan pengguna terdapat banyak penghalang yang membuat sulit tercpainya *line of sight*, maka secara otomatis sistem akan menghitung berdasarkan deteksi BER dan juga RSL (*Received Signal Level*). Lalu, untuk mencapai standar pelayanan telekomunikasi yang sudah ditetapkan oleh lembaga standar seperti IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineering)* seperti nilai BER yang harus bernilai 10e-6, maka sistem akan beradaptasi terhadap nilai tersebut. Perubahan modulasi ini banyak yang ditentukan melalui percobaan, namun tidak menutup kemungkinan untuk juga dilakukan melalui proses simulasi.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Beberapa hal yang peneliti dapat simpulkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dari keenam model simulasi modulasi yang diuji, berdasarkan performa BER dan PSD, maka modulasi BFSK adalah modulasi dengan unjuk kerja terbaik dengan nilai BER 1.64e-5 dan nilai PSD -46.362 dBm.
2. Pada modulasi orde 4, antara QPSK dan QAM memiliki performa yang lebih baik pada parameter yang berbeda, yaitu QPSK pada PSD dengan nilai 59.589 dBm berbanding 66.463 dan QAM pada BER 2.81e-5 berbanding 2.61e-3.
3. Pada modulasi orde 16, antara 16-QPSK dan 16-QAM memiliki performa yang baik pada parameter yang berbeda, yaitu 16-QPSK pada PSD dengan nilai 55.508 dBm berbanding 89.722 dBm dan 16-QAM pada BER dengan nilai 2.72e-3 berbanding 6.34e-3.
4. Pada modulasi yang secara teoretis setara, yaitu modulasi BPSK, QPSK, dan QAM, modulasi yang memiliki performa terbaik pada parameter BER adalah BPSK dengan 2.57E-5, diikuti oleh QAM dengan 2.81e-5, dan QPSK dengan 2.61e-3.

5. Pada modulasi yang secara teoretis setara, nilai rerata PSD modulasi BPSK, QPSK, dan QAM masing-masing yaitu, 55.651 dBm, 59.589 dBm, dan 66.436 dBm. Urutan performa terbaik untuk parameter PSD adalah modulasi BPSK, QPSK, dan QAM.
6. Sistem MIMO yang direpresentasikan dengan *Orthogonal Space Time Block Code (OSTBC)* mereduksi nilai BER, terutama pada *noise* yang pada penelitian ini diuji pada kanal *multipath.*
7. Pada model modulasi yang menggunakan OSTBC sebagai representasi sistem MIMO, *signal analyzer* memiliki dua buah sinyal berbeda, yaitu sinyal dengan warna kuning dan biru yang memiliki level identik satu sama lain.
8. Untuk membuat modulasi-modulasi yang diuji memiliki kelayakan untuk diterapkan pada sistem telekomunikasi, maka nilai Eb/No. yang diperlukan lebih dari 5. Hal ini dikarenakan, dengan nilai Eb/No. 5, belum ada modulasi yang diuji yang memenuhi persyaratan performa BER yaitu 1e-6.
9. Efek *Doppler* pada model ini tidak terlalu berpengaruh, karena hanya diset bernilai 0.1. Ini berarti, pergerakan relatif antara perangkat telekomunikasi yang digunakan hanya diasumsikan bergerak secara lambat atau bahkan diam.

5.2. Saran

Dalam pemilihan teknik modulasi, selain memperhitungkan suatu sistem telekomunikasi secara ideal, perlu juga memperhatikan keadaan lingkungan sekitar. Jika terlalu banyak penghalang, yang membuat sulit tercapainya keadaan *line of sight*, maka akan membuat sistem tidak berjalan secara efisien, membutuhkan daya yang terlalu besar untuk mendapatkan nilai BER yang kecil. Selain itu, jarak juga perlu diperhatikan, agar derau yang terjadi dikarenakan

multipath masih dalam batas tertentu yang tidak mengganggu proses transfer simbol secara keseluruhan.

Penggunaan sistem MIMO memang membantu membuat suatu sistem telekomunikasi secara umum lebih baik. Namun, kita juga perlu memperhitungkan daya yang diperlukan untuk membuat sistemnya aktif. Seperti penelitian ini, sistem yang menggunakan blok OSTBC sebagai representasi sistem MIMO memiliki nilai PSD yang jauh lebih tinggi ketimbang yang tidak menggunakan blok OSTBC (BFSK). Penggunaan sistem MIMO ini akan menunjang nilai BER yang kecil, namun berimbas pada penggunaan daya yang besar. Perekayasa perlu memperhitungkan mengenai untung dan rugi penggunaan sistem MIMO, karena sistem akan terus menyala selama 24 jam sehari, sehingga menghabiskan daya yang tidak sedikit.

DAFTAR PUSTAKA

Mesiya, M. F. (2015). *Contemporary Communication System.* New York: McGraw-Hill International Edition.

Digital Modulation In Communication System, Aplication note 1298, Agilent Technologies (2005).

http://www.mathworks.com

Attia, John. O. (1999). *Electronics and Circuit Analysis Using Matlab.* CRC Press LLC, 2000 Corporate Blvd. N.W. , Boca Raton, Florida.

Hakim, M. L., & Santosi, I. (2010). *Analisis Kinerja Sistem MIMO-OFDM Pada Kanal Rayleigh dan AWGN Dengan Modulasi QPSK*. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro. Semarang.

Gill, John. (2014). *Communication System, Lecture Notes, Handout.* Stanford University. UK.

Vlajic, N.(2010). *Analog Transmission of Digital Data: ASK, FSK, PSK, QAM.* Stanford University. UK.

Madhow, Umpamanyu. (2008). *Fundamentals of Digital Communication.* Cambridge University Press. The Edinburgh Building, Cambridge CB2 8RU, UK.

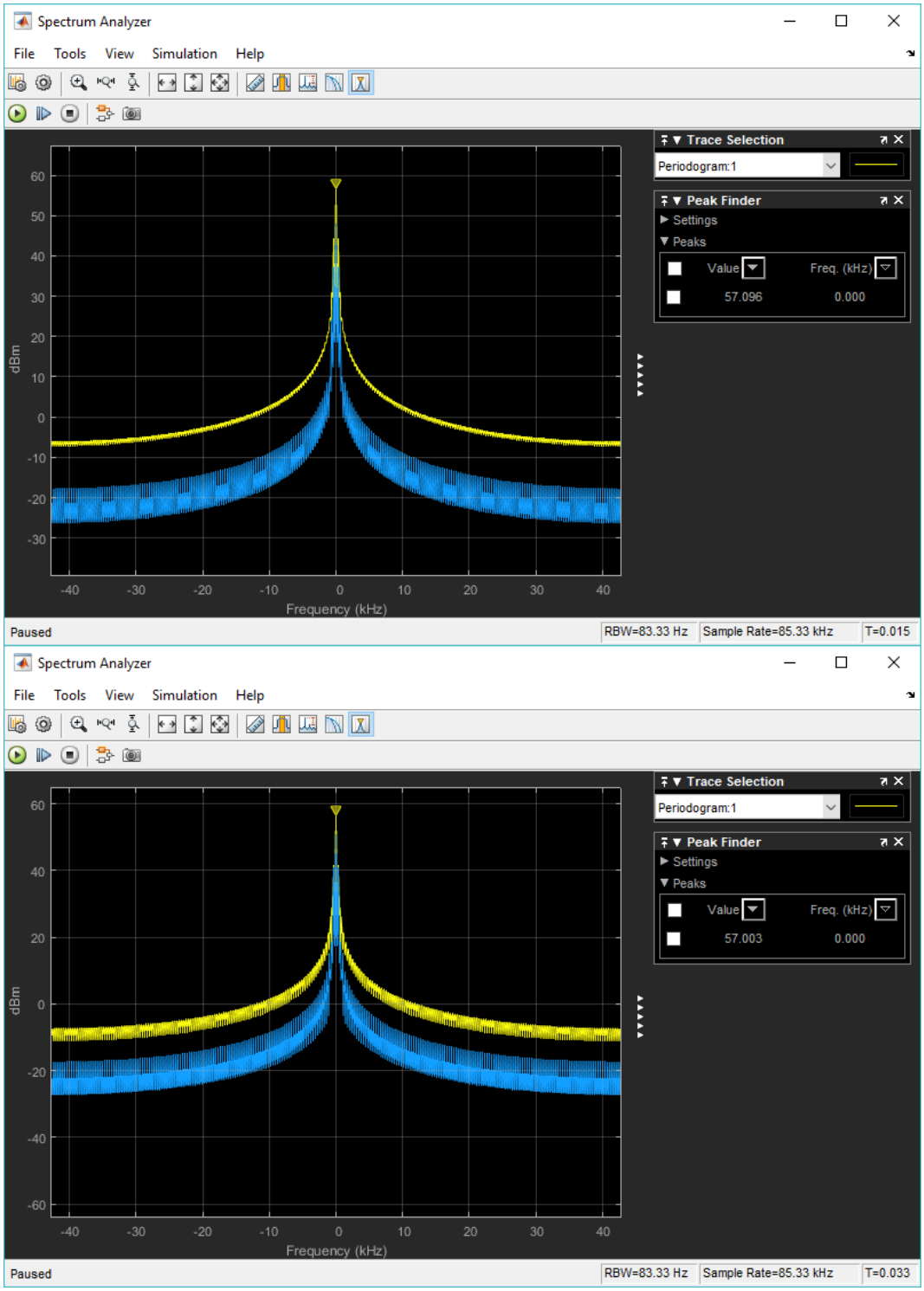
Gregorio, Fernando. (2005). *Space Time Code for MIMO Systems, S72.333-Postgraduate Course.* Helsinki Universisy of Technology, Finland.

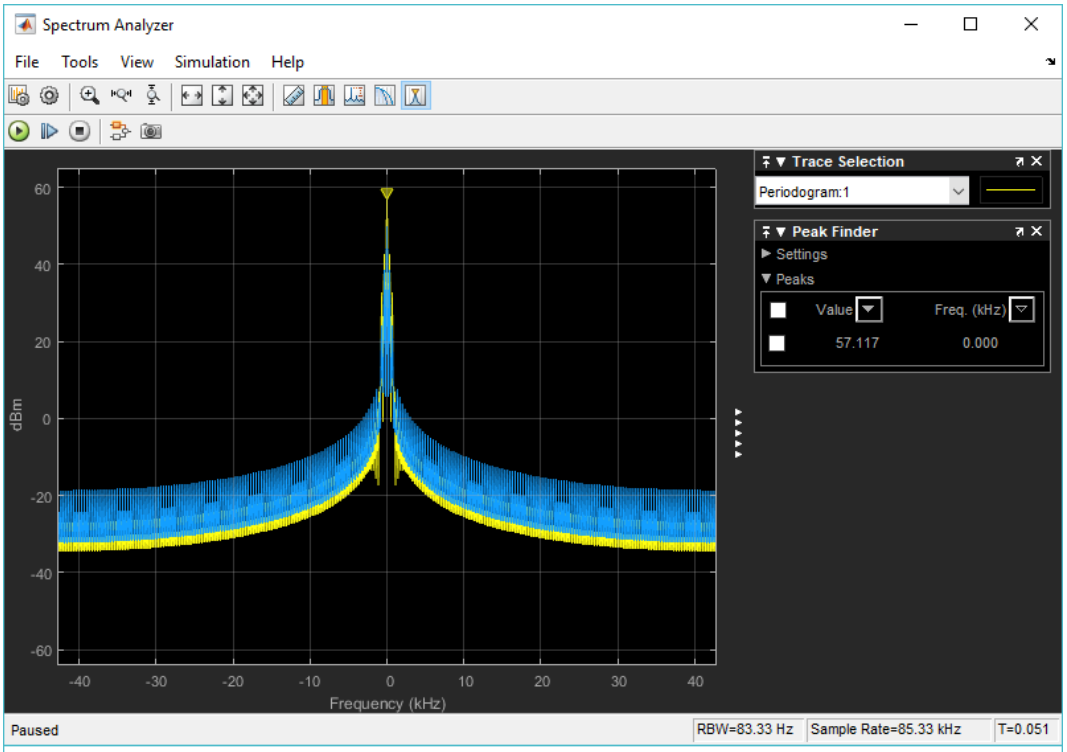
Buku Panduan Penyusunan Skripsi dan Non Skripsi. (2015). Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta. Jakarta.

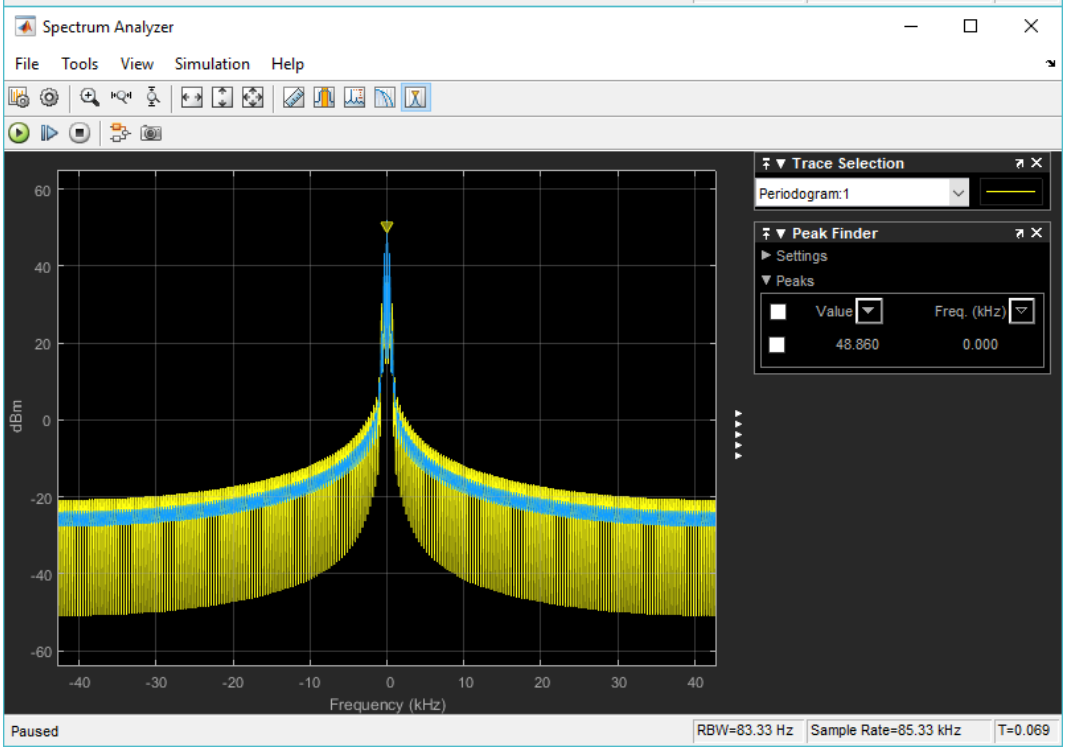
LAMPIRAN-LAMPIRAN

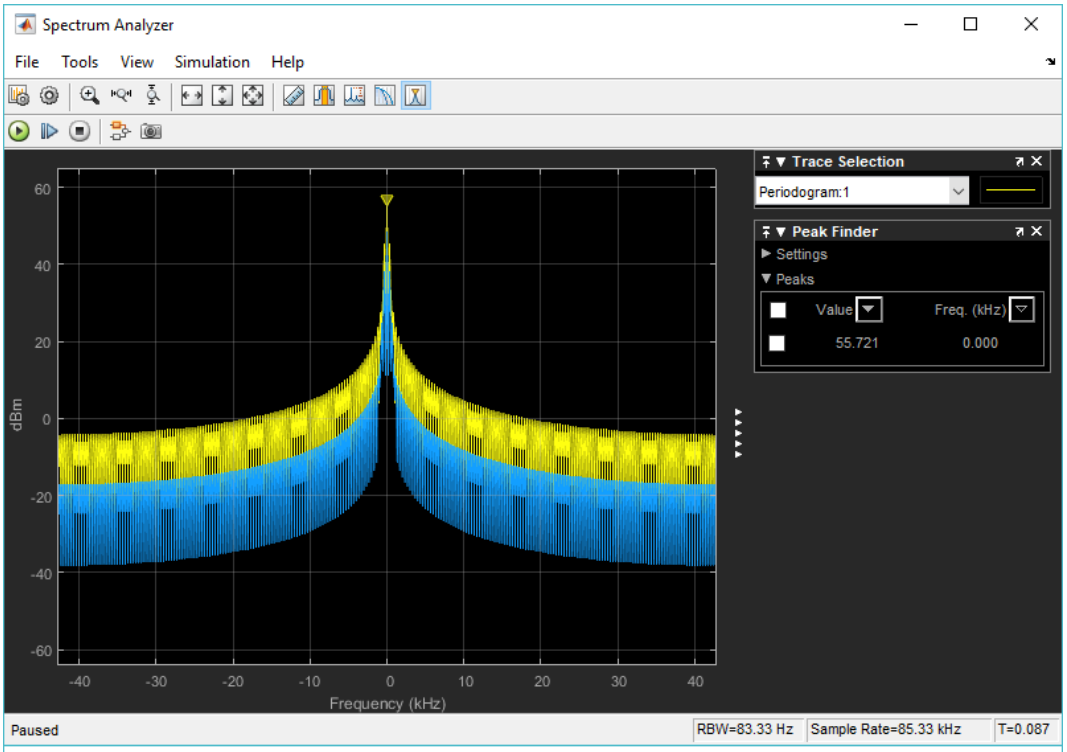
Lampiran 1. Gambar Cuplik *Signal Analyzer* Hasil Pengukuran PSD

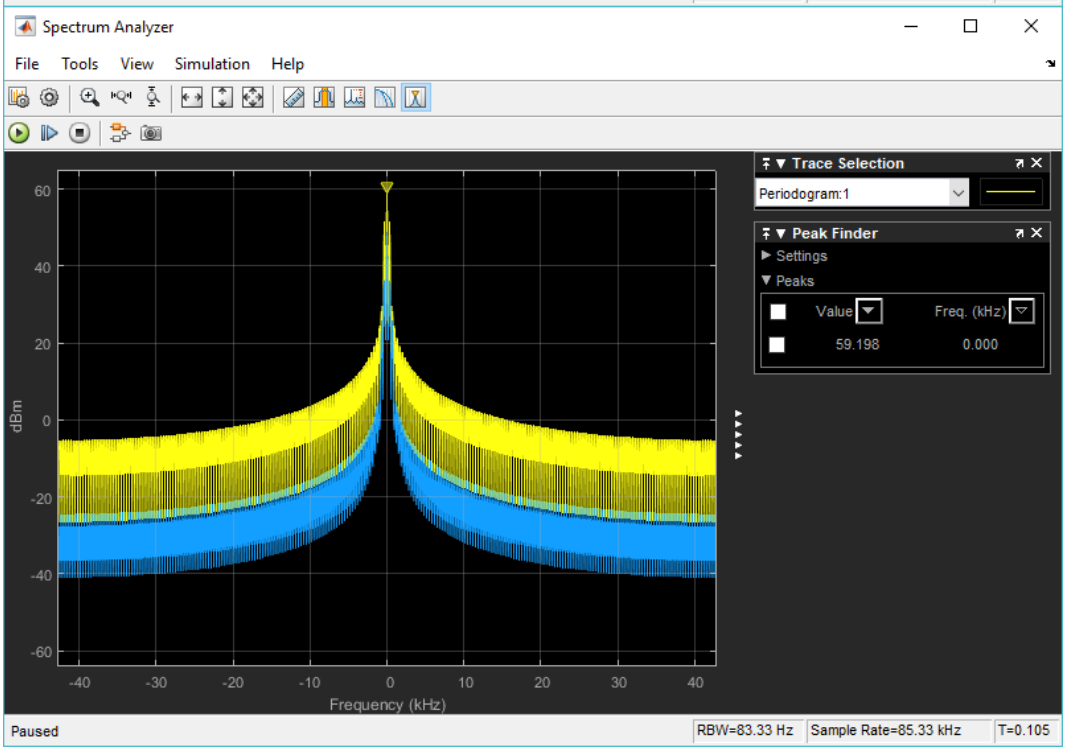
1. Modulasi BPSK

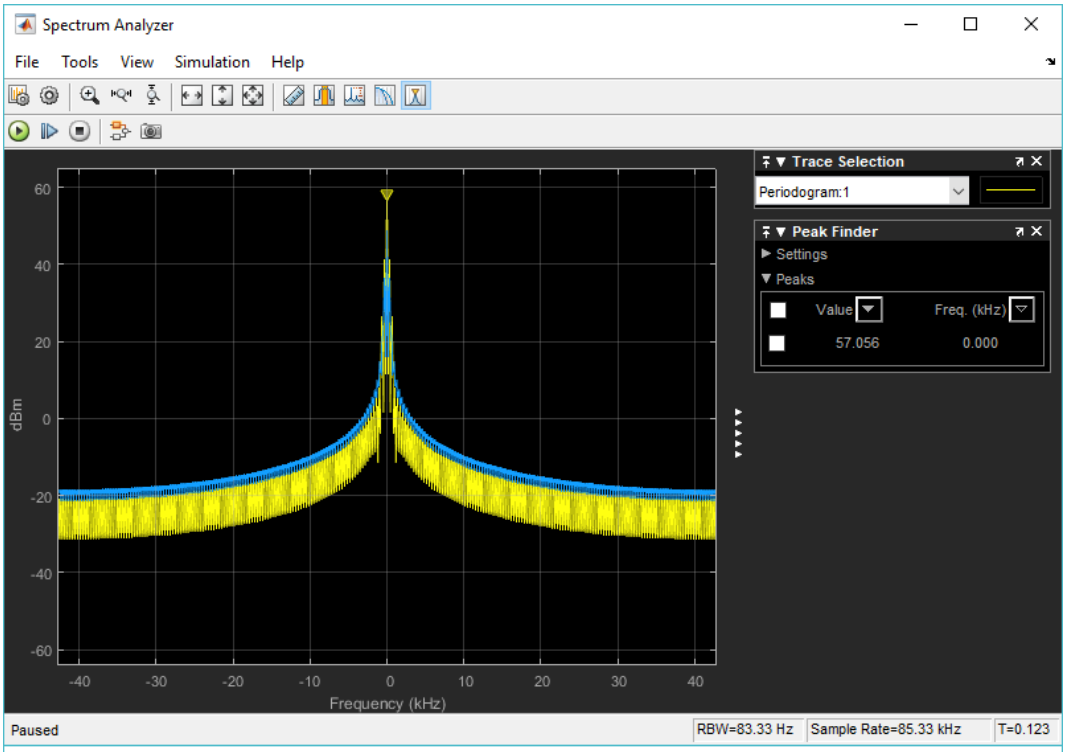


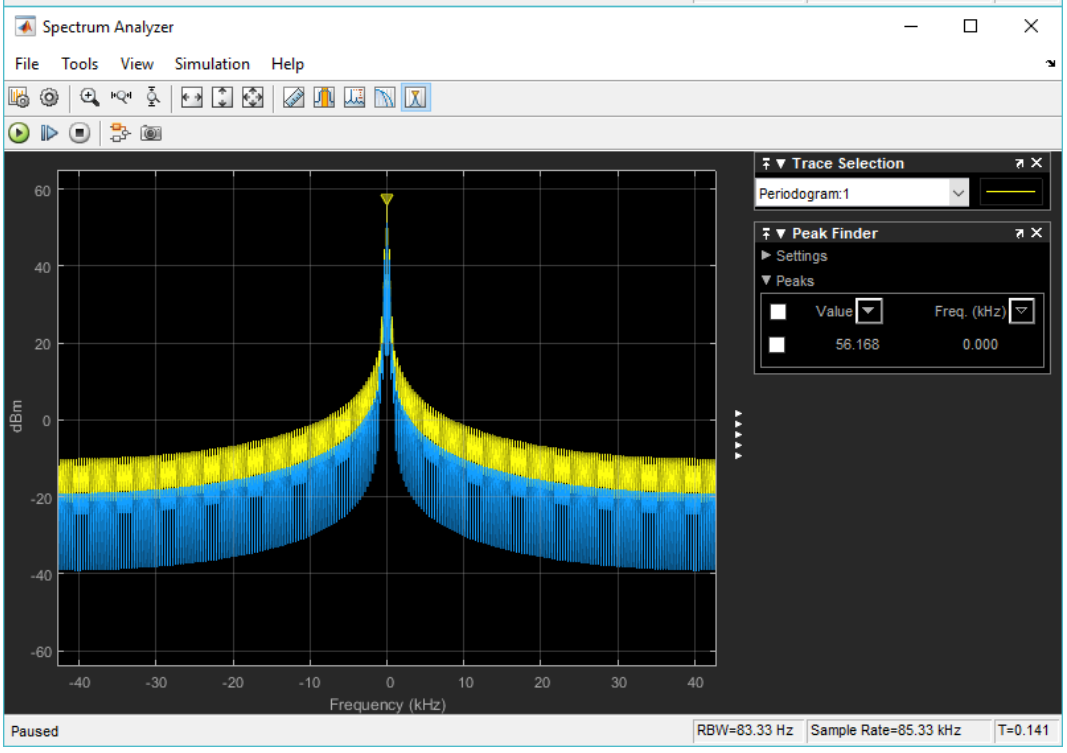

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram:1
Peak Finder
Settings
Peaks
Value
Freq. (kHz)
57.117
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.051

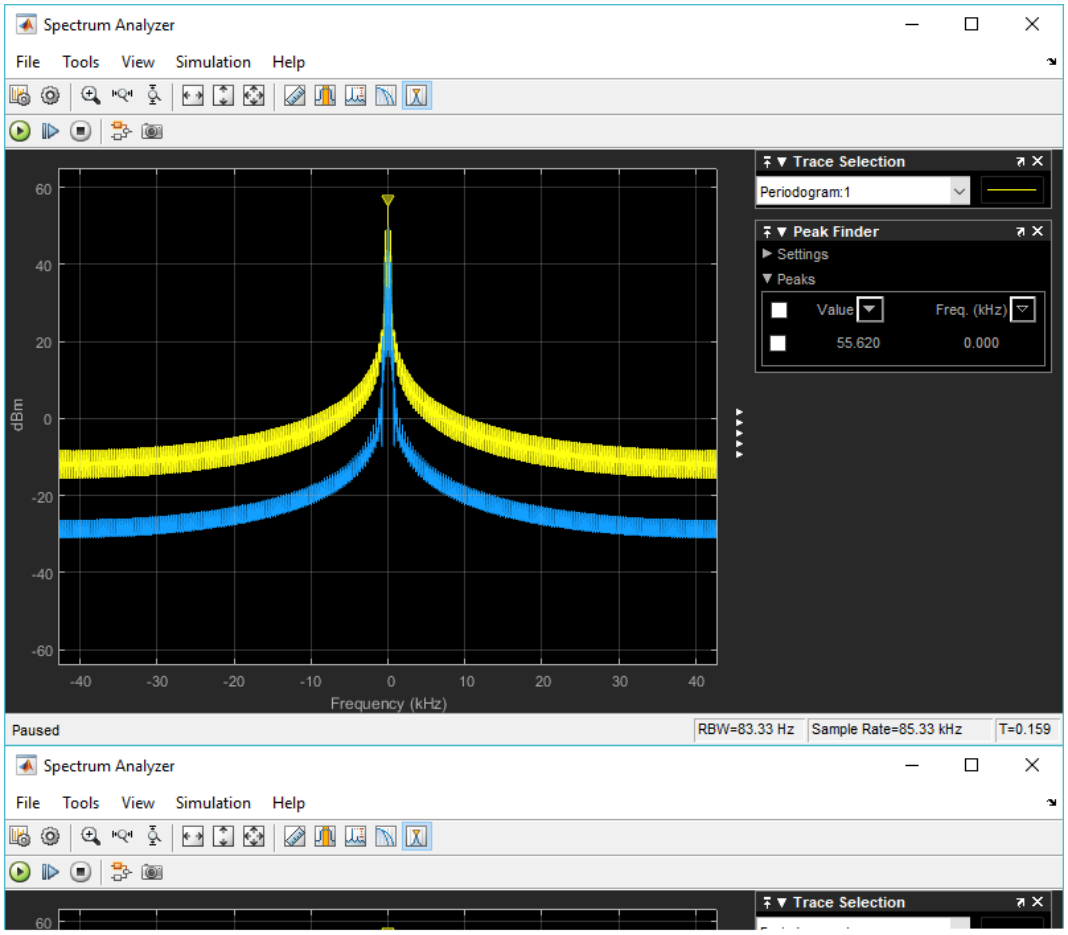

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram:1
Peak Finder
Settings
Peaks
Value
Freq. (kHz)
48.860
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.069


Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram:1
Peak Finder
Settings
Peaks
Value
Freq. (kHz)
55.721
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.087

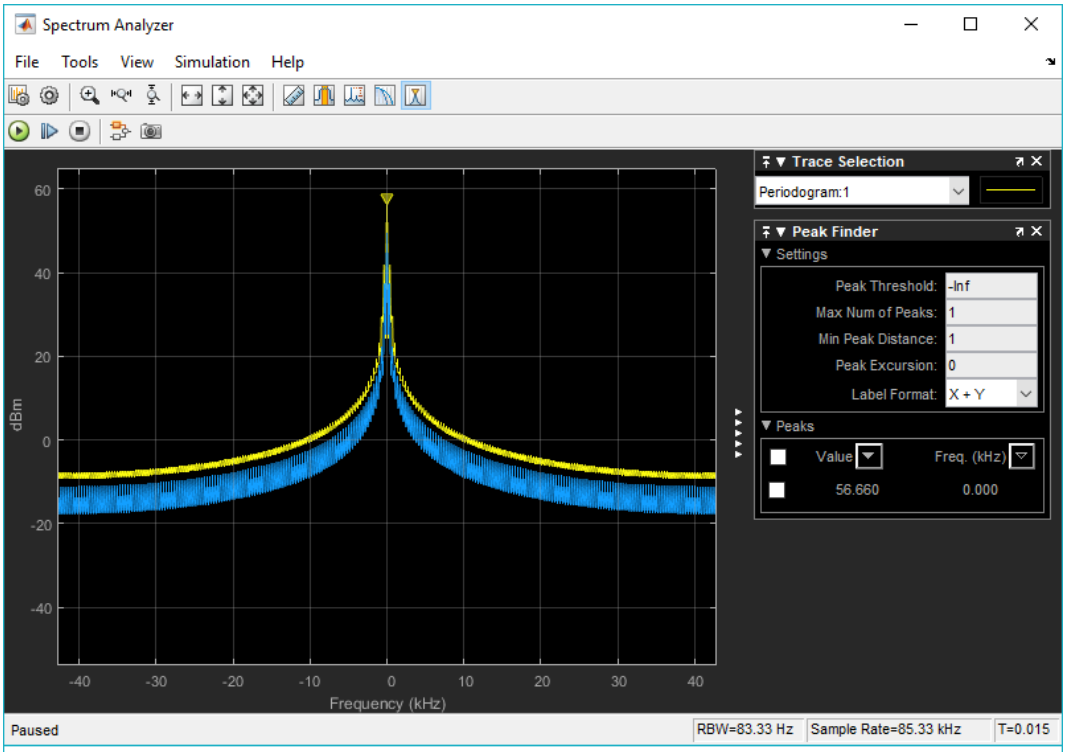

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram:1
Peak Finder
Settings
Peaks
Value
Freq. (kHz)
59.198
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.105

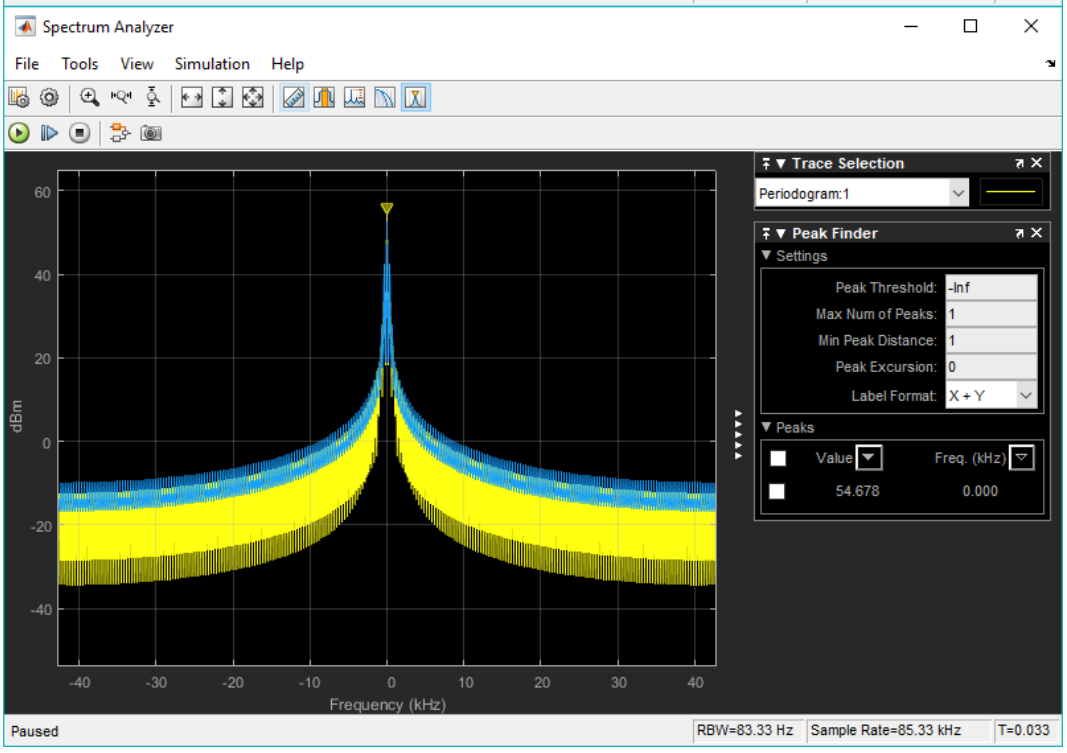

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram:1
Peak Finder
Settings
Peaks
Value
Freq. (kHz)
57.056
0.000
60
40
20
0
-20
-40
-60
dBm
-40 -30 -20 -10 0 10 20 30 40
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.123

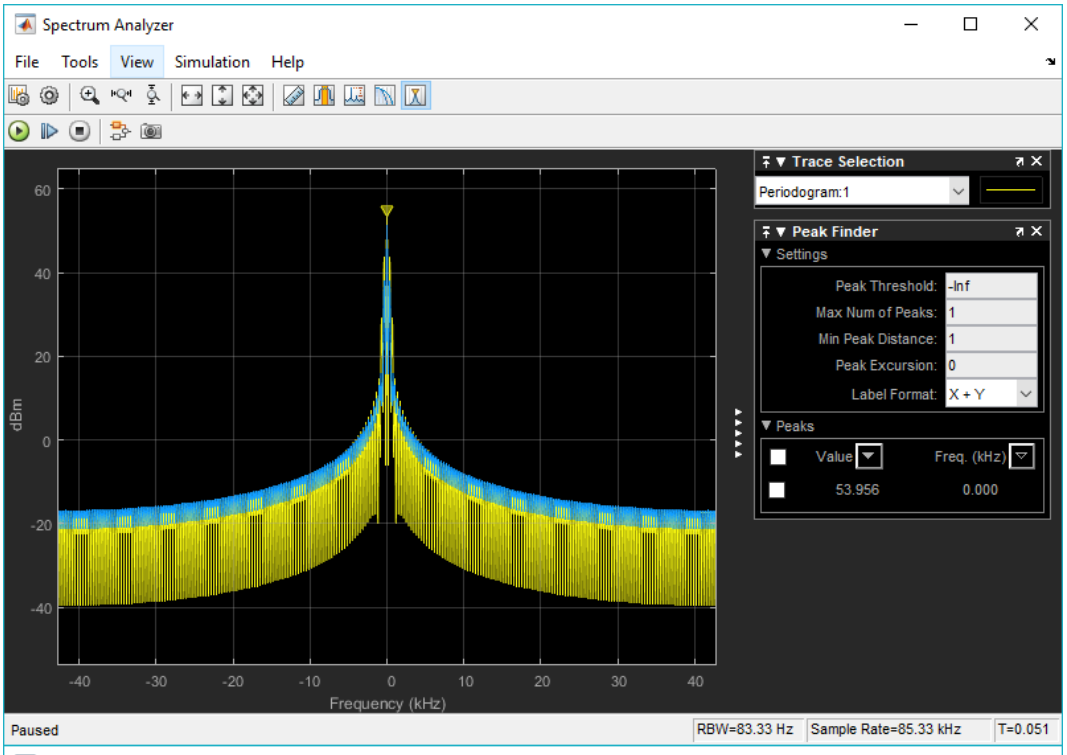

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram:1
Peak Finder
Settings
Peaks
Value
Freq. (kHz)
56.168
0.000
60
40
20
0
-20
-40
-60
dBm
-40 -30 -20 -10 0 10 20 30 40
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.141

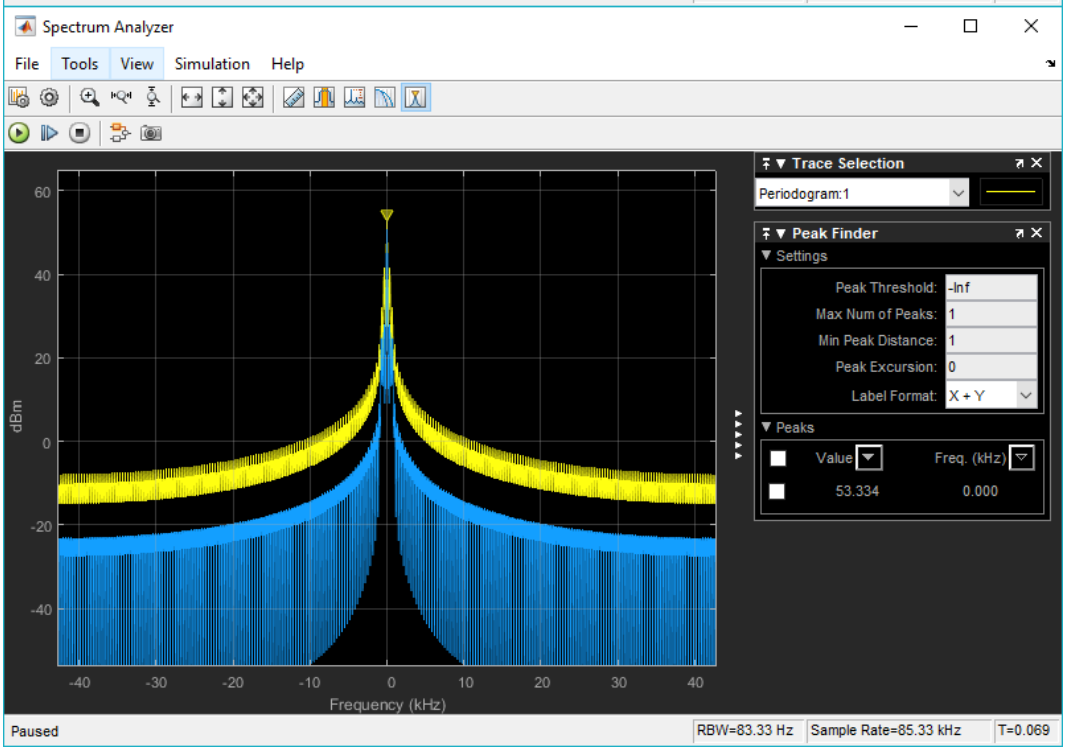

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram:1
Peak Finder
Settings
Peaks
Value
Freq. (kHz)
55.620
0.000
60
40
20
0
-20
-40
-60
dBm
-40 -30 -20 -10 0 10 20 30 40
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.159

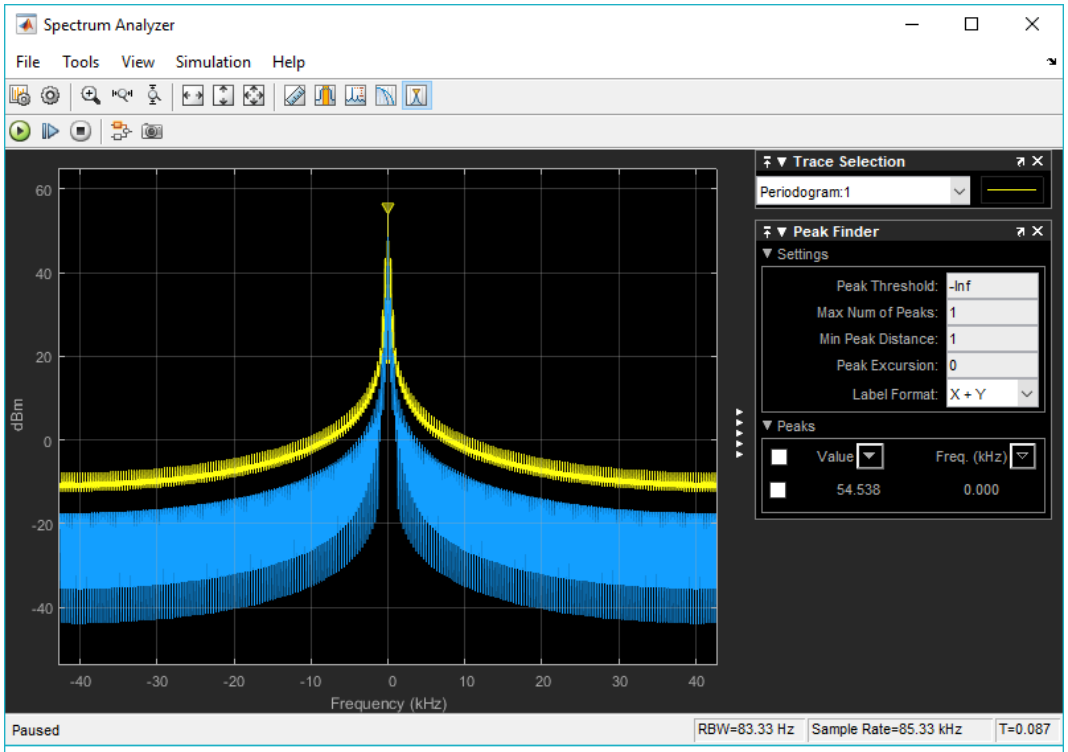
Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection

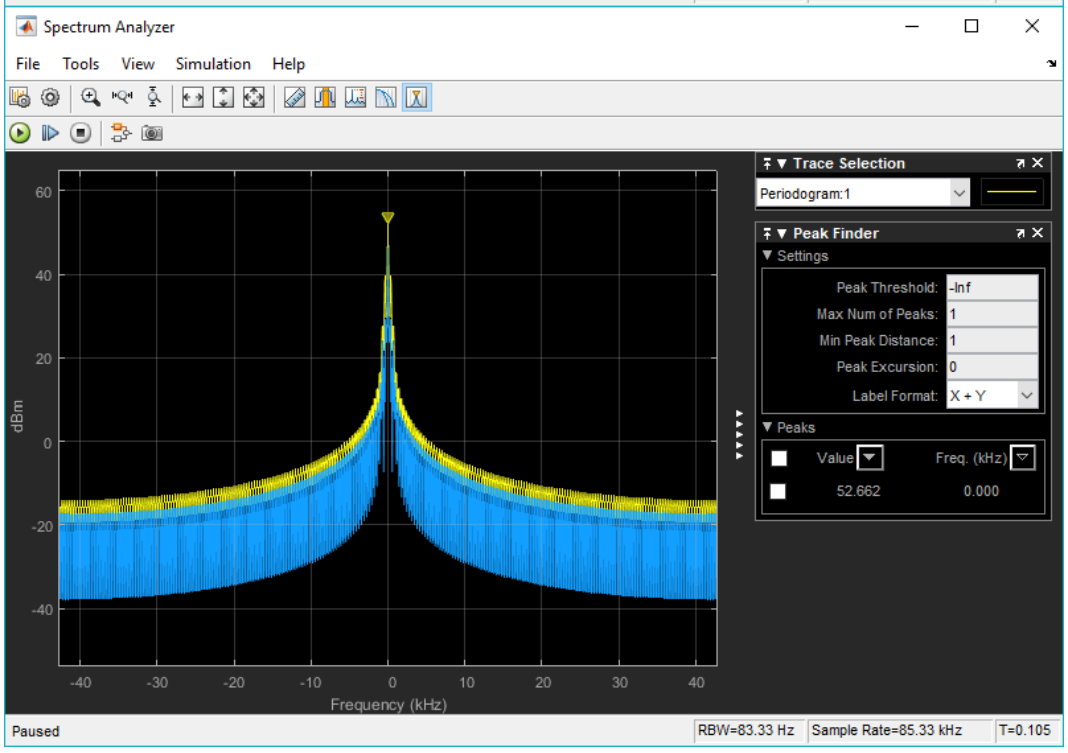

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram:1
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
56.660
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.015

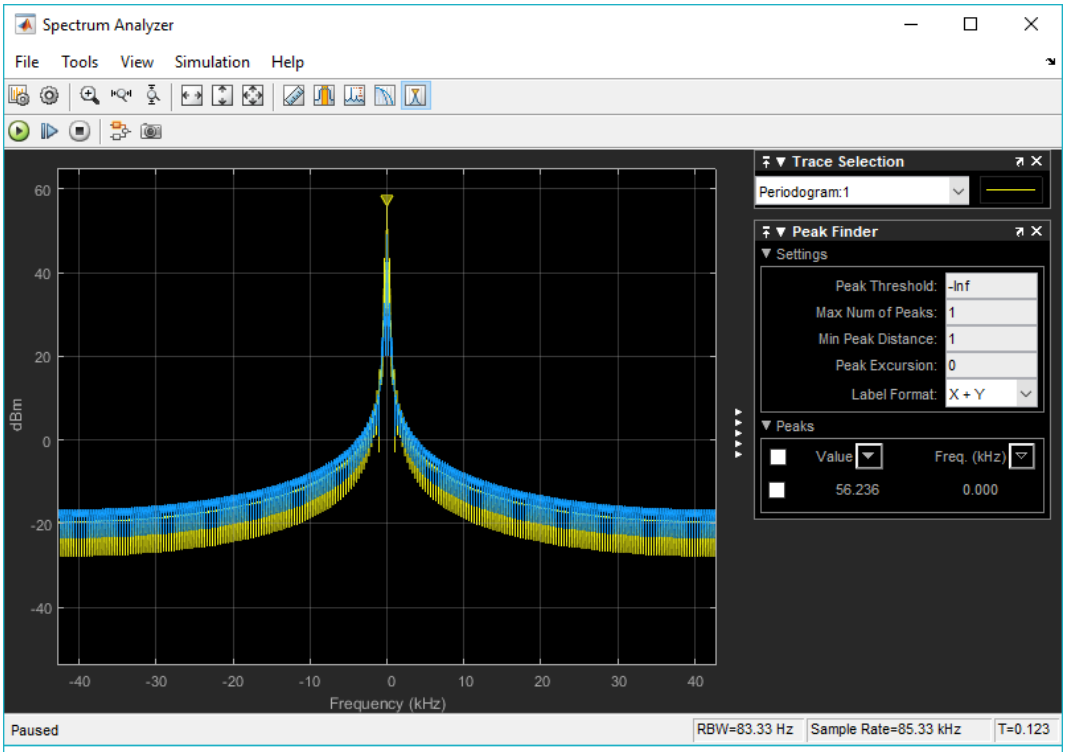

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram:1
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
54.678
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.033

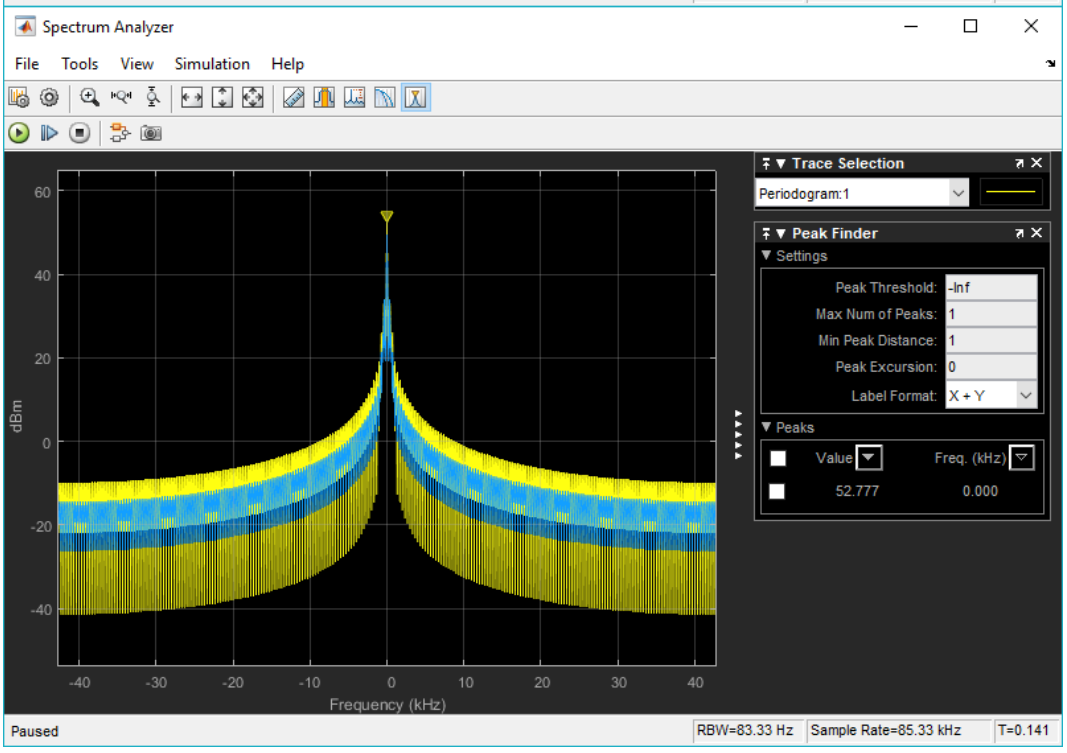

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram:1
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
53.956
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.051

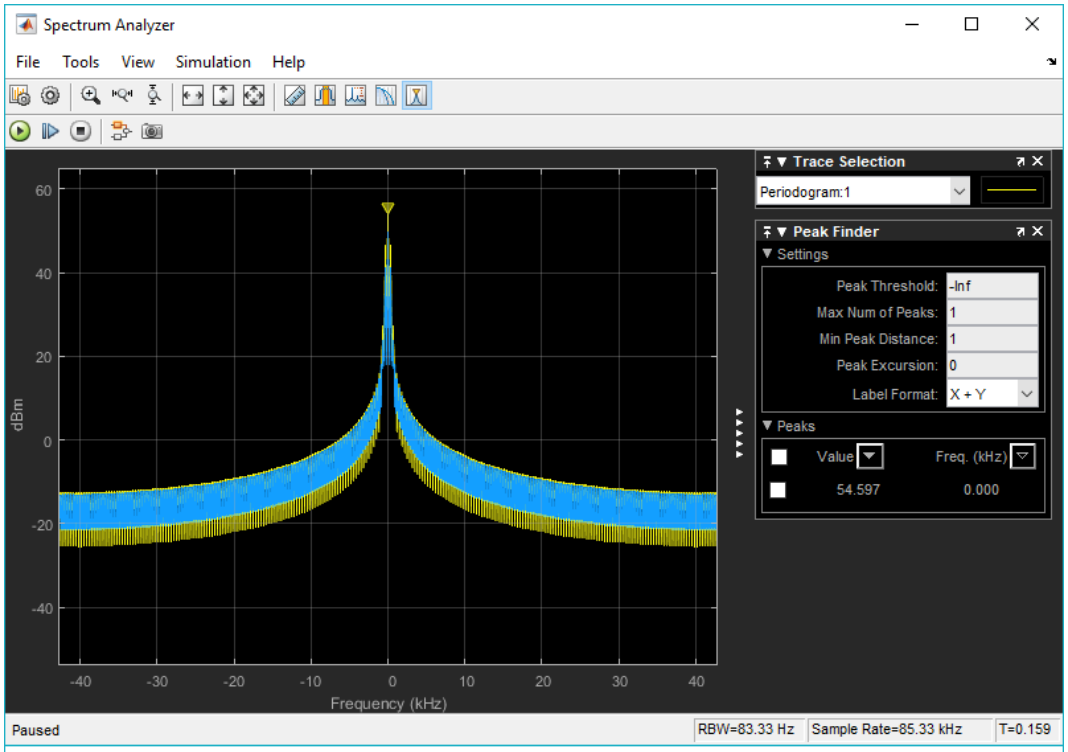

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram:1
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
53.334
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.069

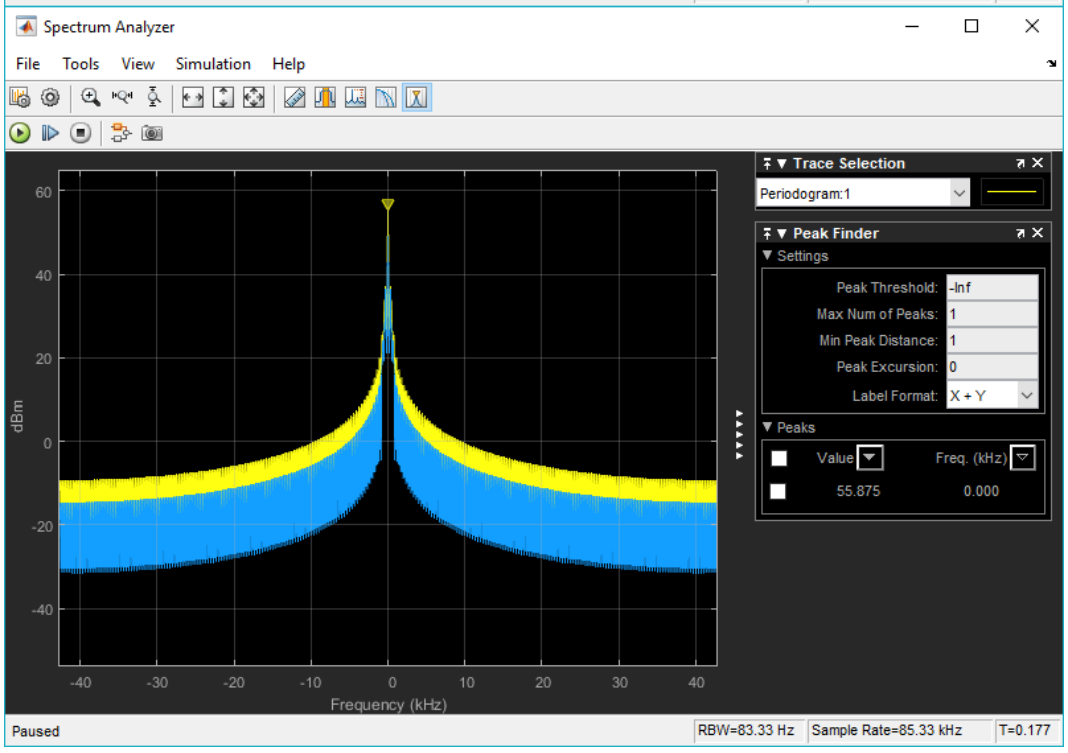

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram:1
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
54.538
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.087

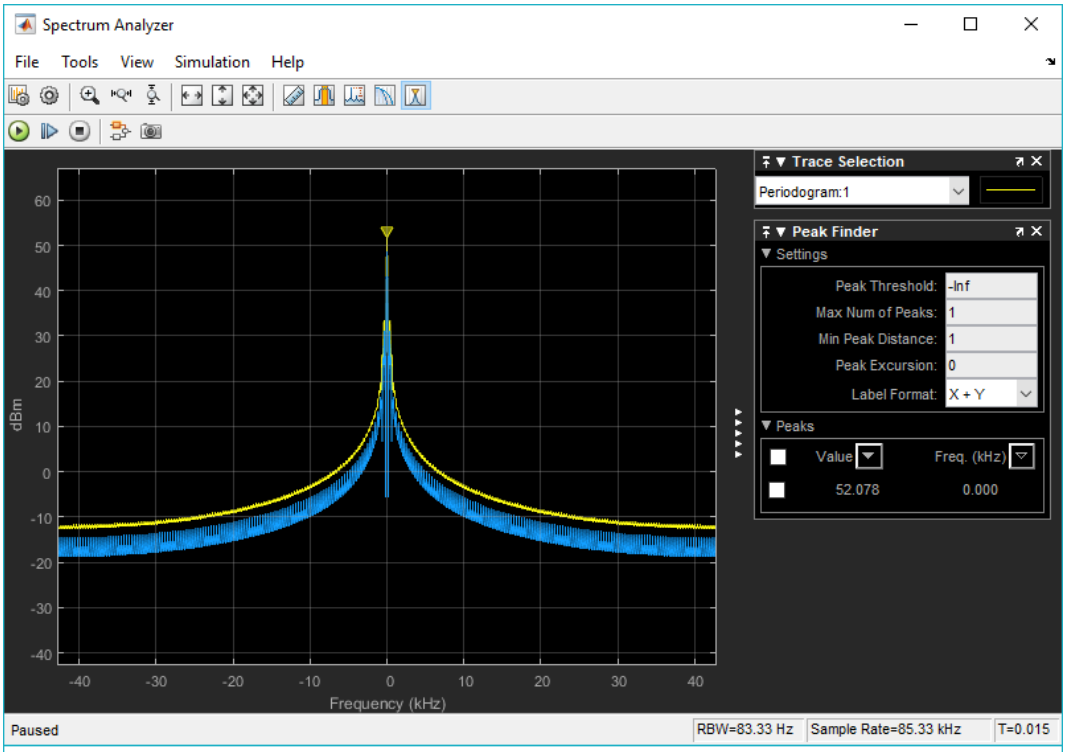

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram:1
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
52.662
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.105

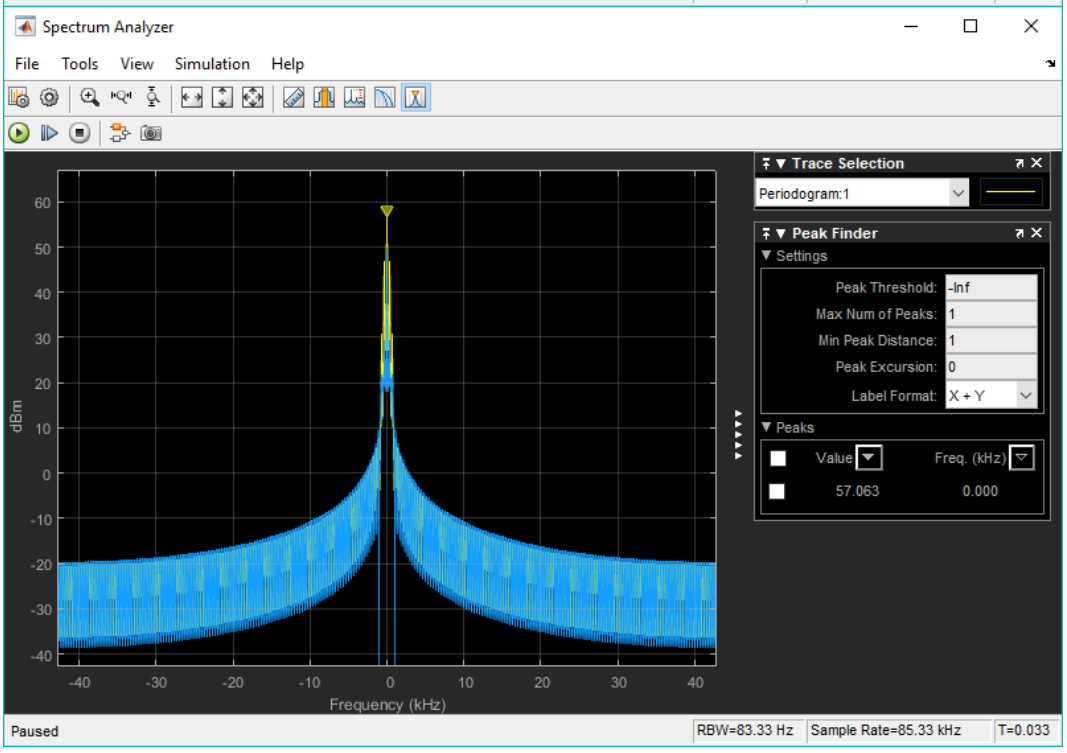

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram:1
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
56.236
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.123

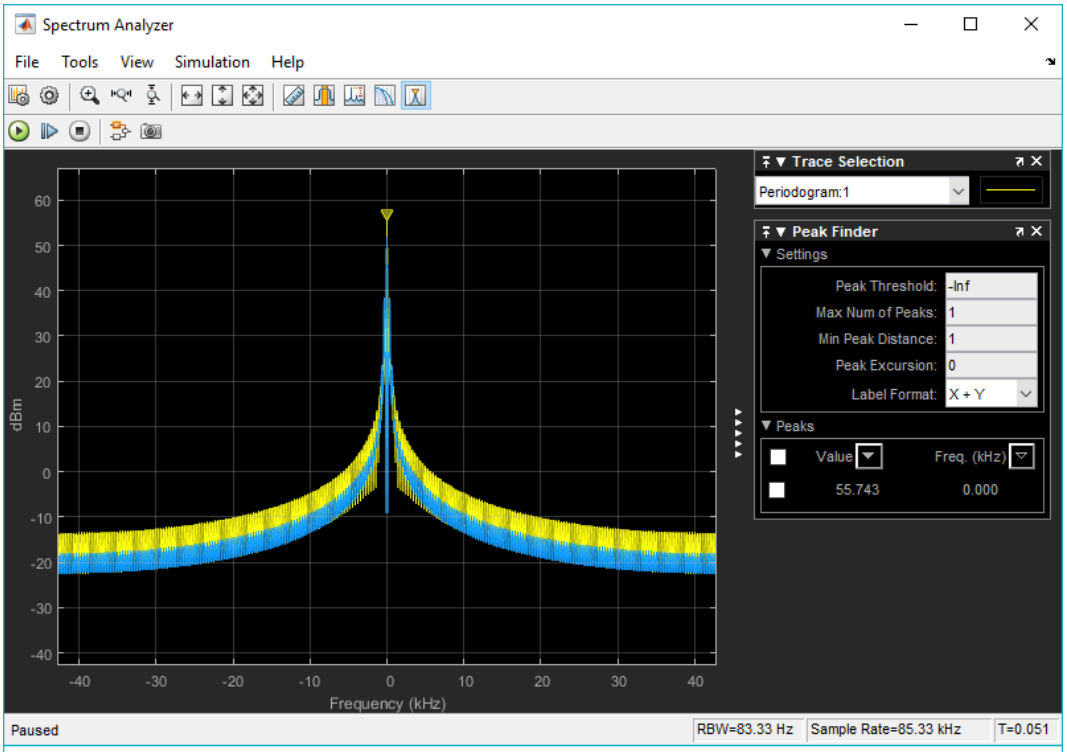

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram:1
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
52.777
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.141

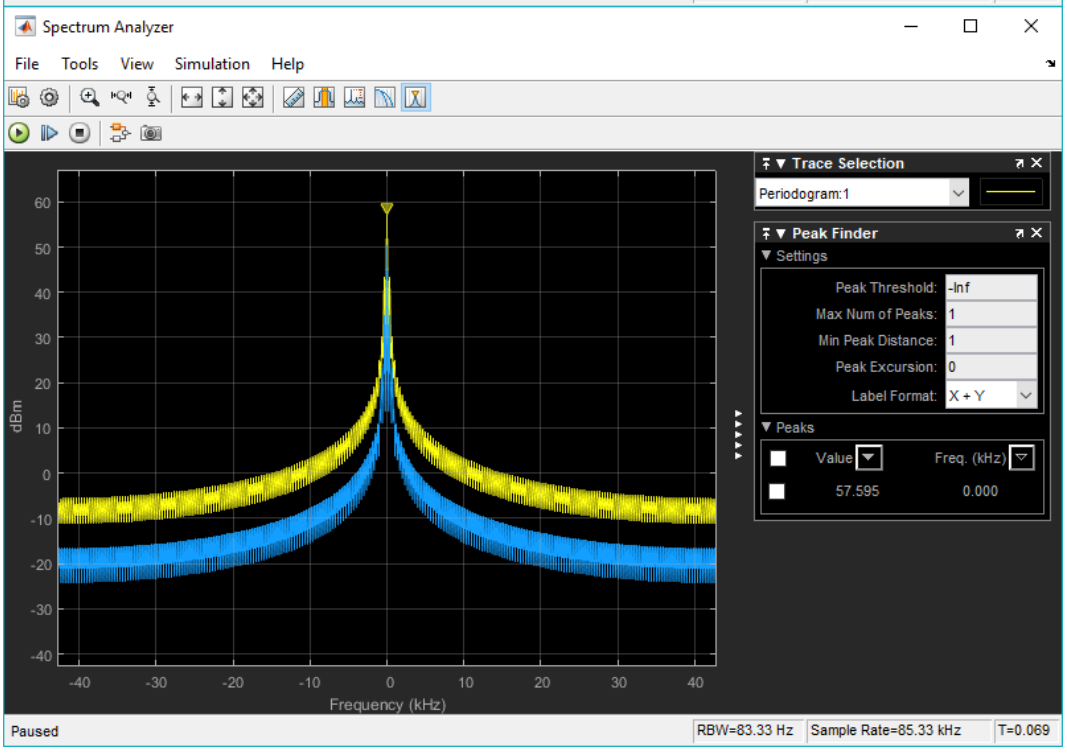

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram:1
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
54.597
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.159

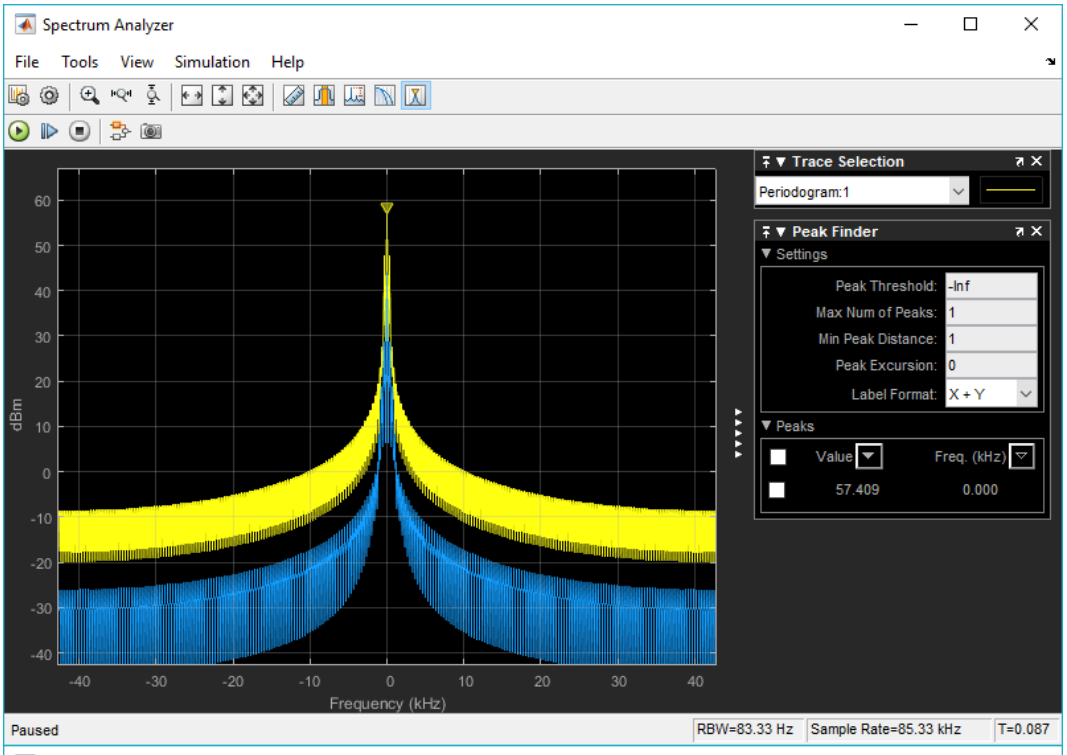

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram:1
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
55.875
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.177

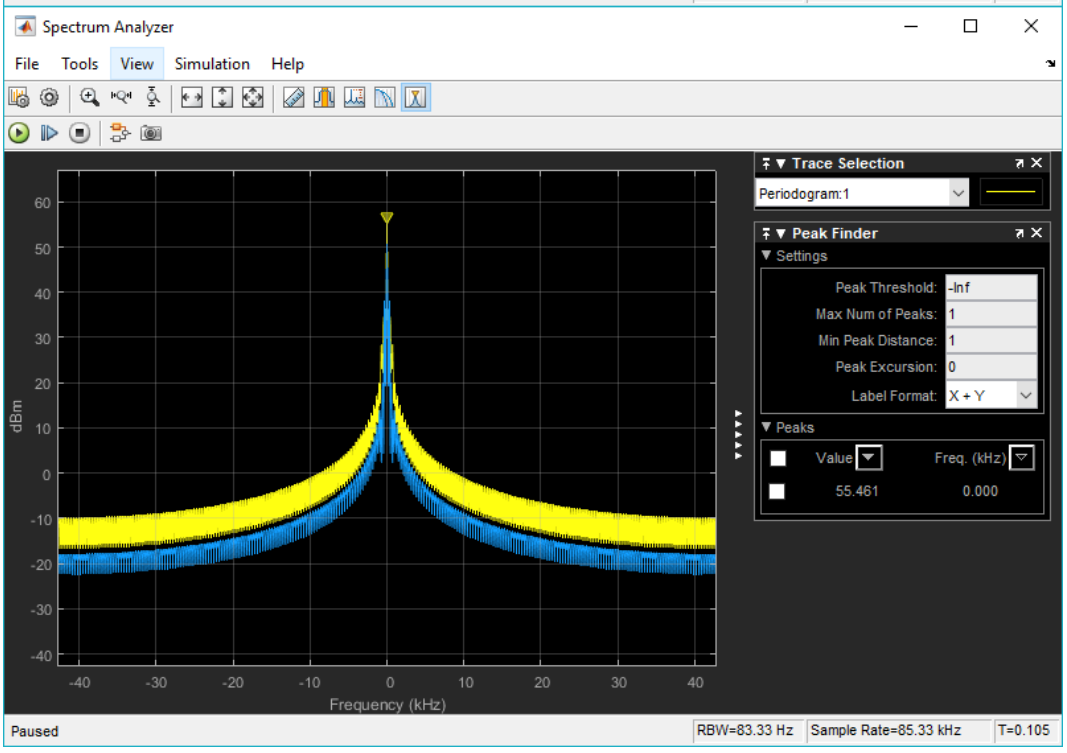

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram:1
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
52.078
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.015

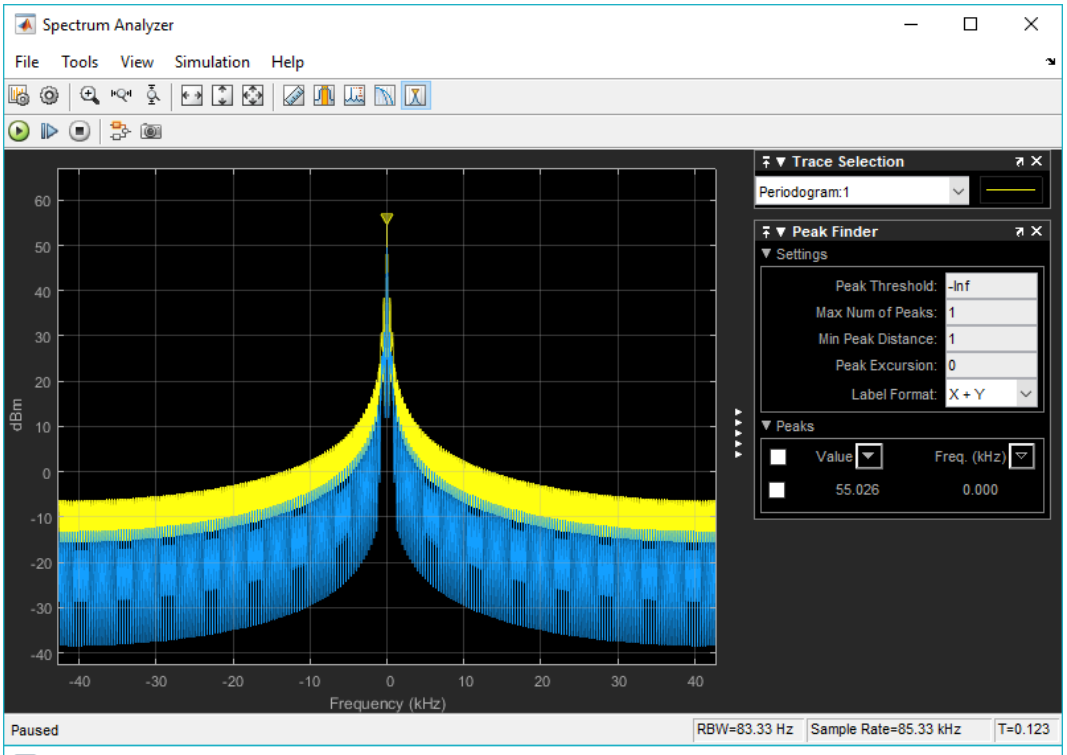

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram:1
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
57.063
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.033

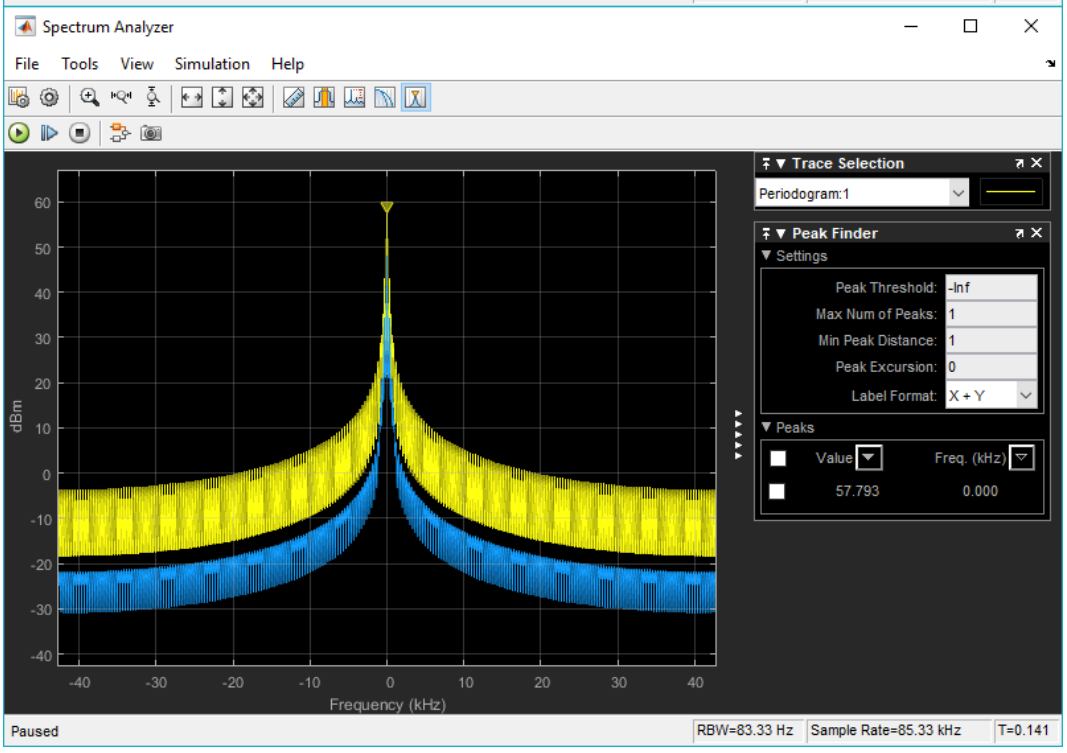

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram:1
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
55.743
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.051

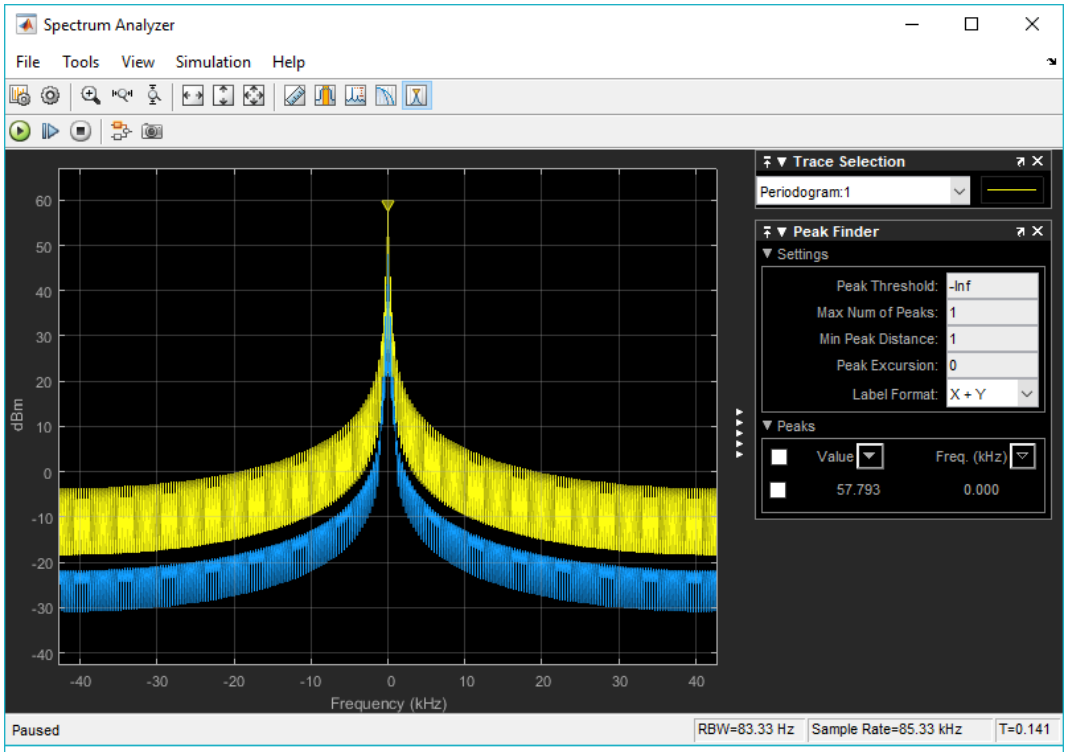

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram:1
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
57.595
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.069

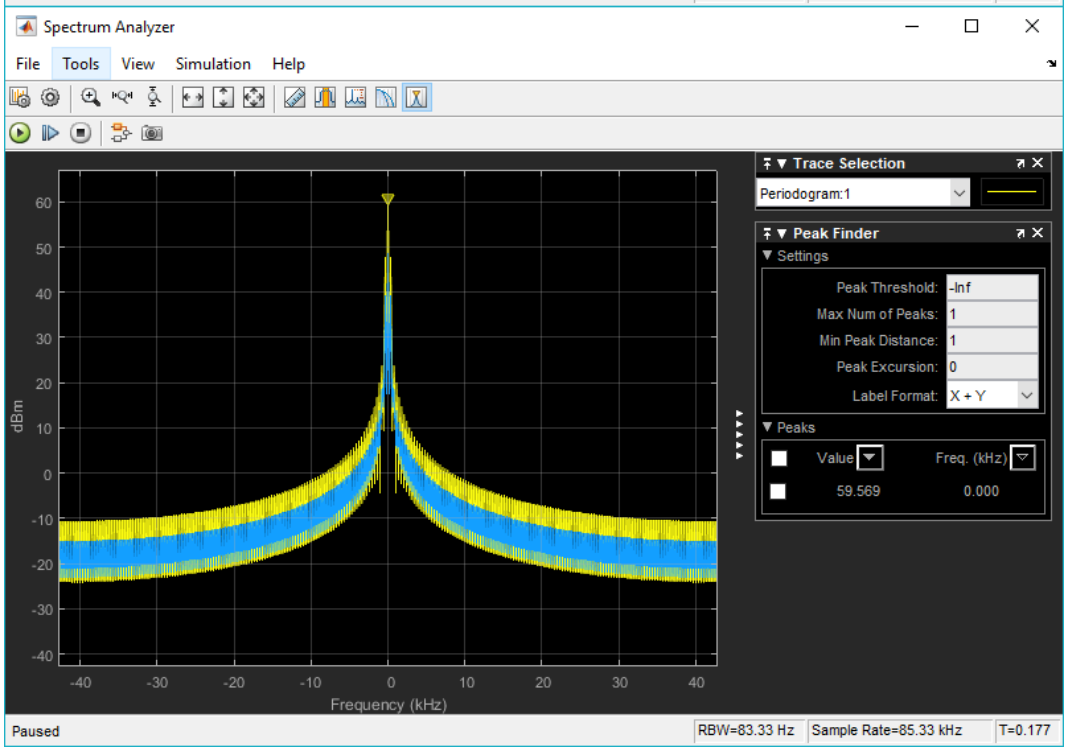

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram:1
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
57.409
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.087


Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram:1
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
55.461
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.105

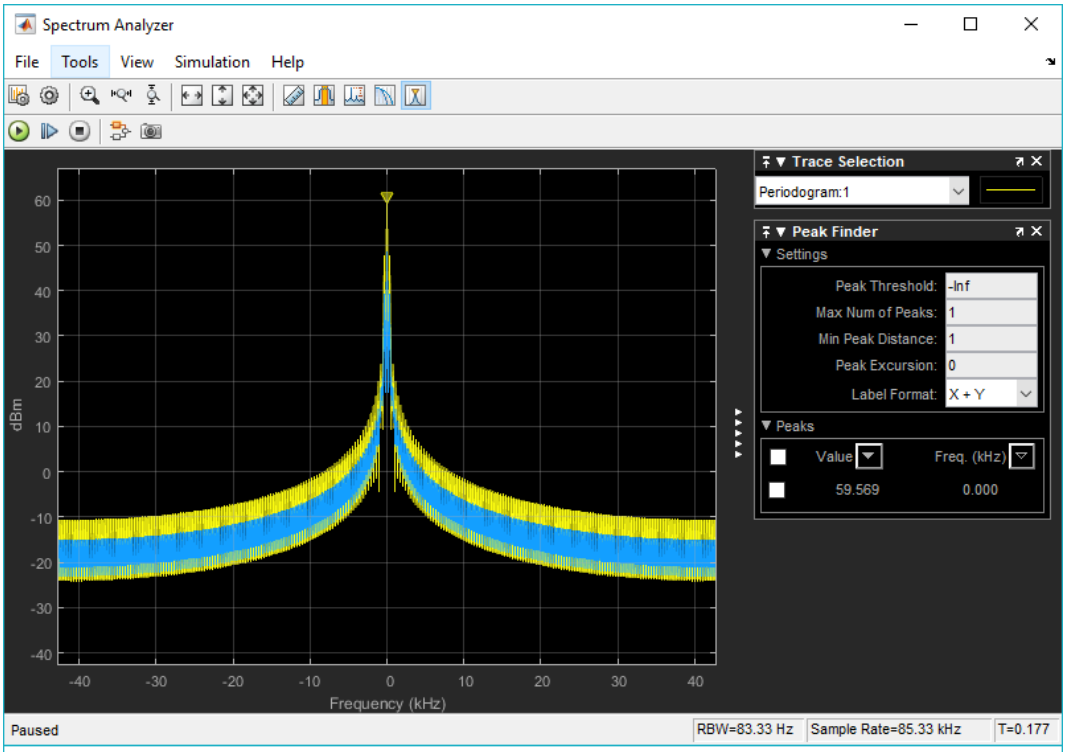

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram:1
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
55.026
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.123

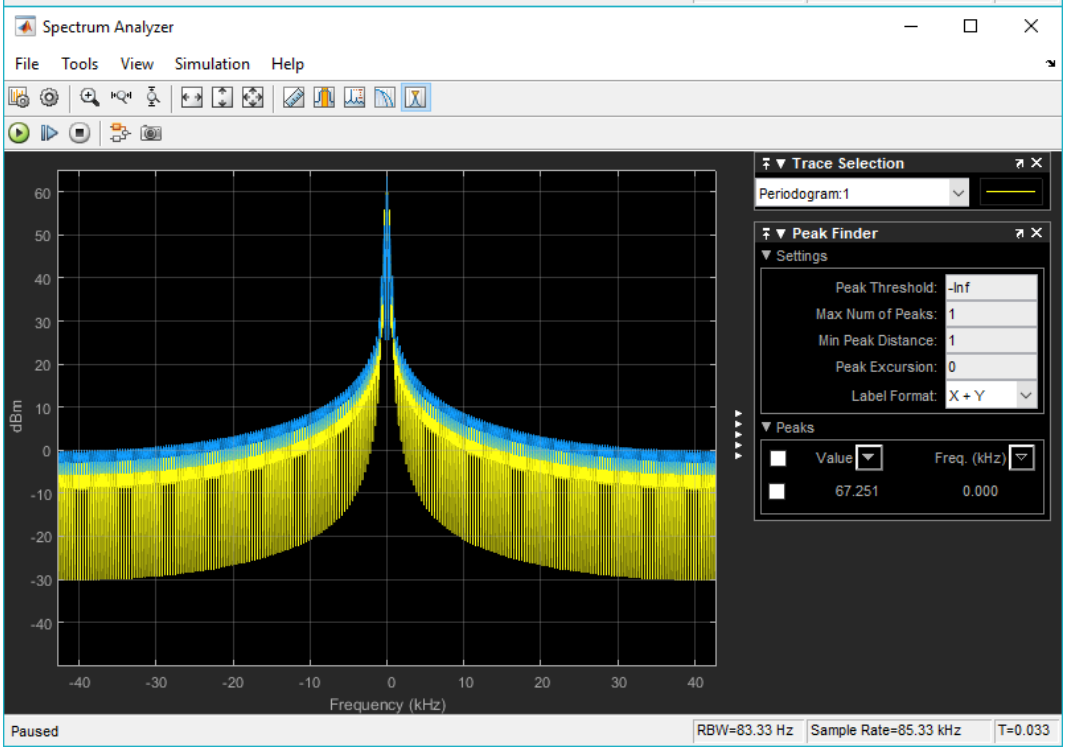

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram:1
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
57.793
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.141

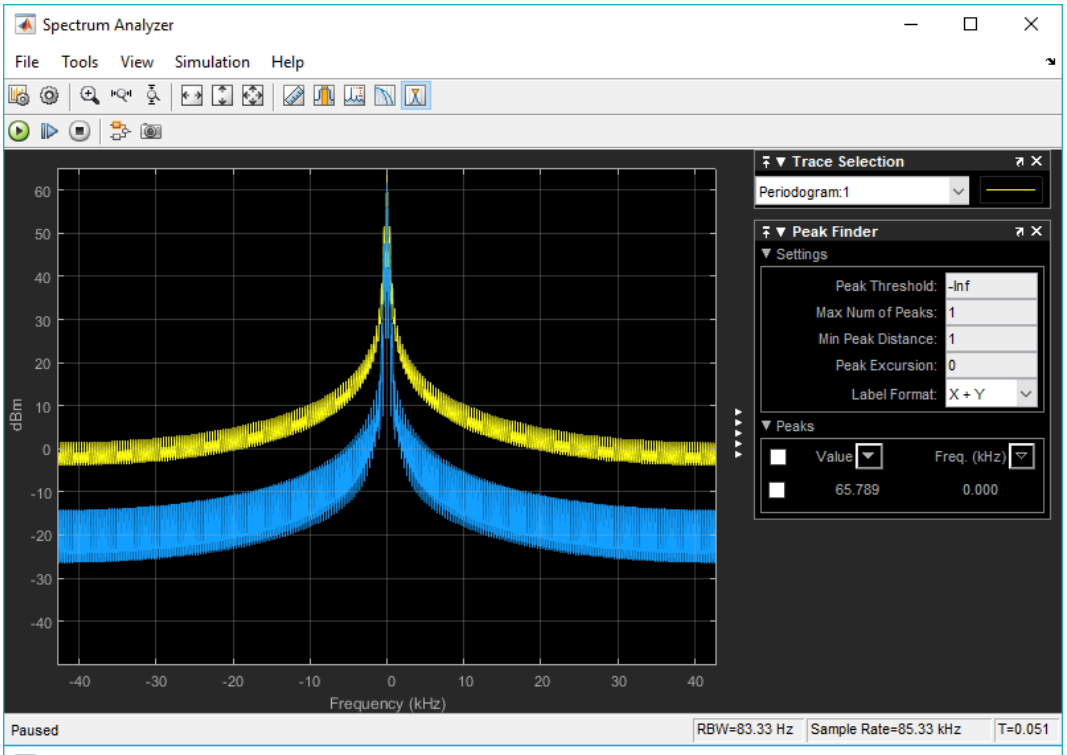


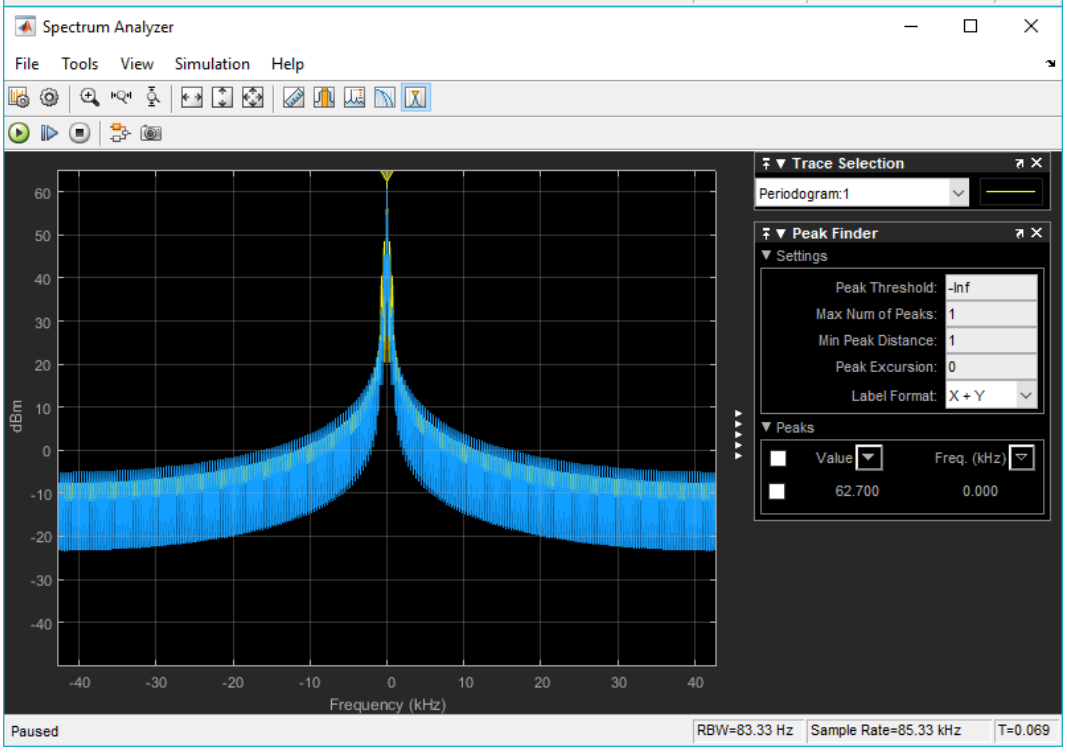


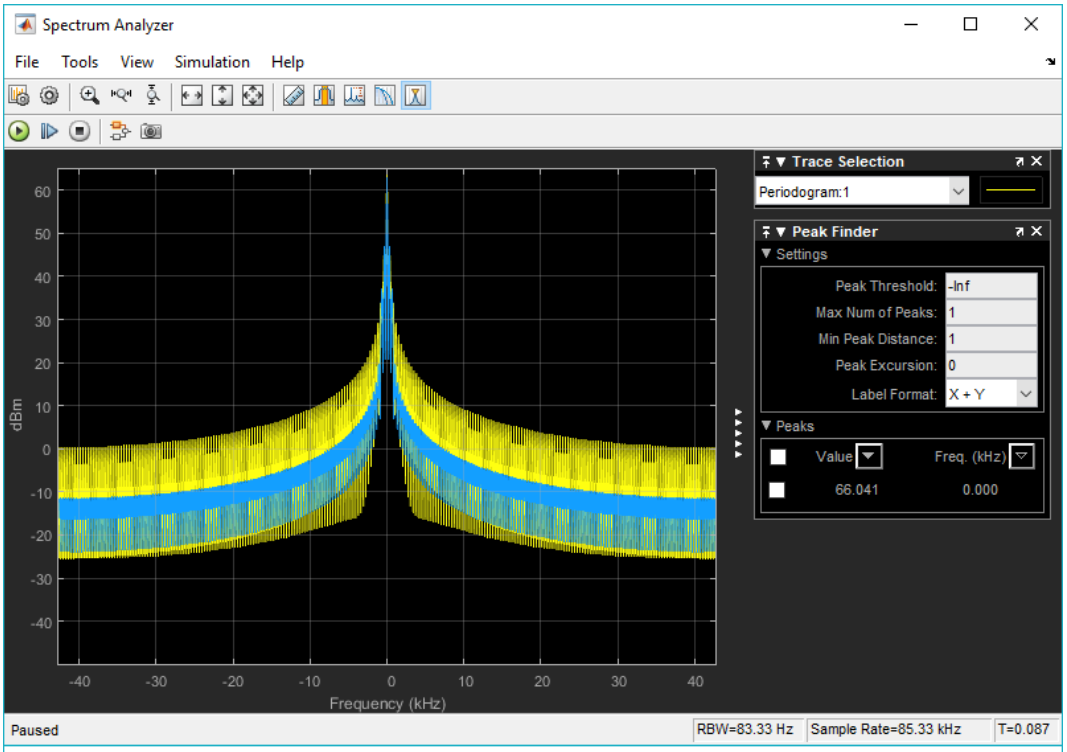
4. Modulasi QAM

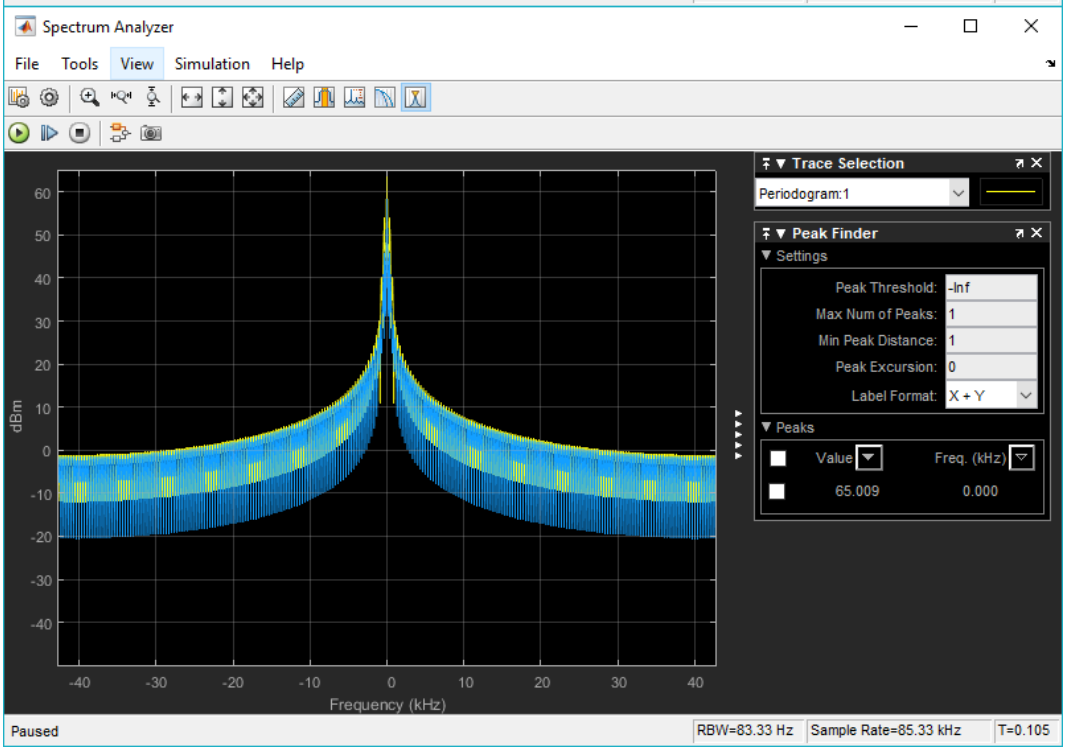

Spectrum Analyzer
File
Tools
View
Simulation
Help
Trace Selection
Periodogram:1
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
59.569
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.177

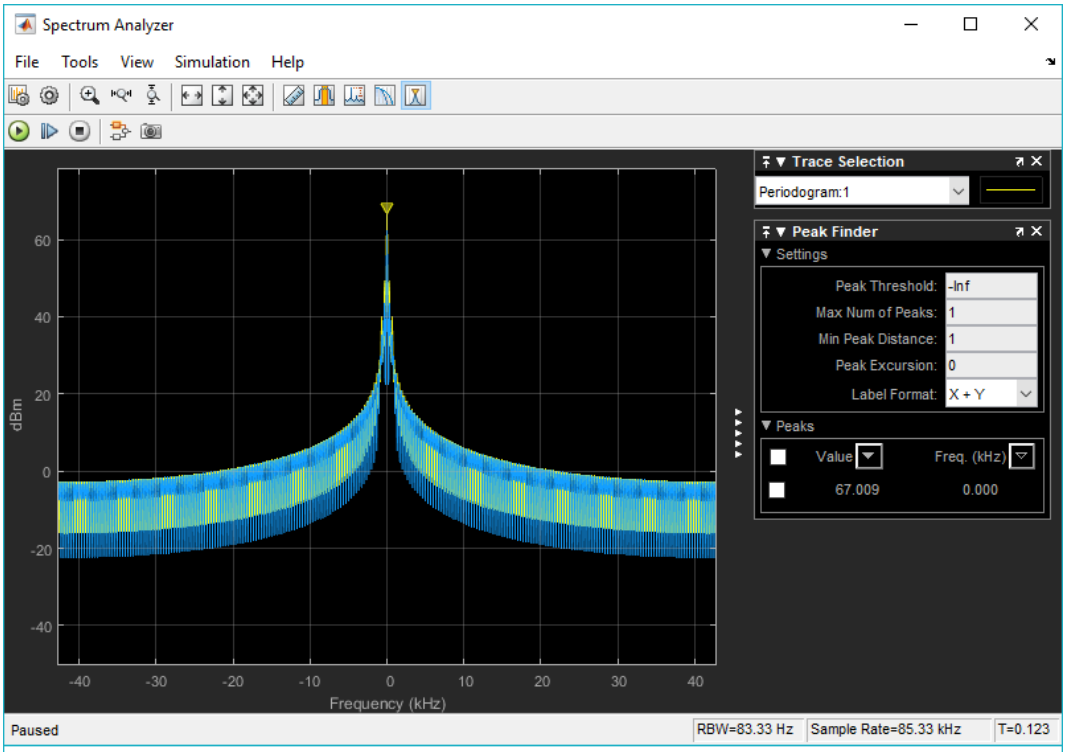

Spectrum Analyzer
File
Tools
View
Simulation
Help
Trace Selection
Periodogram:1
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
67.251
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.033

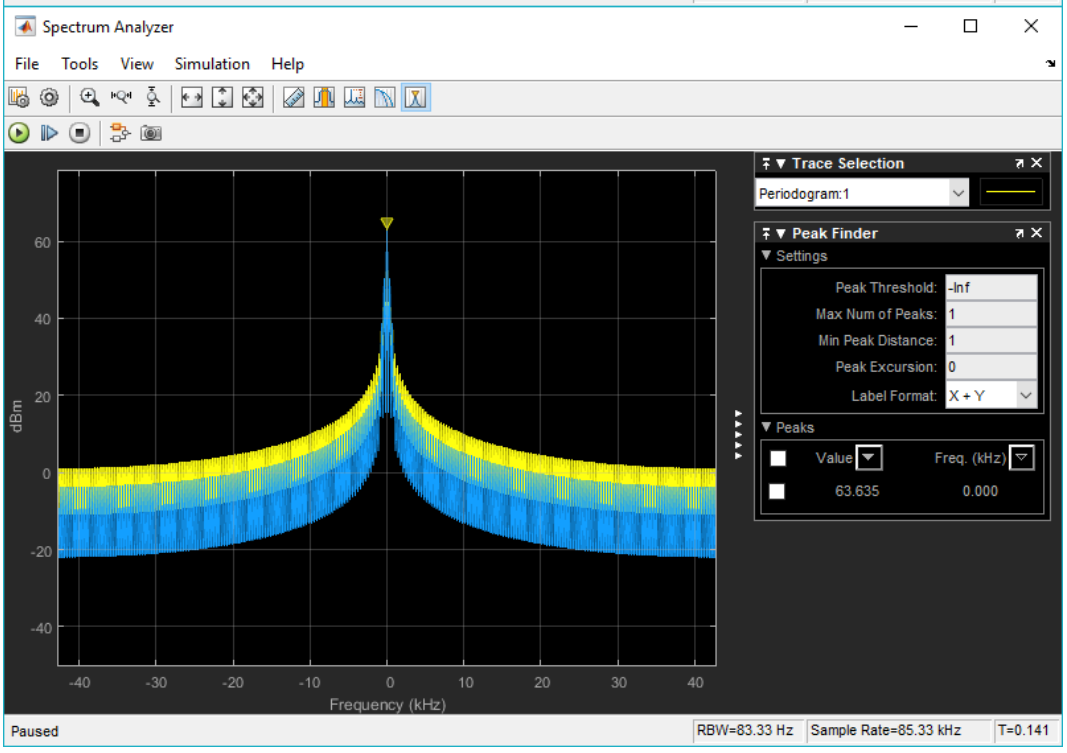

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram:1
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
65.789
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.051

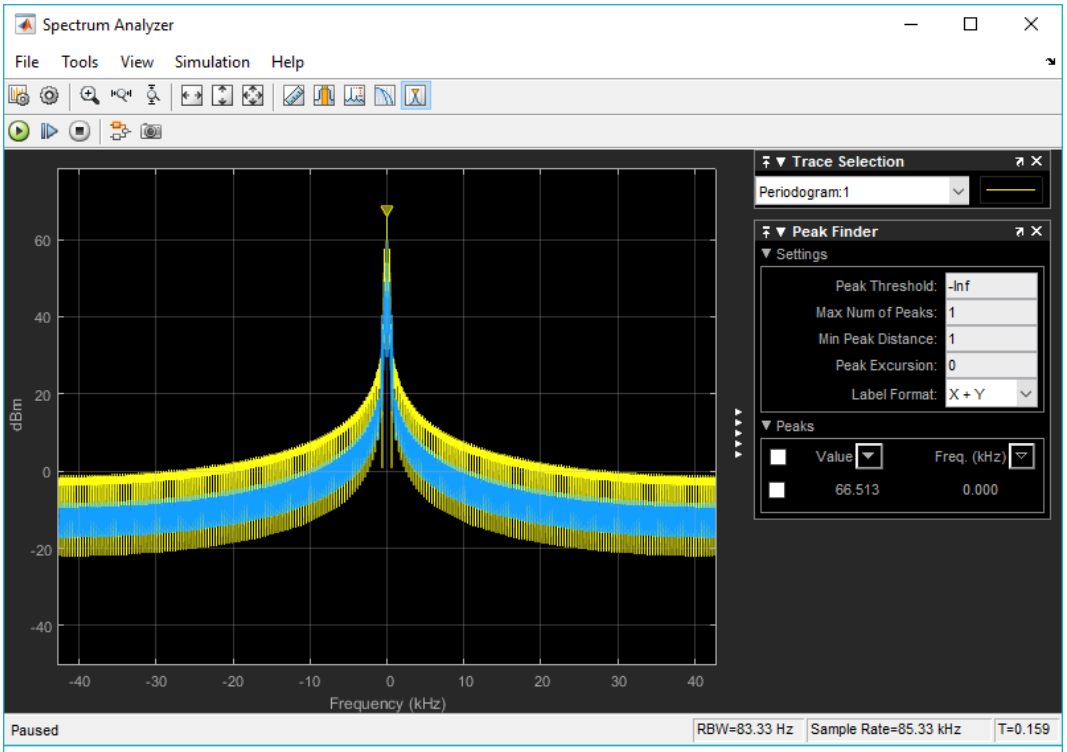

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram:1
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
62.700
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.069

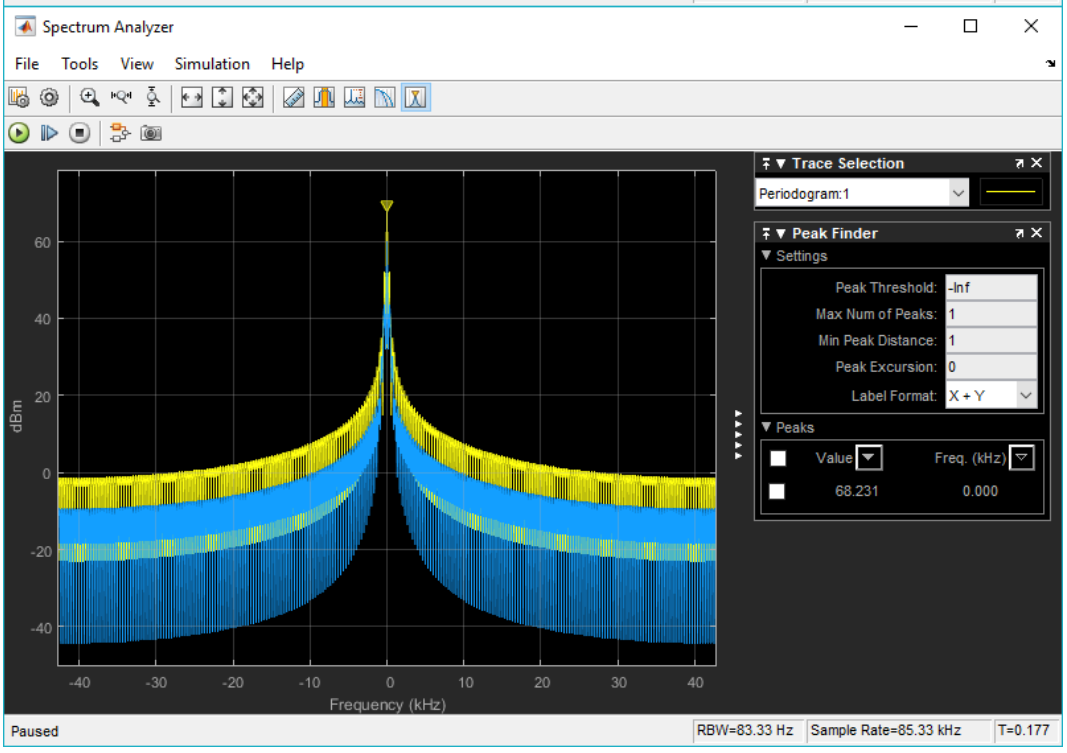

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram:1
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
66.041
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.087

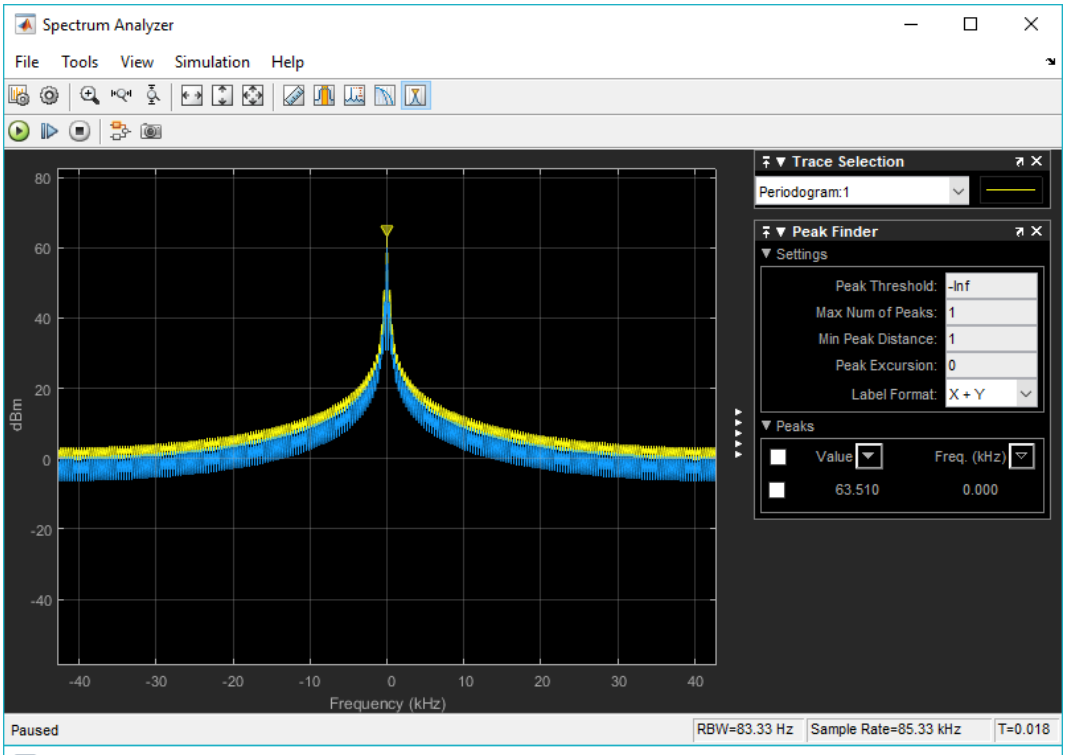

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram:1
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
65.009
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.105

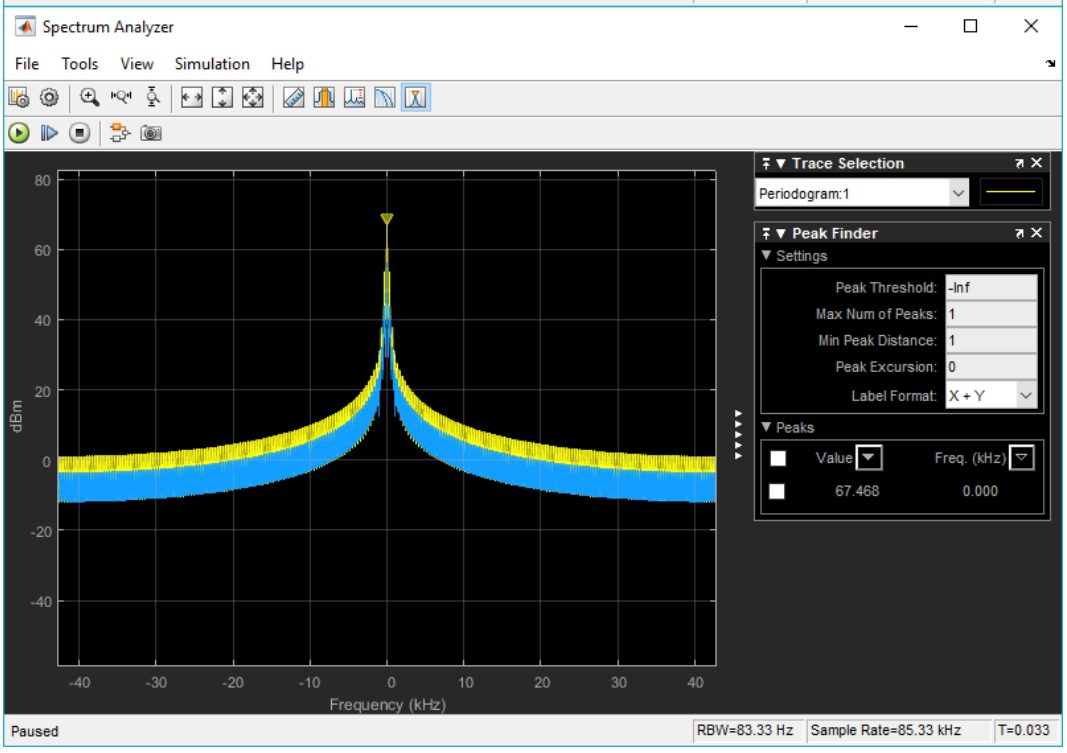

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram:1
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
67.009
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.123

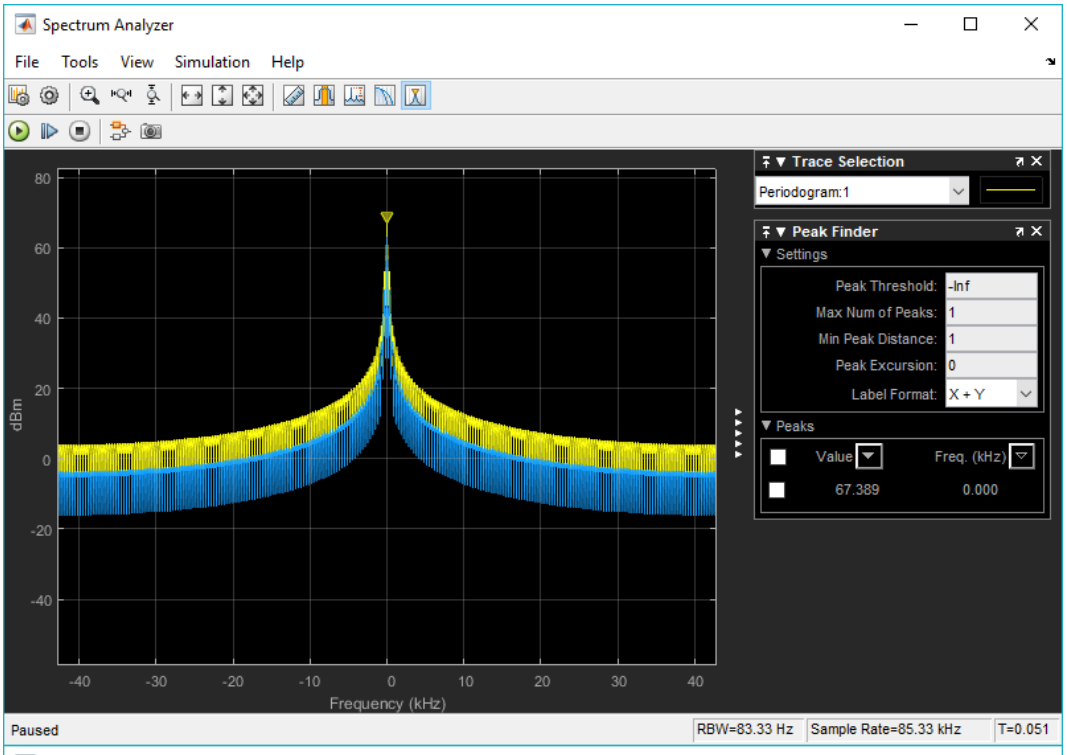

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram:1
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
63.635
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.141

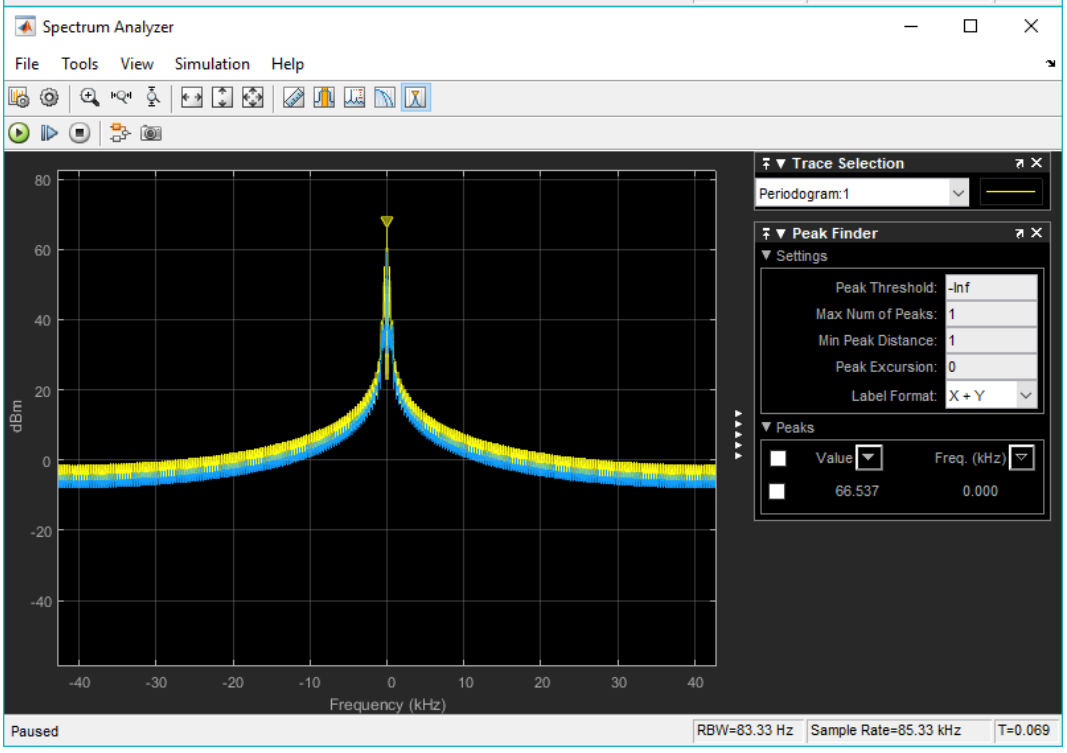

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram:1
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
66.513
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.159

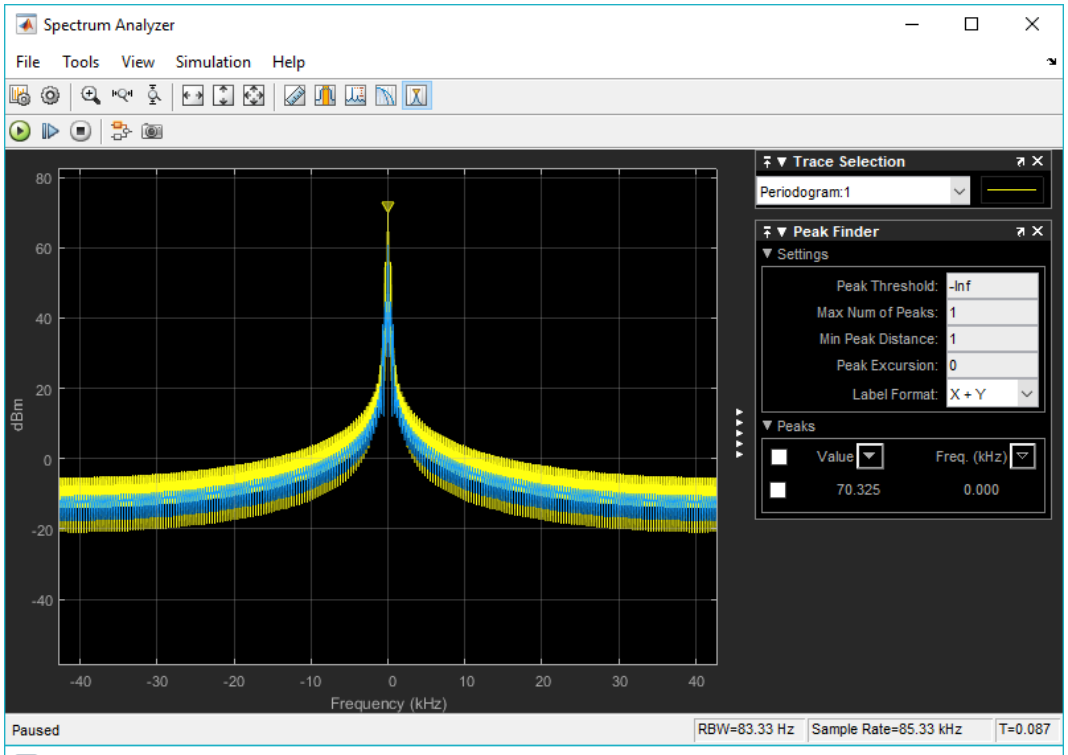

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram:1
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
68.231
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.177

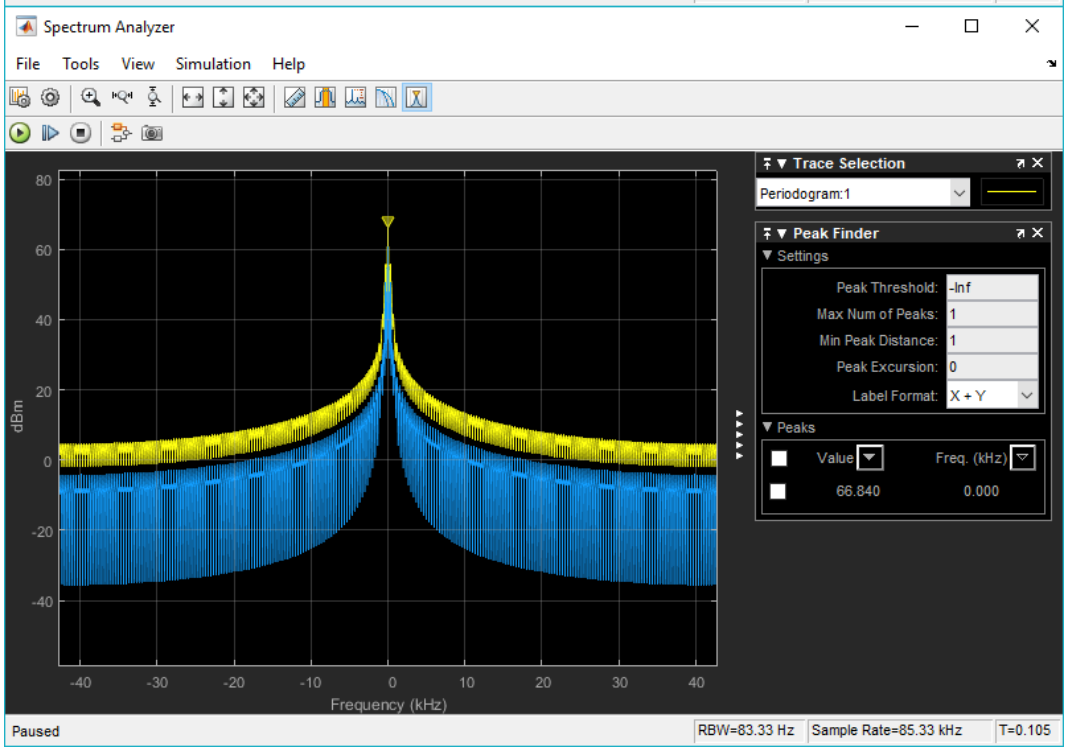

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram:1
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
63.510
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.018

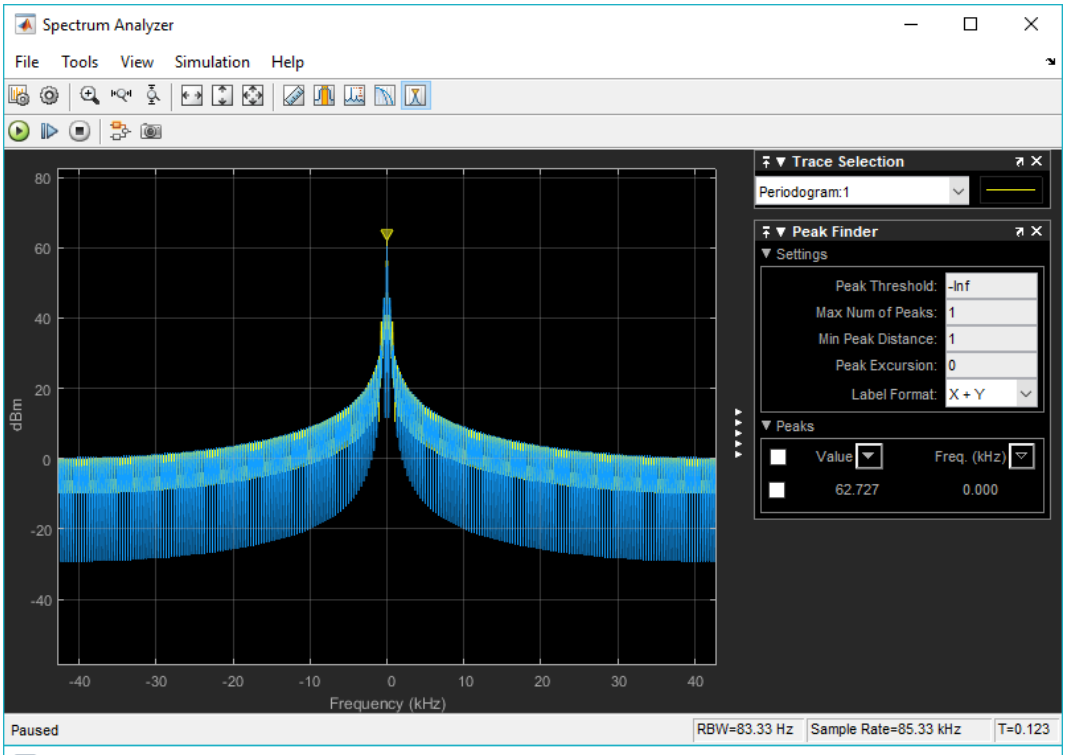

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram:1
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
67.468
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.033

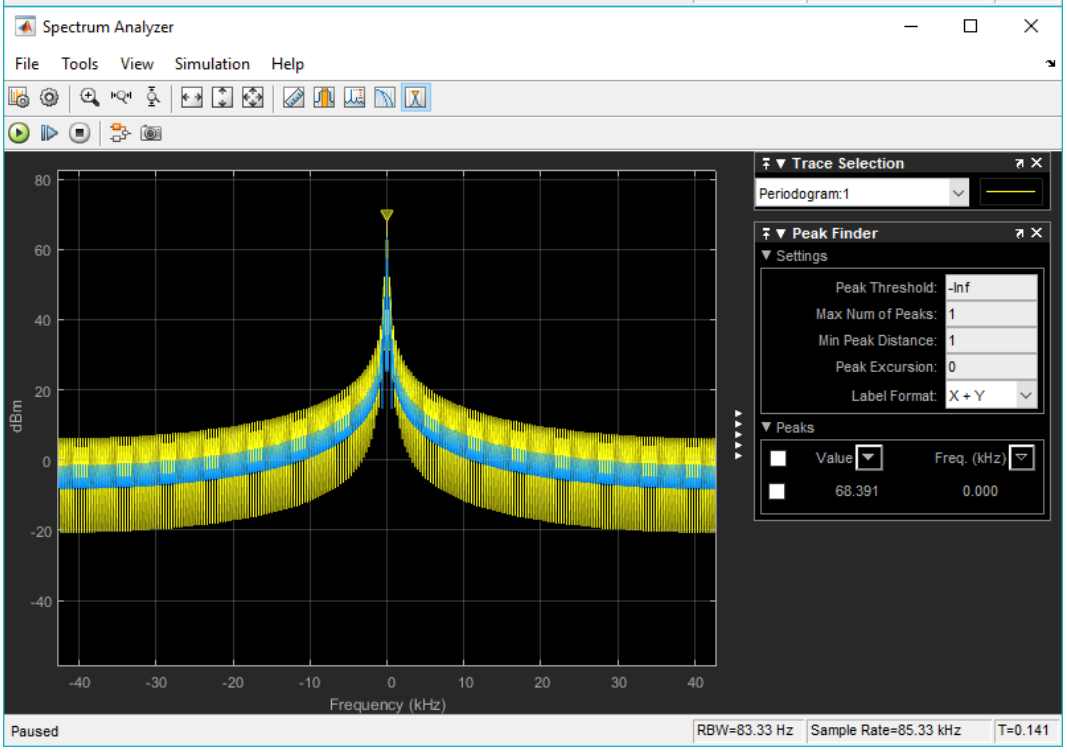

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram:1
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
67.389
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.051

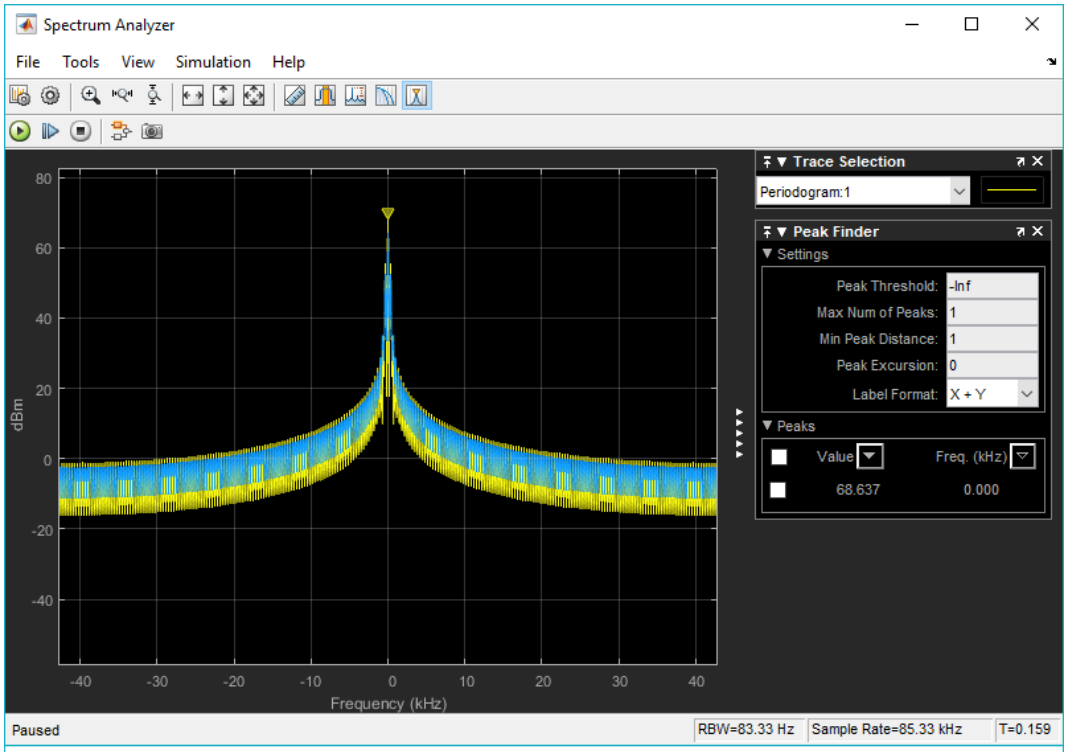

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram:1
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
66.537
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.069

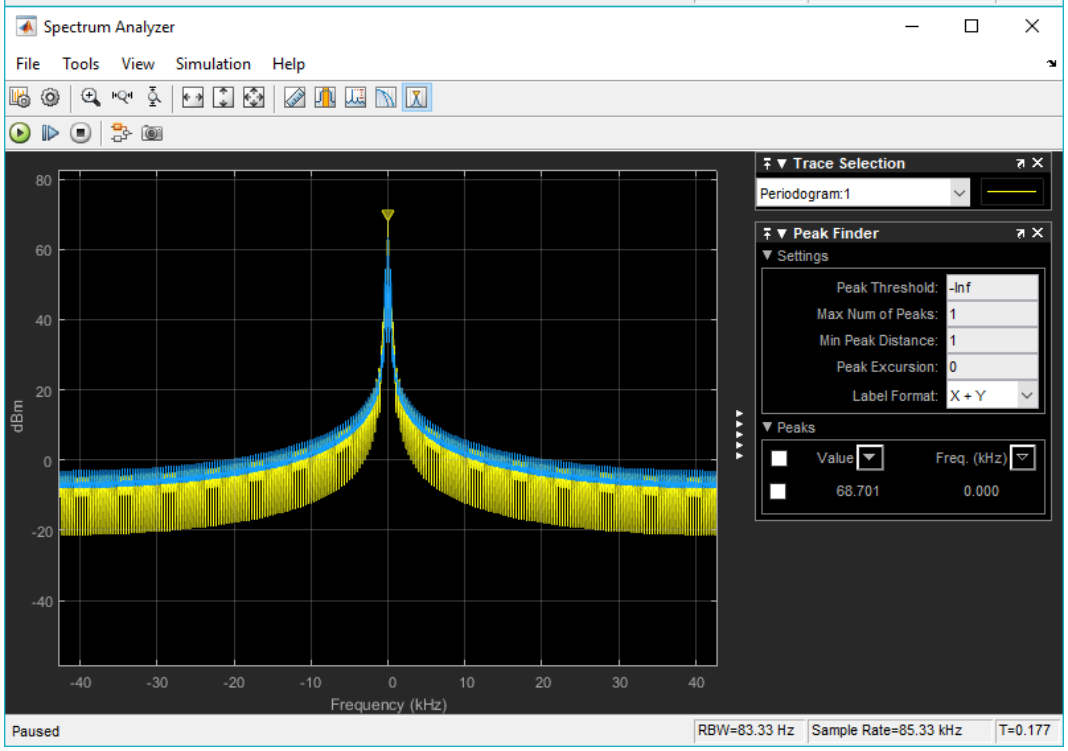

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram:1
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
70.325
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.087


Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram:1
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
66.840
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.105

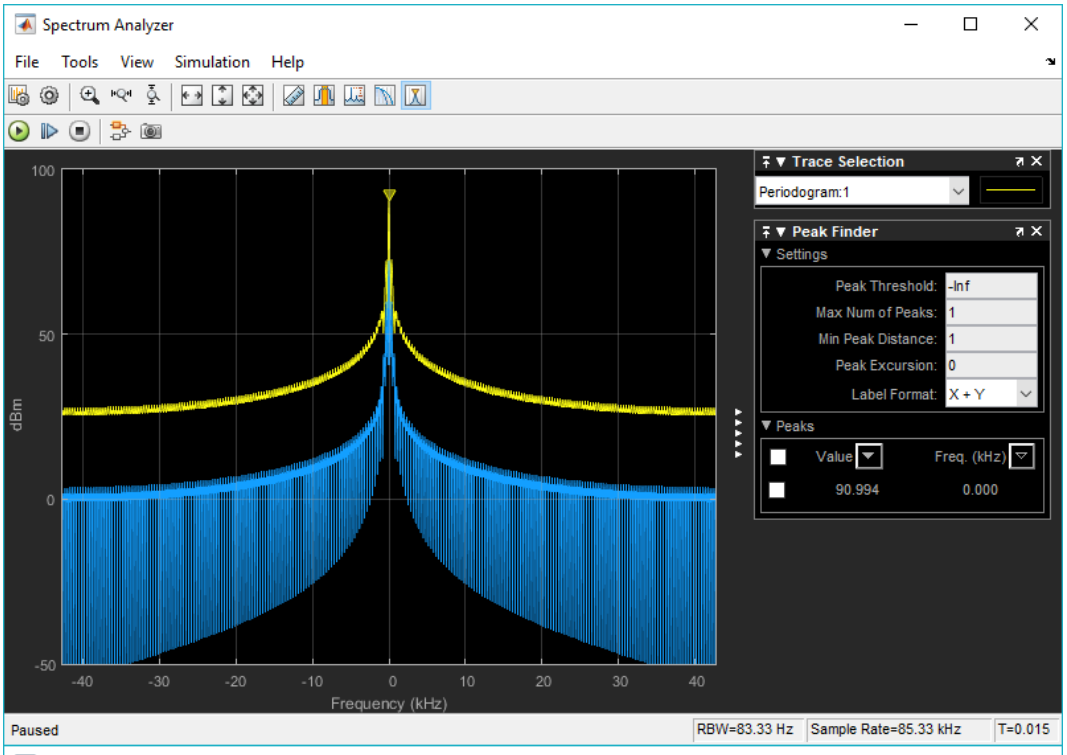

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram:1
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
62.727
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.123

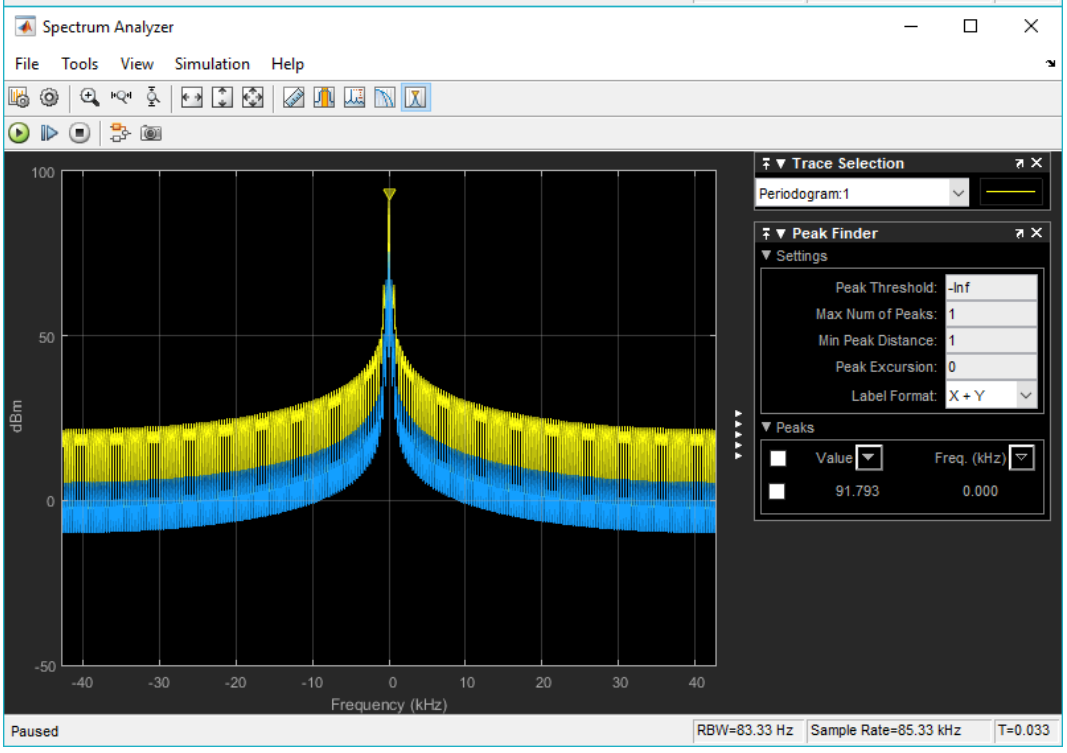

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram:1
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
68.391
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.141

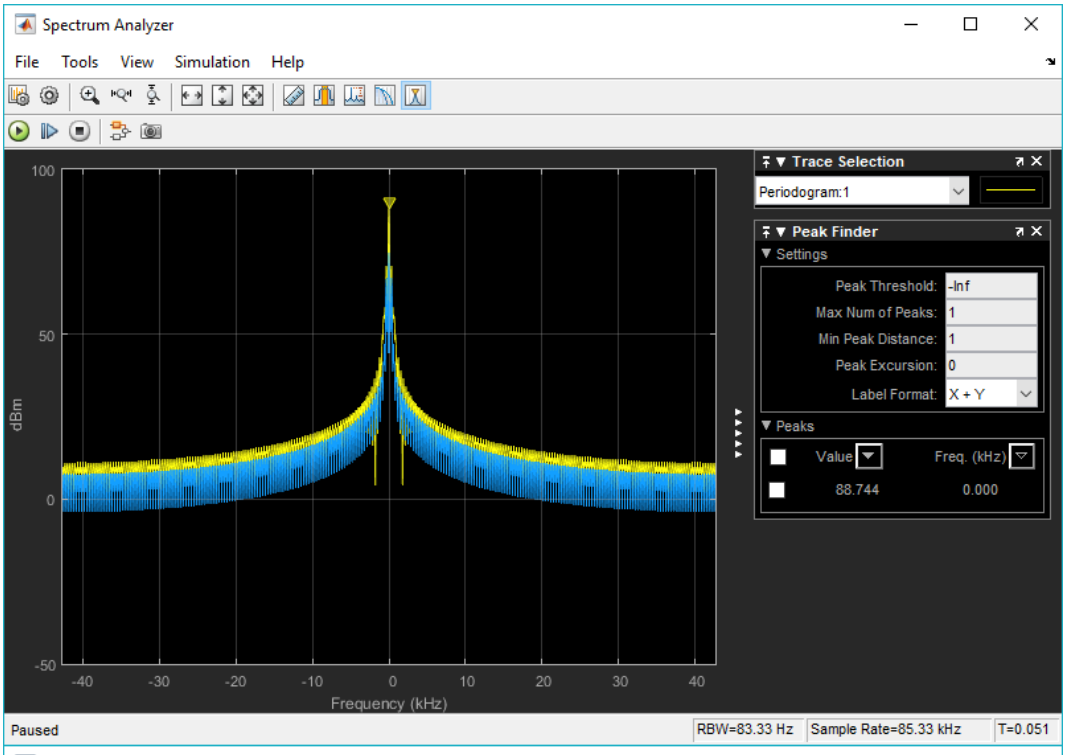


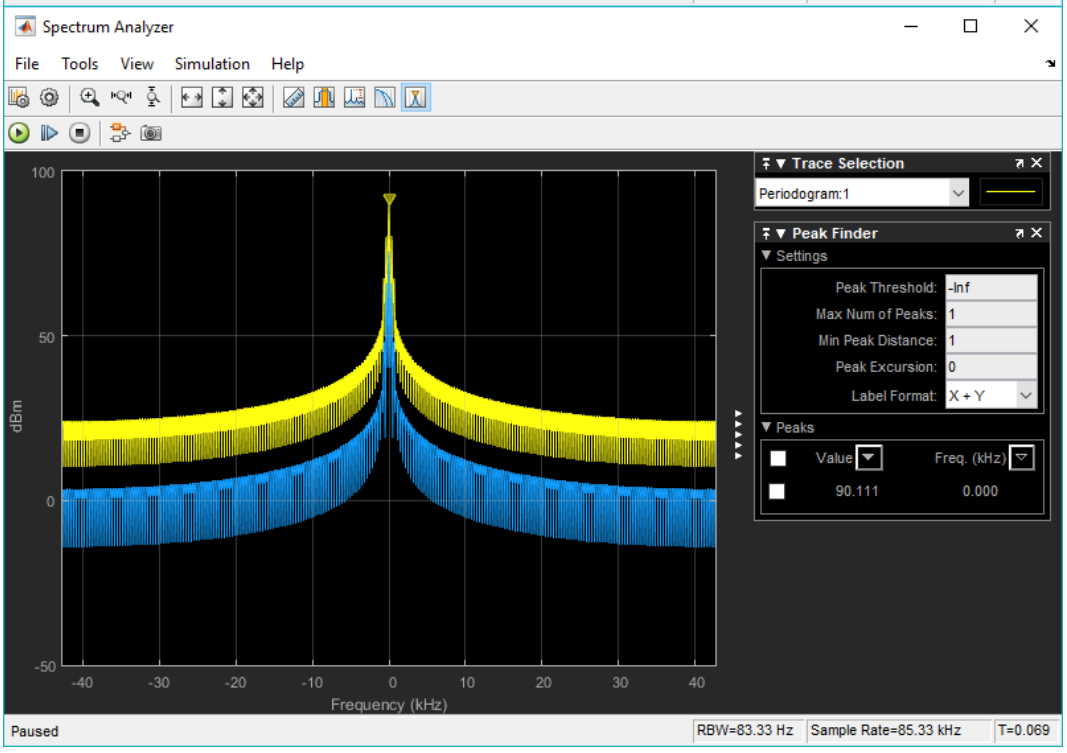


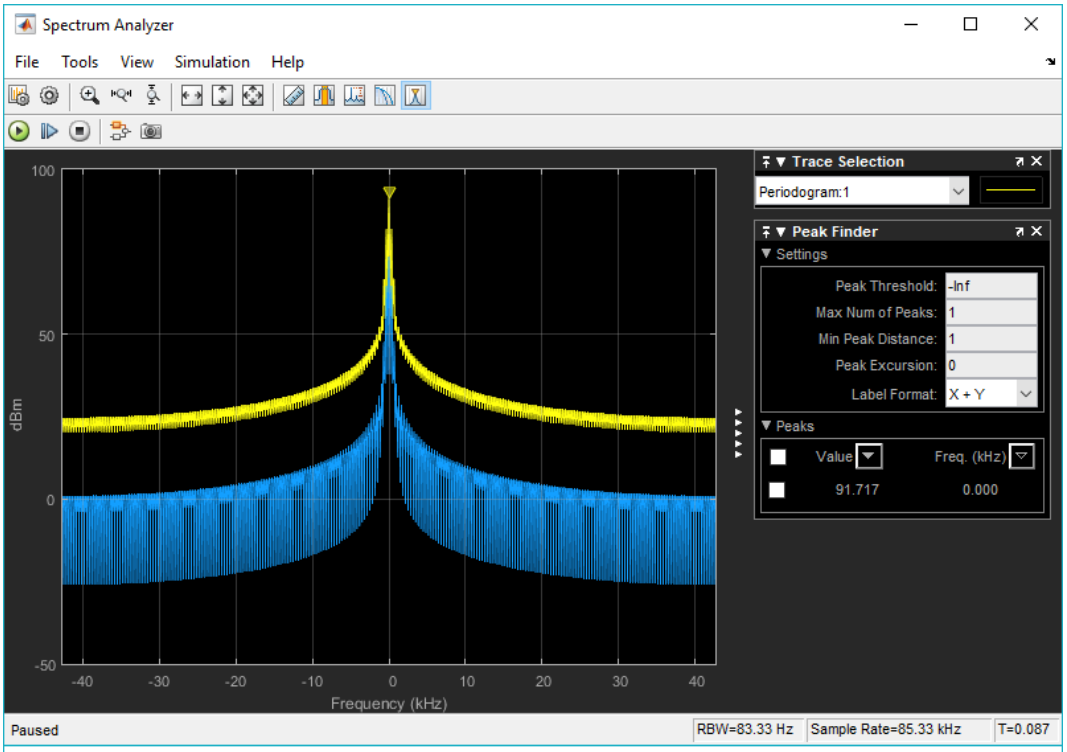
5. Modulasi 16-QAM

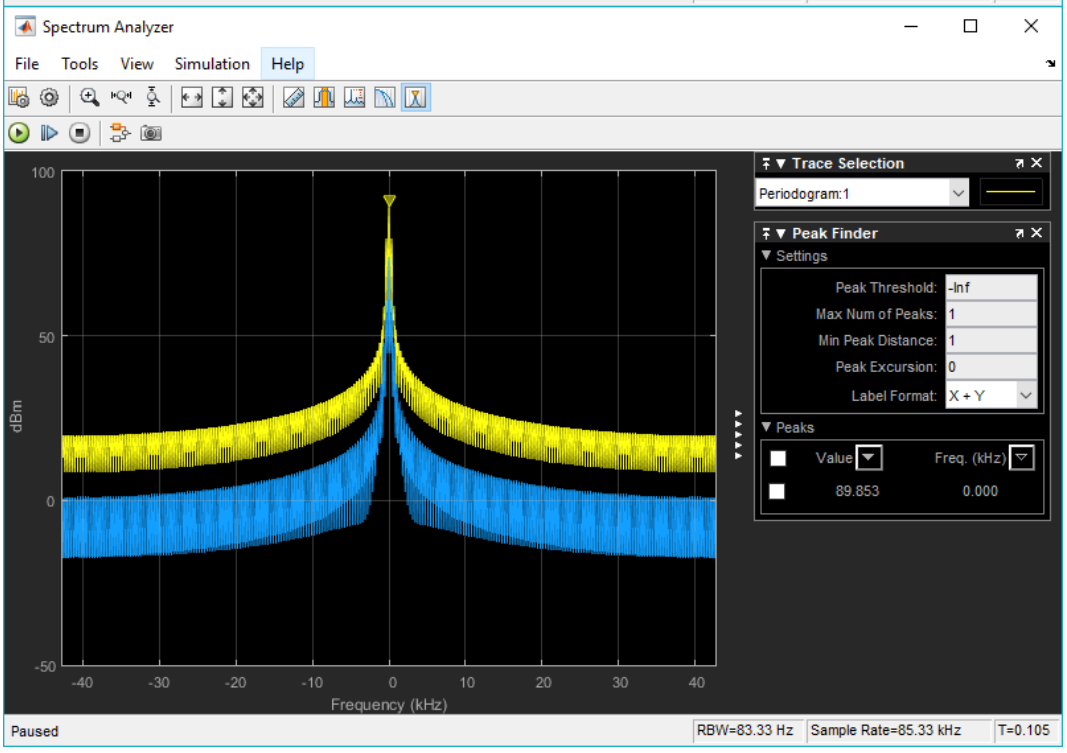

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram:1
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
90.994
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.015

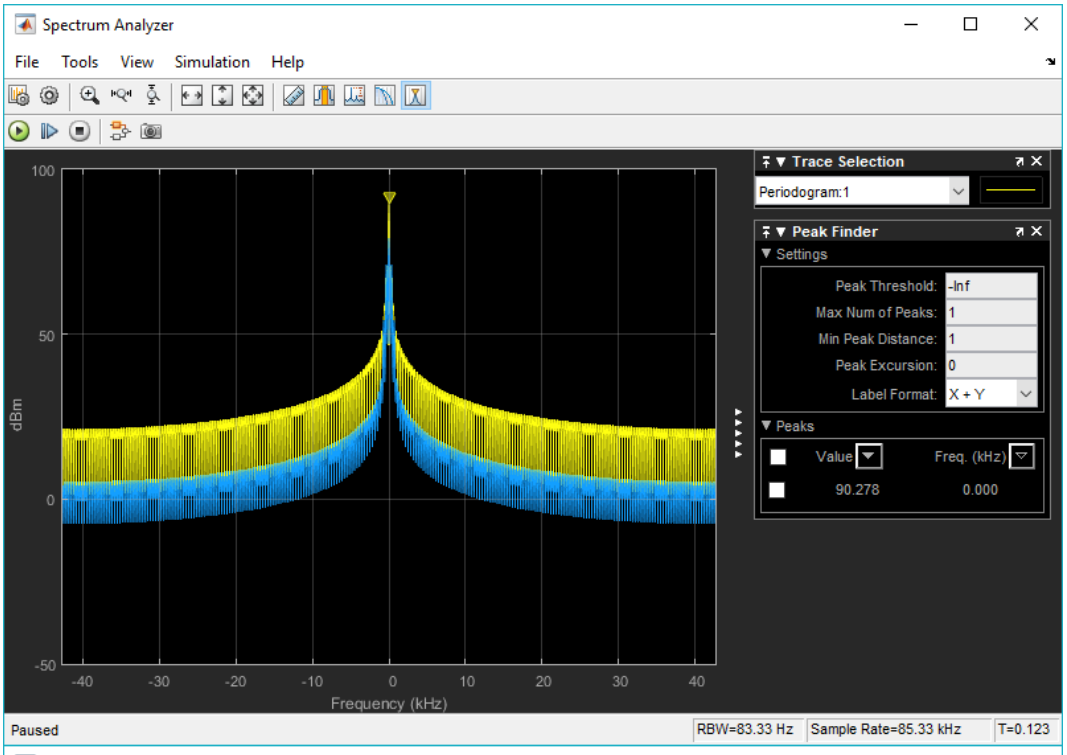

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram:1
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
91.793
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.033

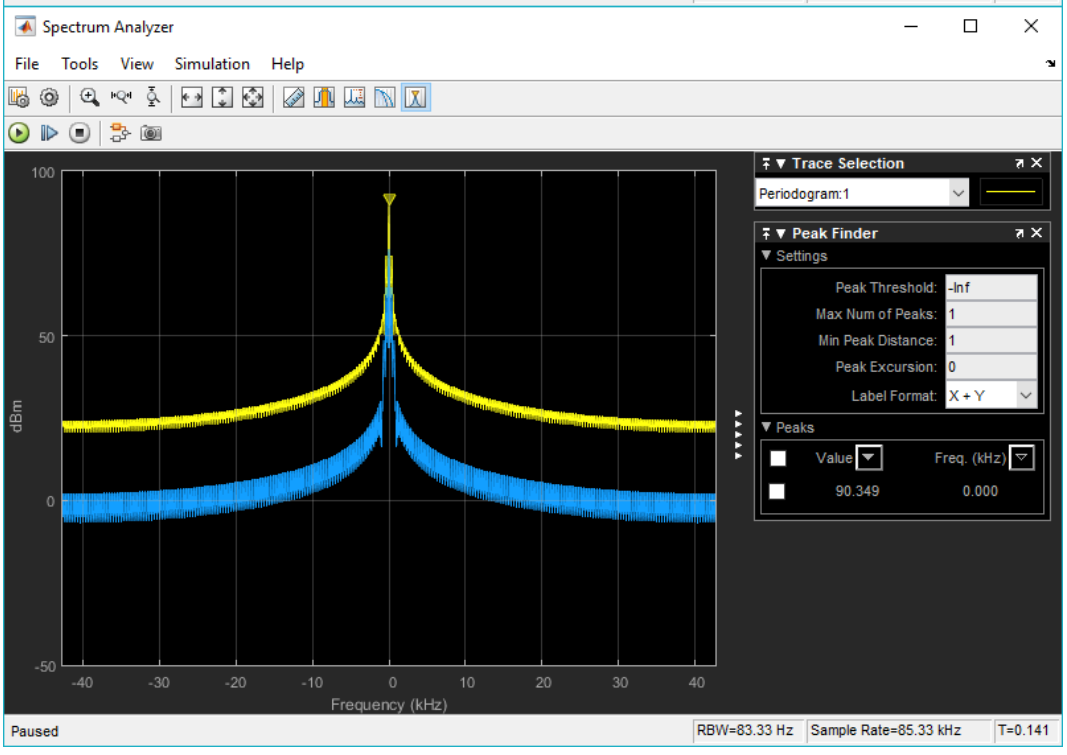

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram:1
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
88.744
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.051

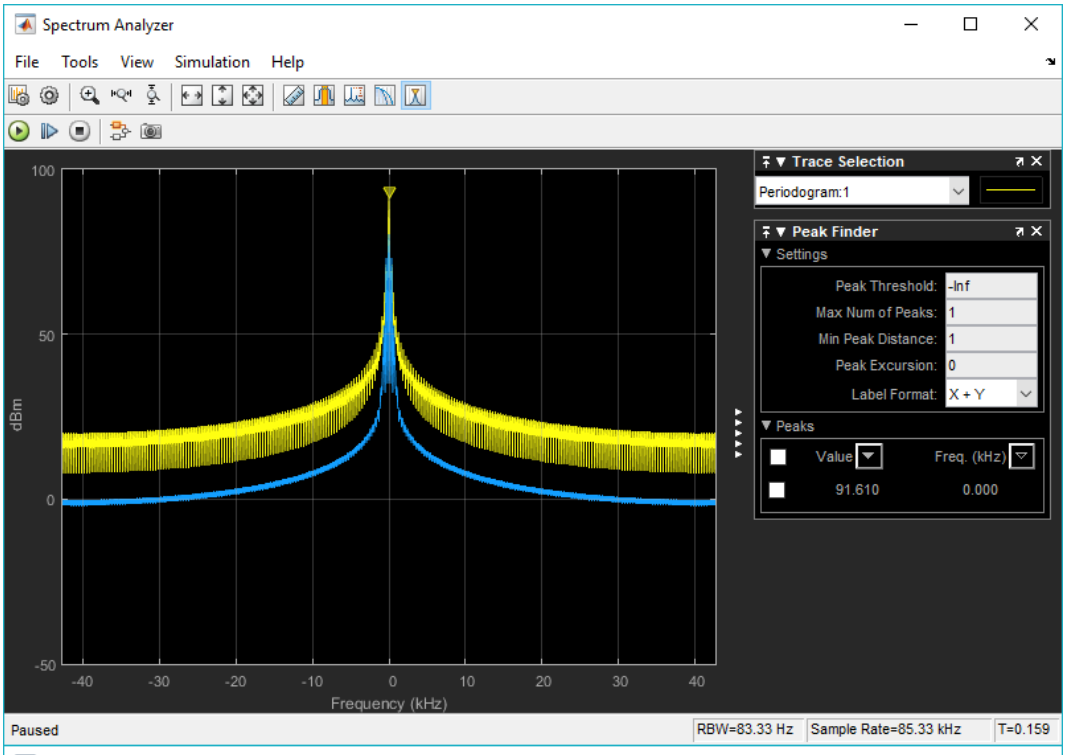

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram:1
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
90.111
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.069

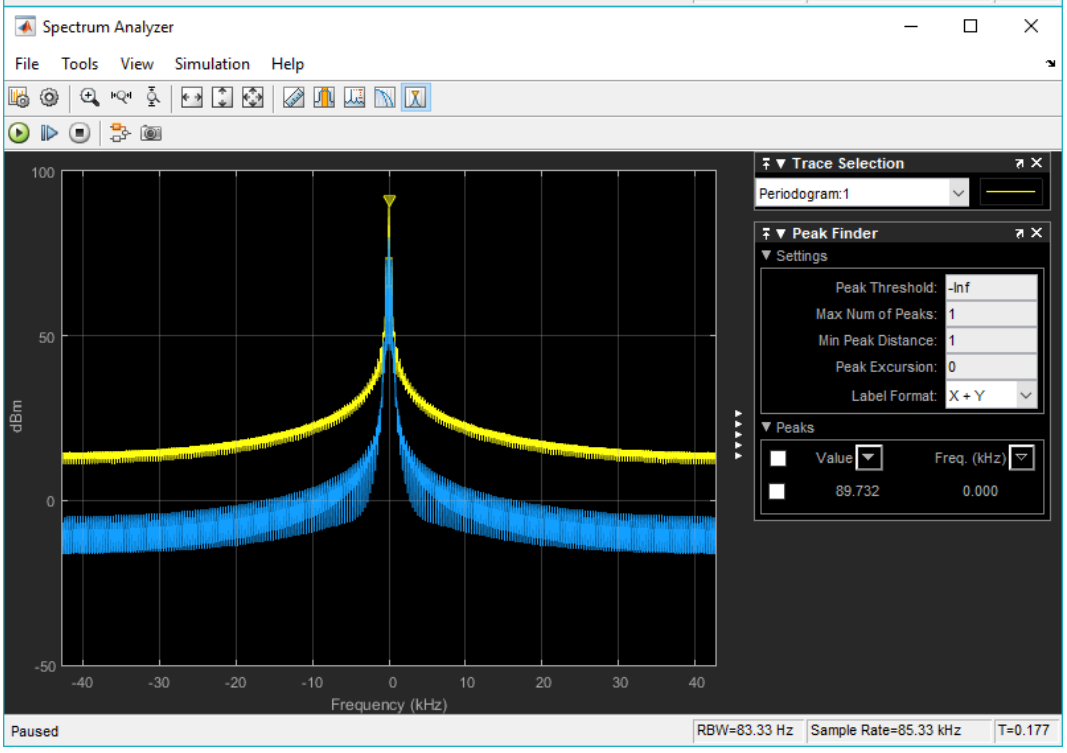

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram:1
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
91.717
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.087

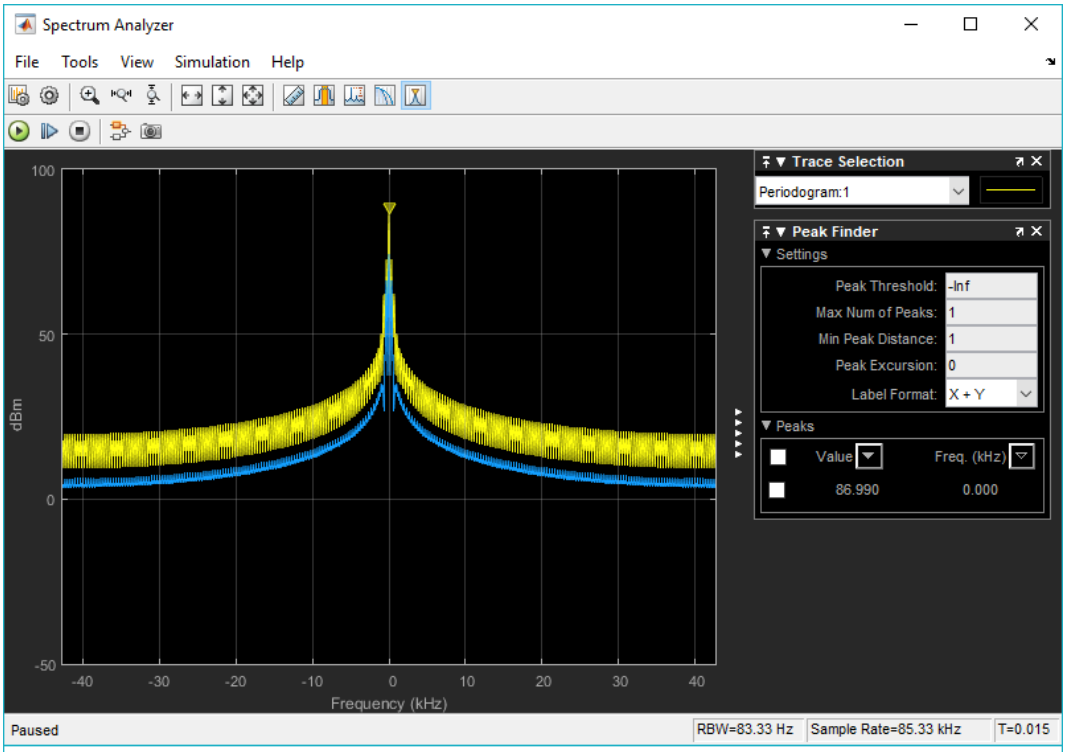

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram:1
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
89.853
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.105

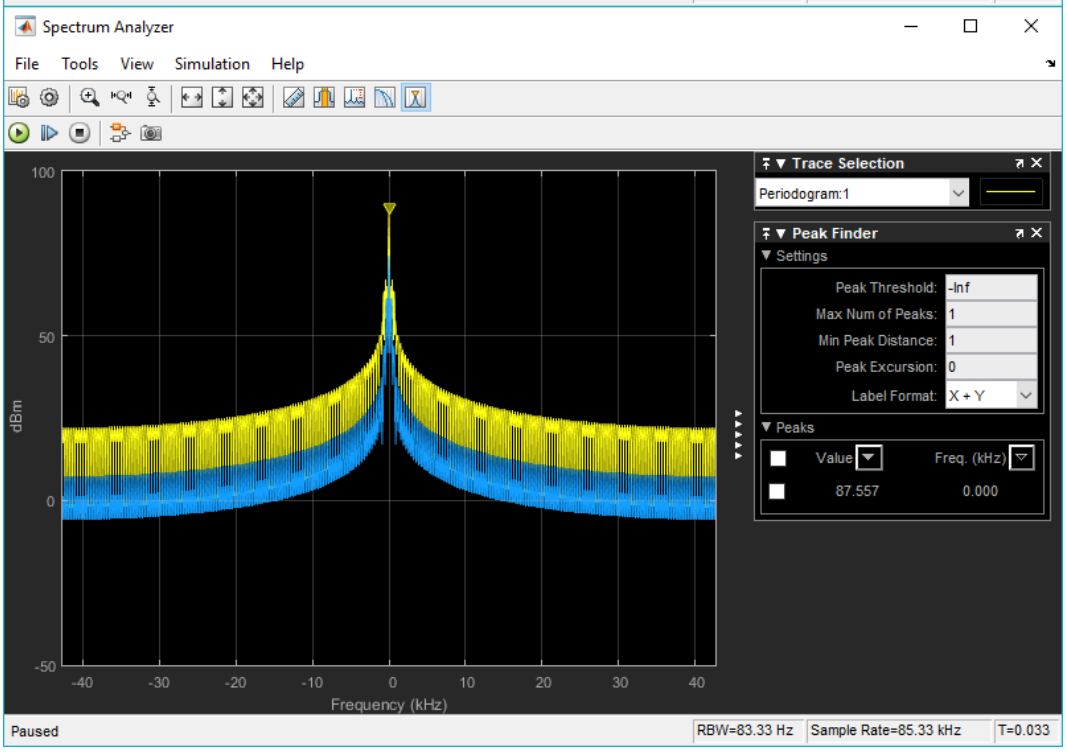

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram:1
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
90.278
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.123

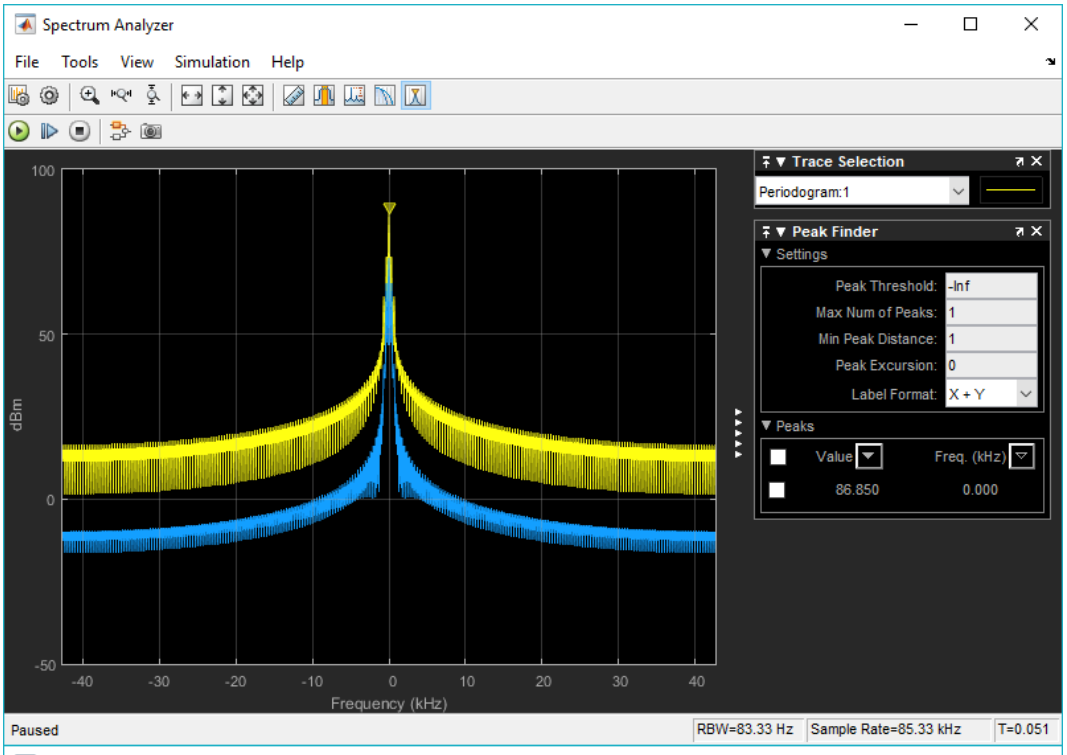

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram:1
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
90.349
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.141

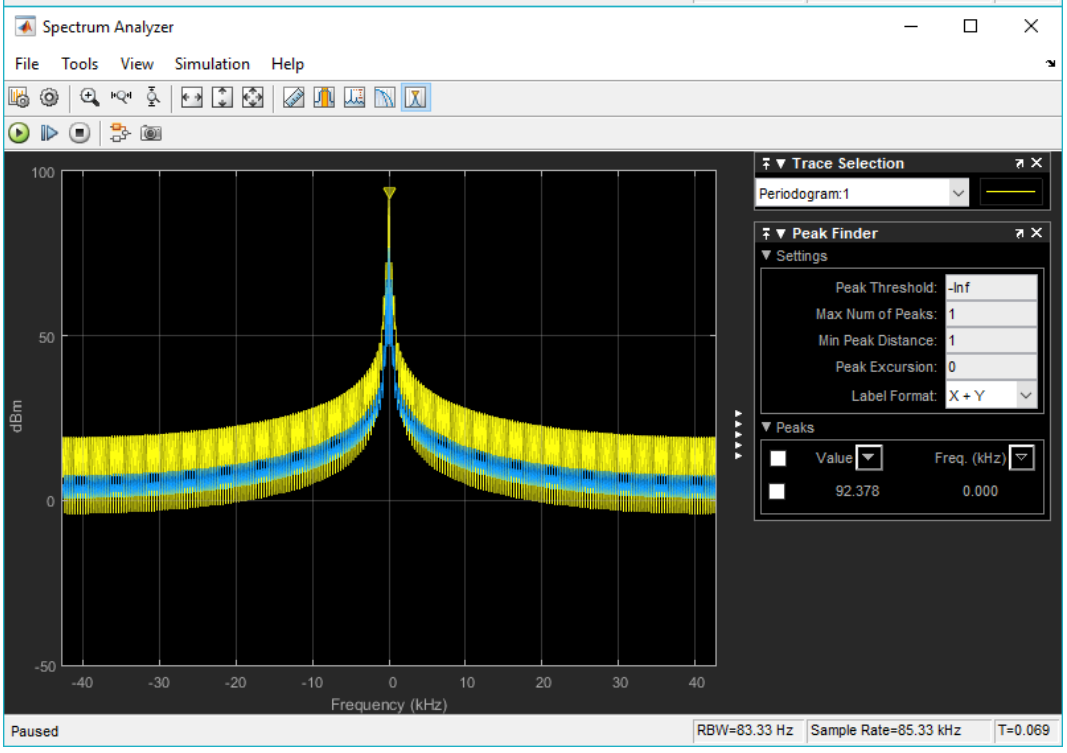

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram:1
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
91.610
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.159

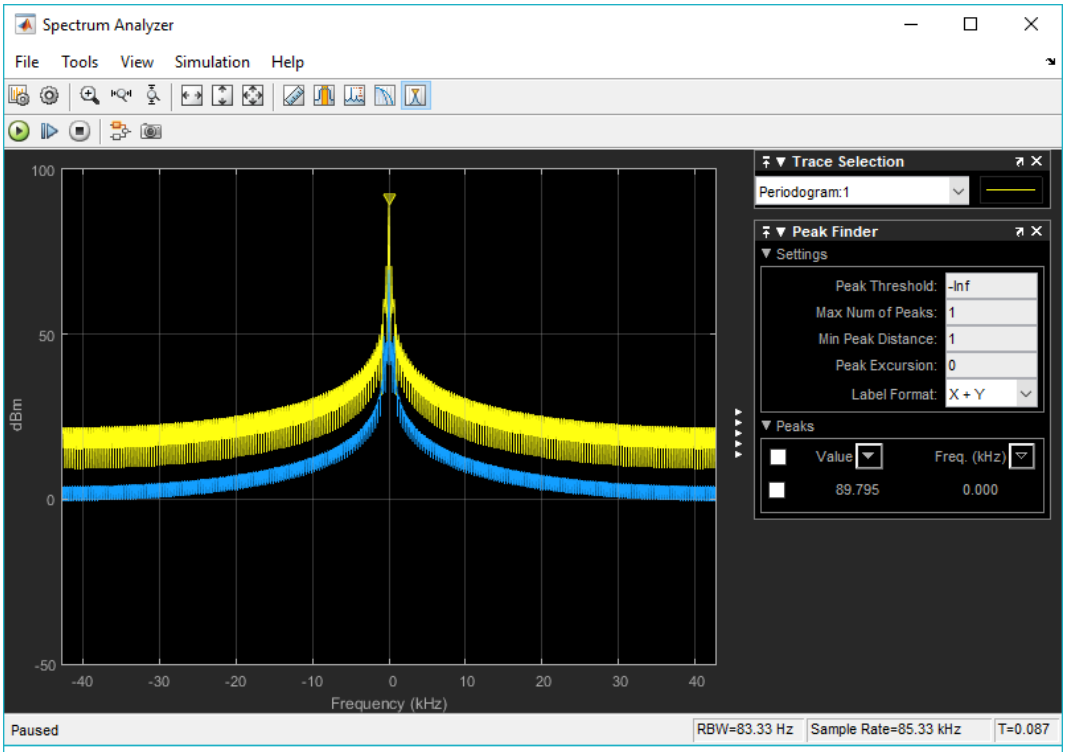

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram:1
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
89.732
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.177

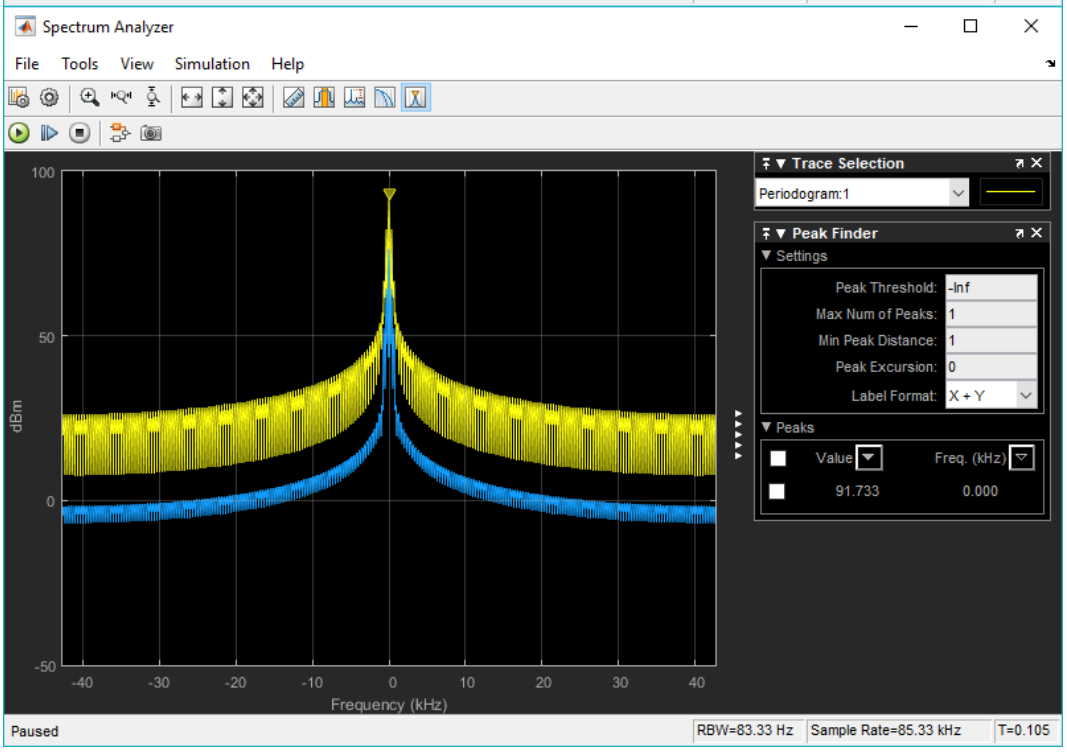

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram:1
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
86.990
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.015

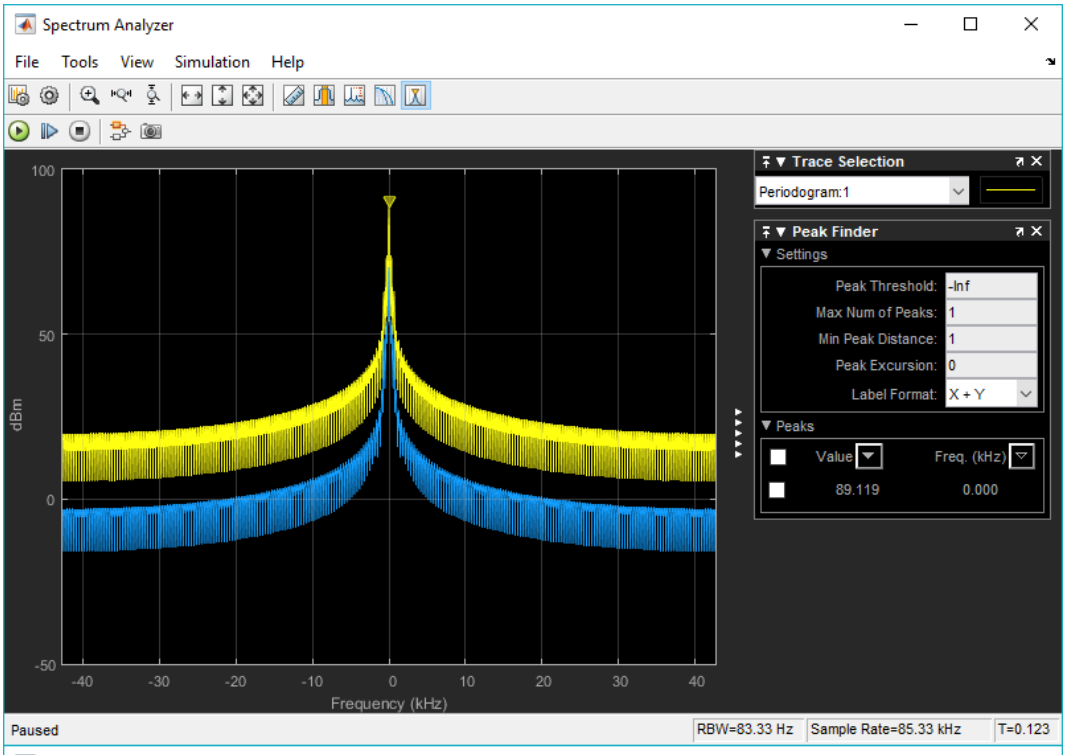

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram:1
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
87.557
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.033

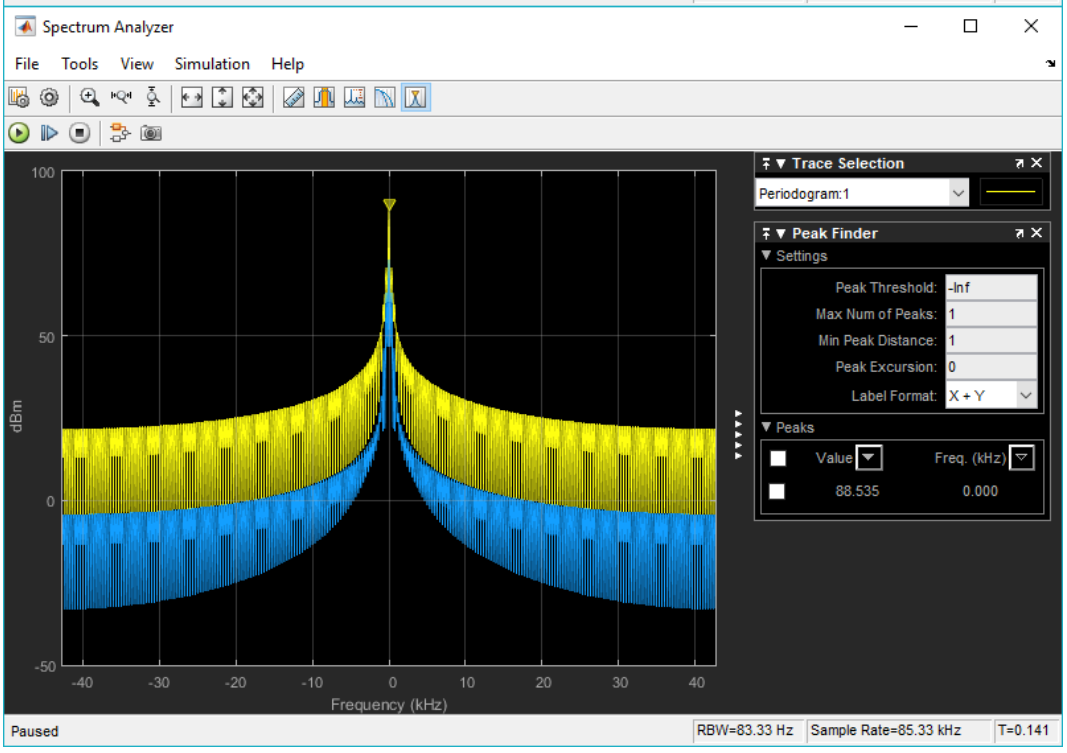

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram:1
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
86.850
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.051

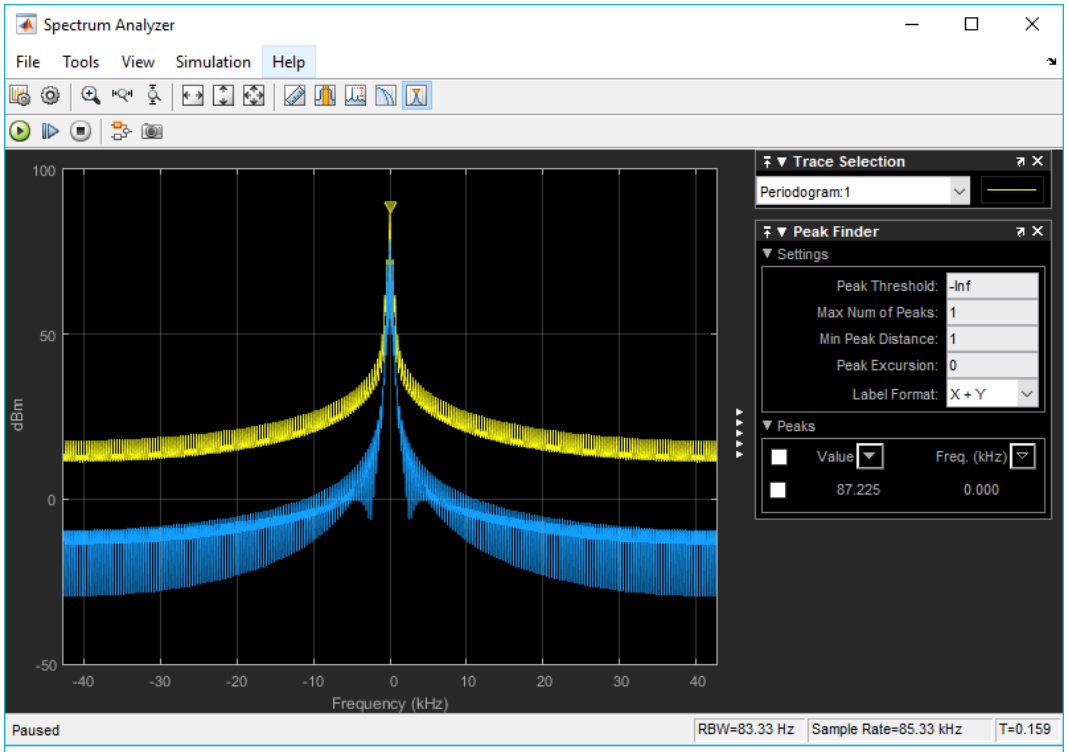

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram:1
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
92.378
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.069

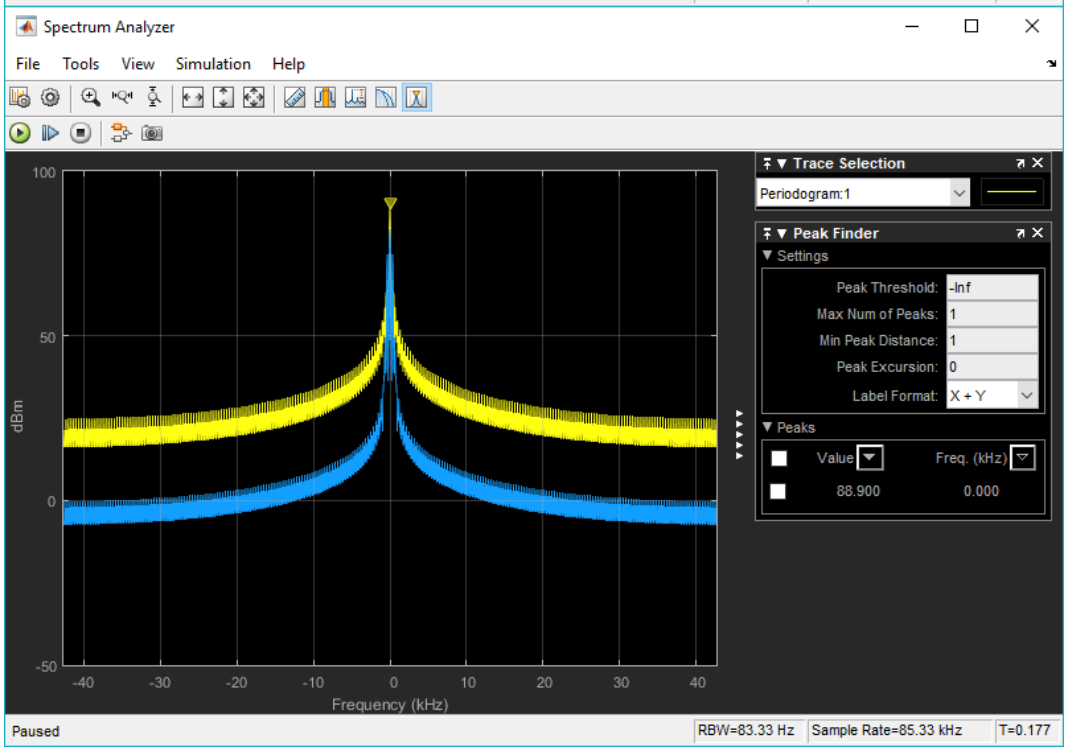

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram:1
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
89.795
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.087


Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram:1
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
91.733
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.105

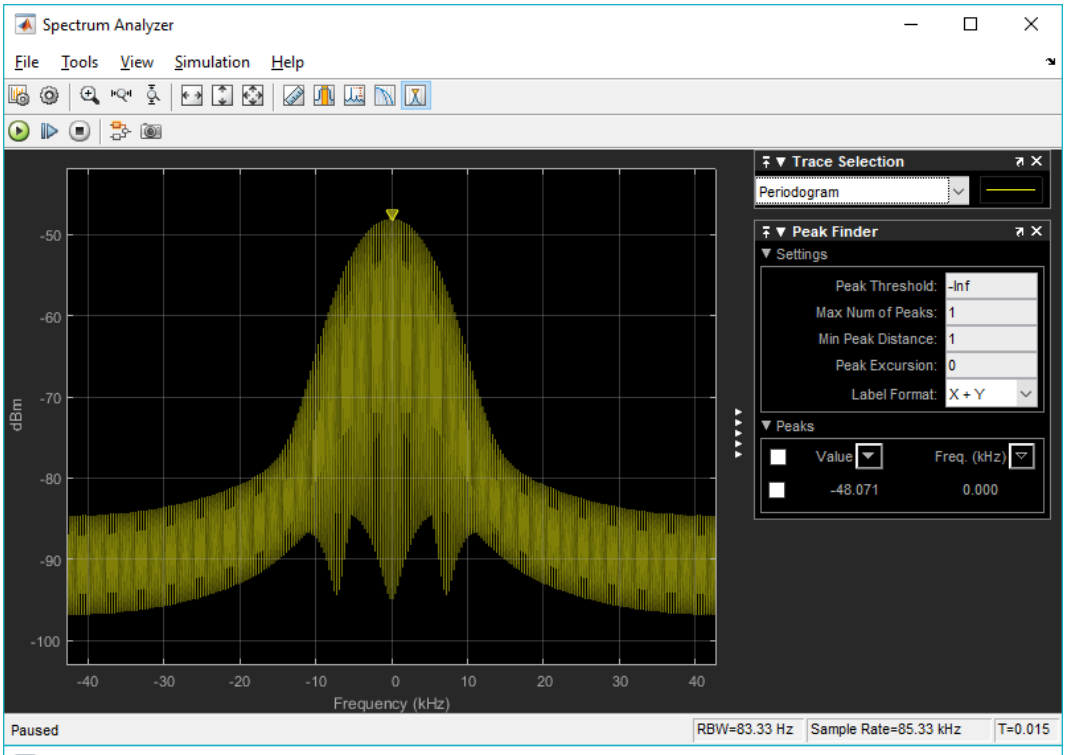

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram:1
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
89.119
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.123

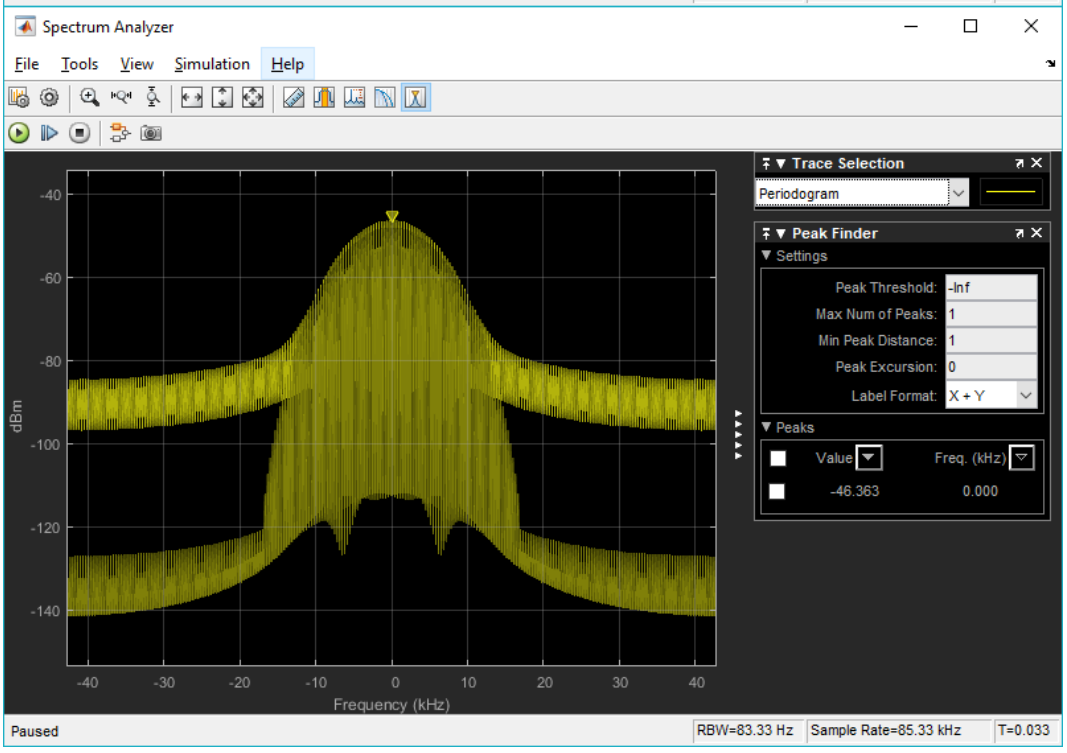

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram:1
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
88.535
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.141

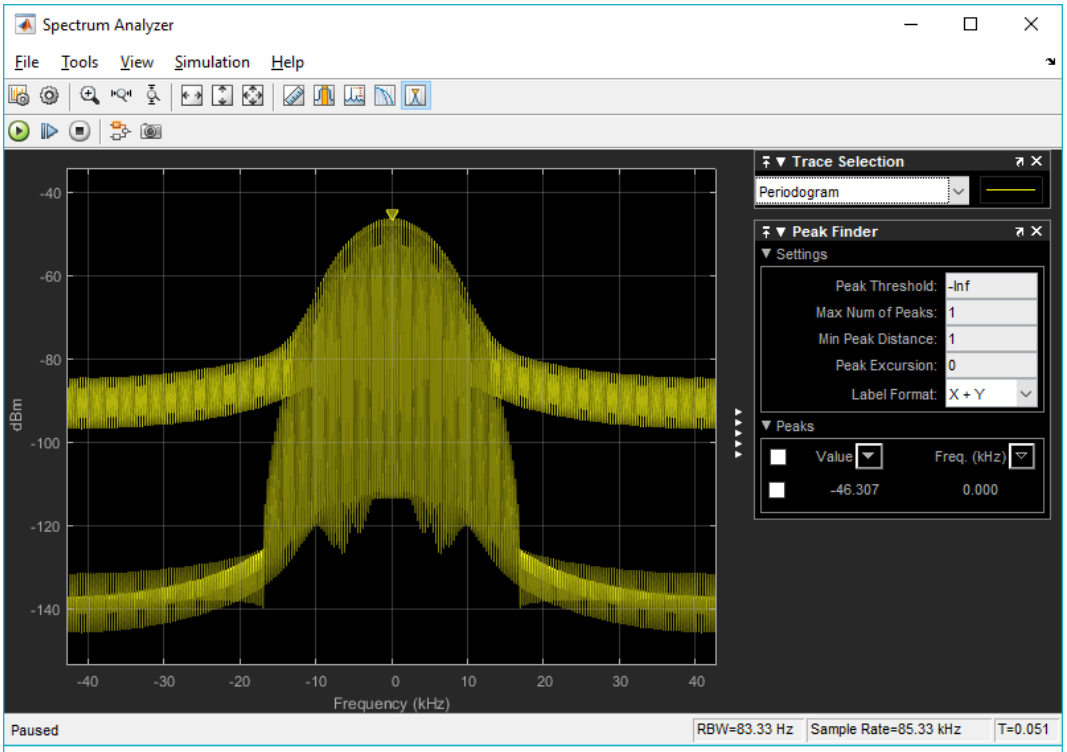


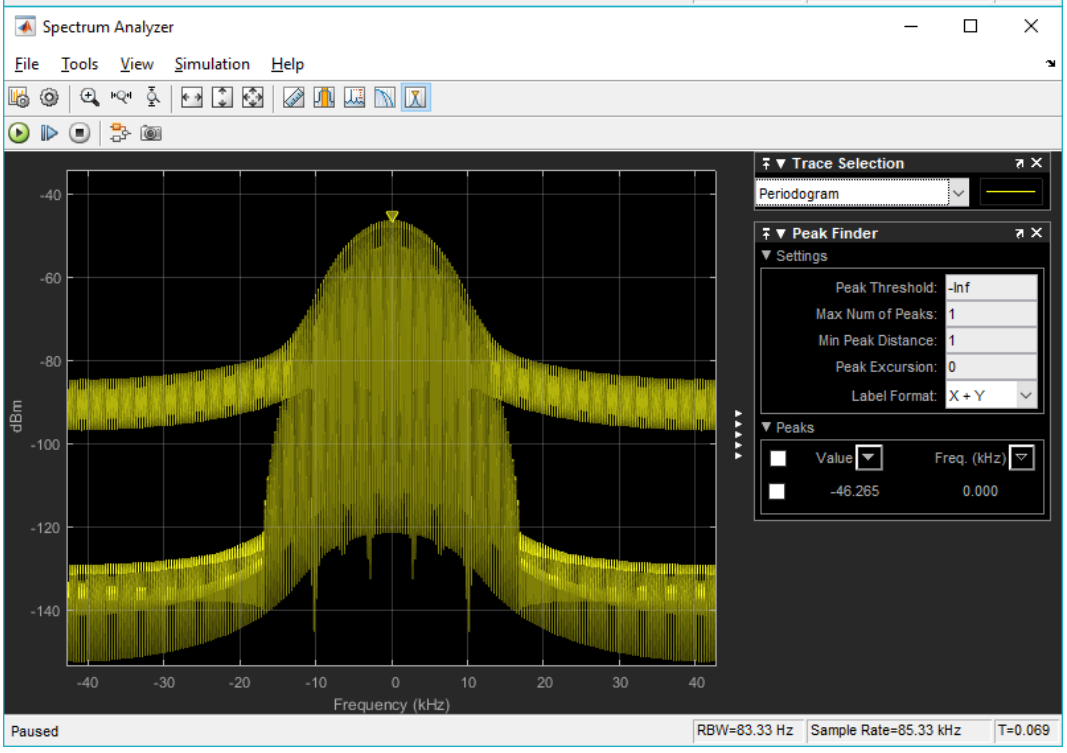


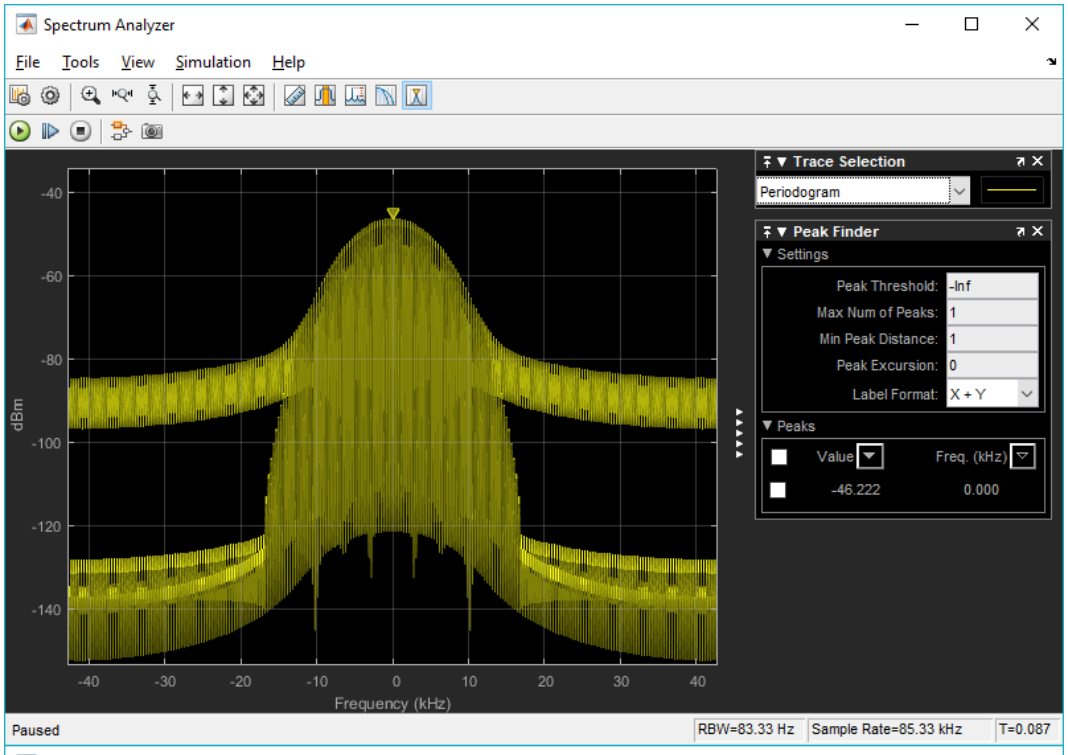
6. Modulasi BFSK

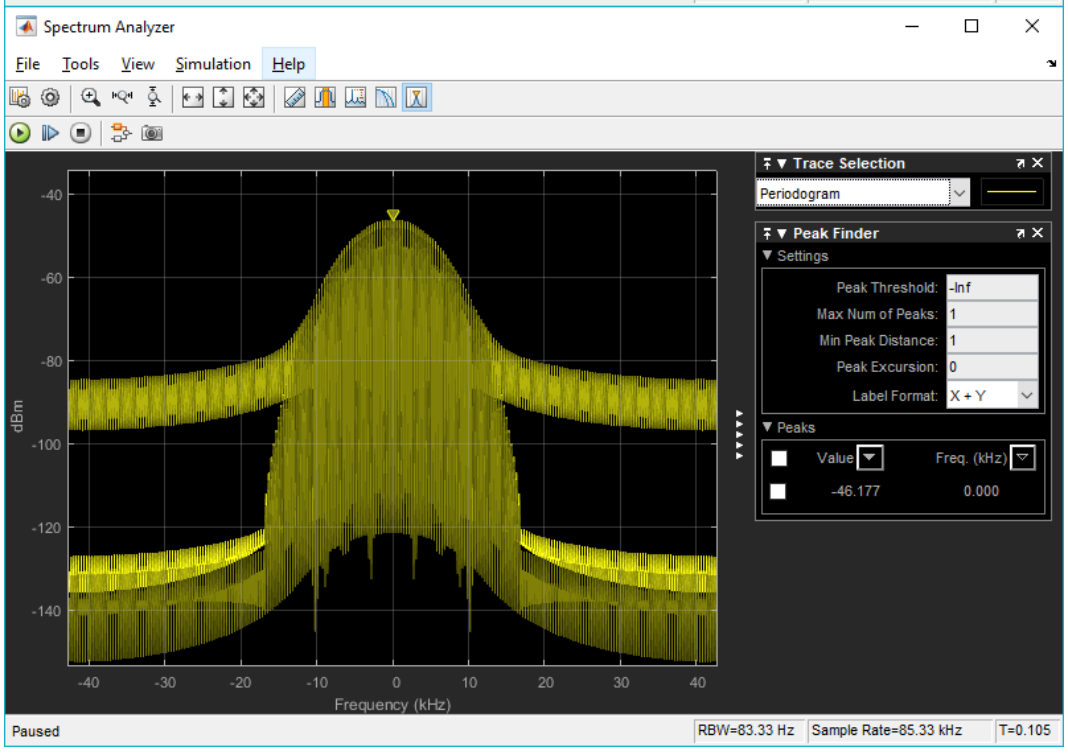

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
-48.071
0.000
dBm
-50
-60
-70
-80
-90
-100
-40 -30 -20 -10 0 10 20 30 40
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.015

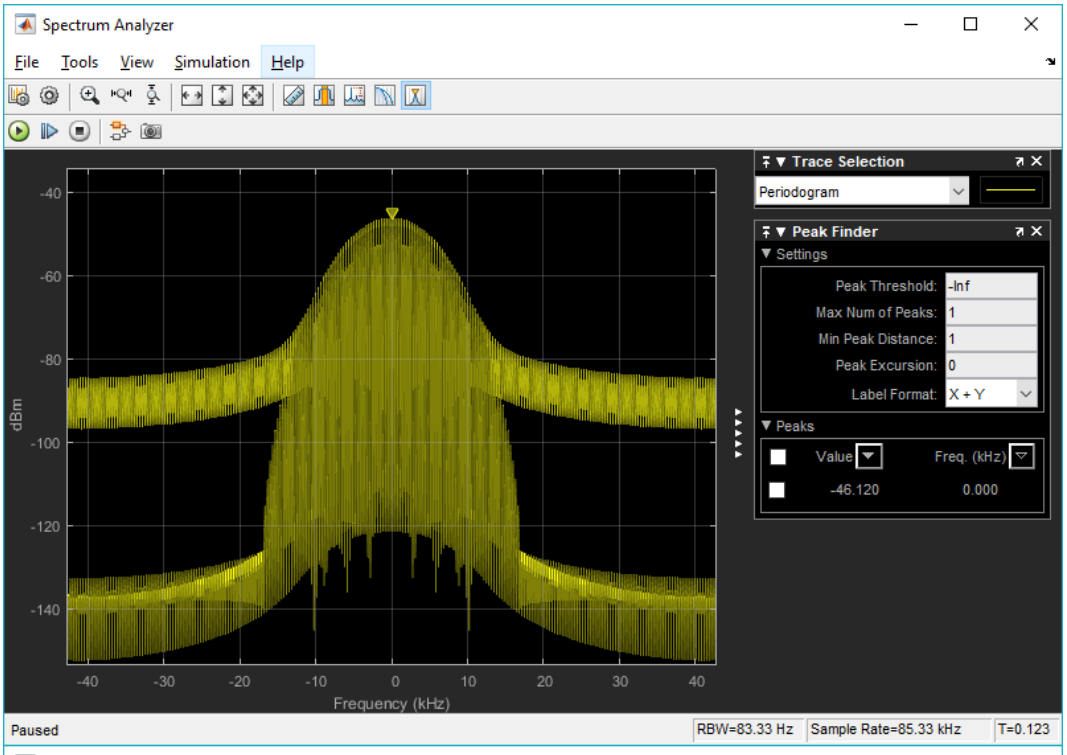

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
-46.363
0.000
dBm
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-40 -30 -20 -10 0 10 20 30 40
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.033

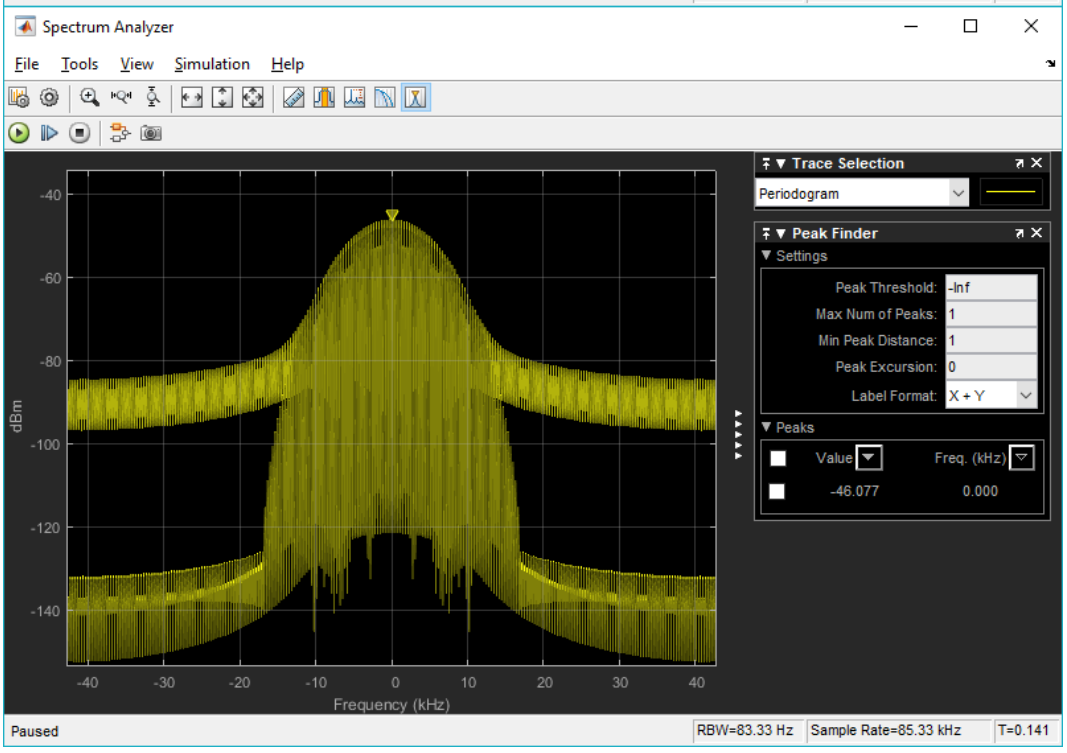

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
-46.307
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.051

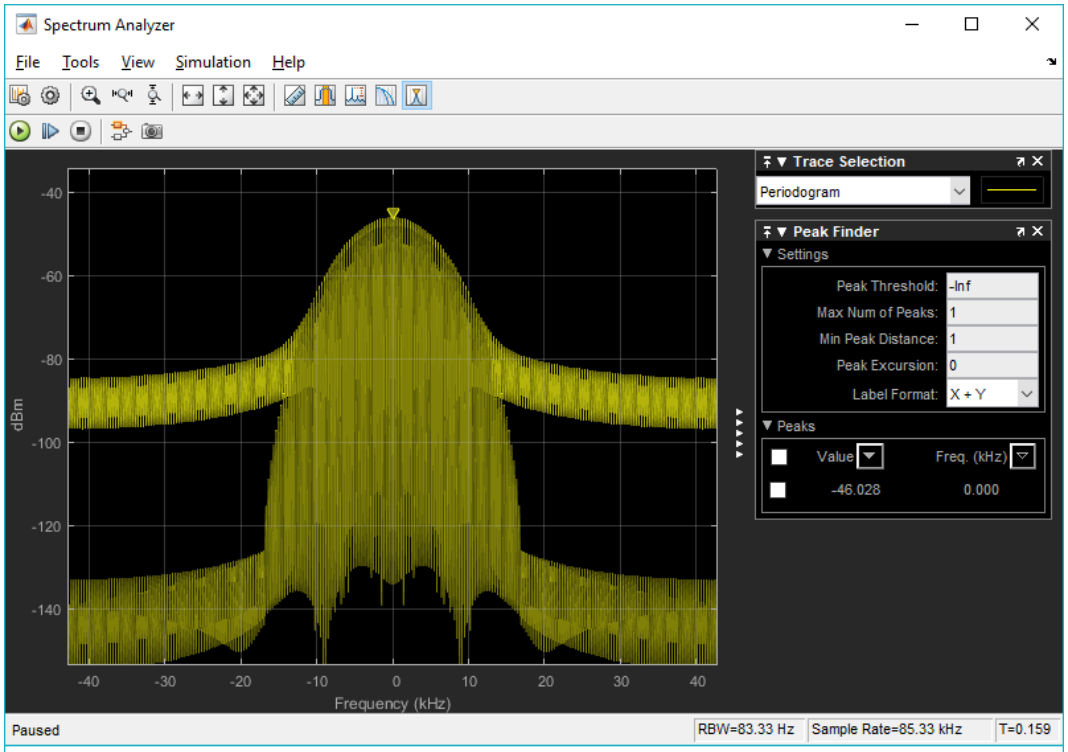

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
-46.265
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.069

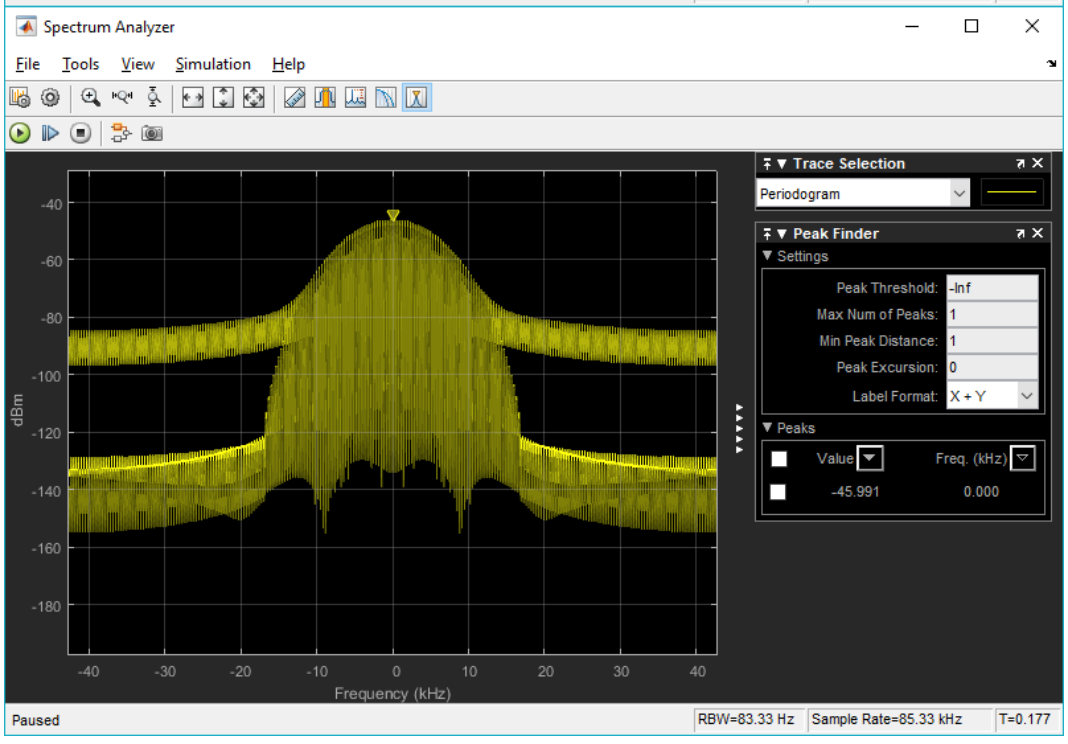

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
-46.222
0.000
dBm
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-40 -30 -20 -10 0 10 20 30 40
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.087

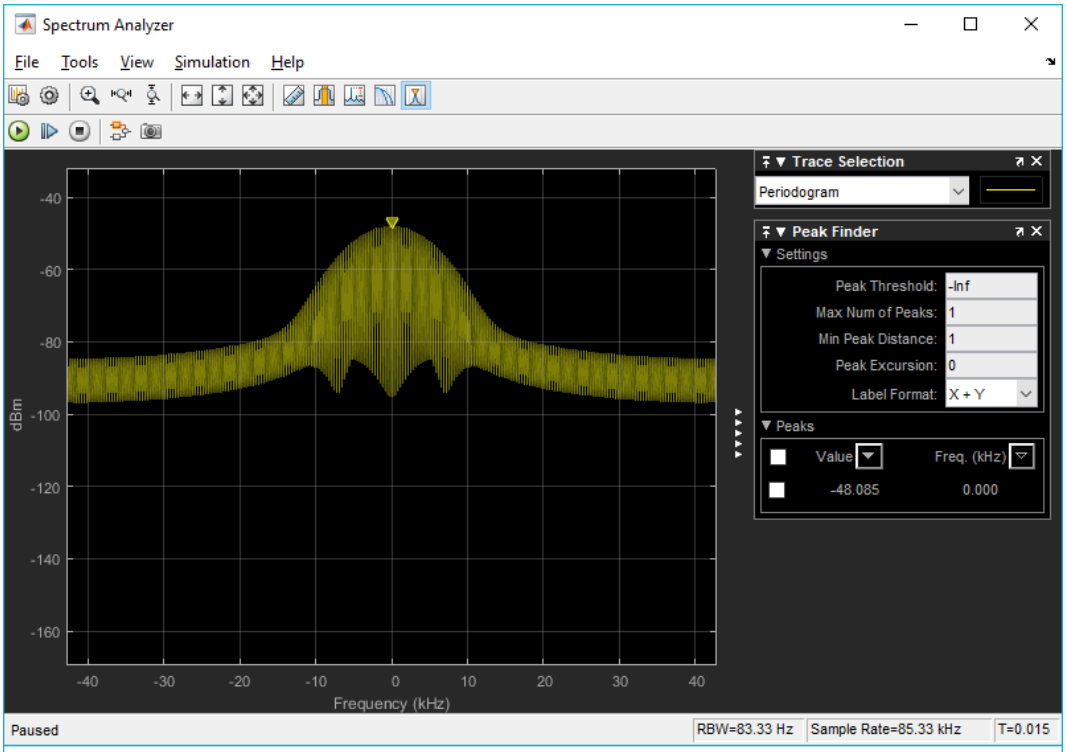

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
-46.177
0.000
dBm
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-40 -30 -20 -10 0 10 20 30 40
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.105

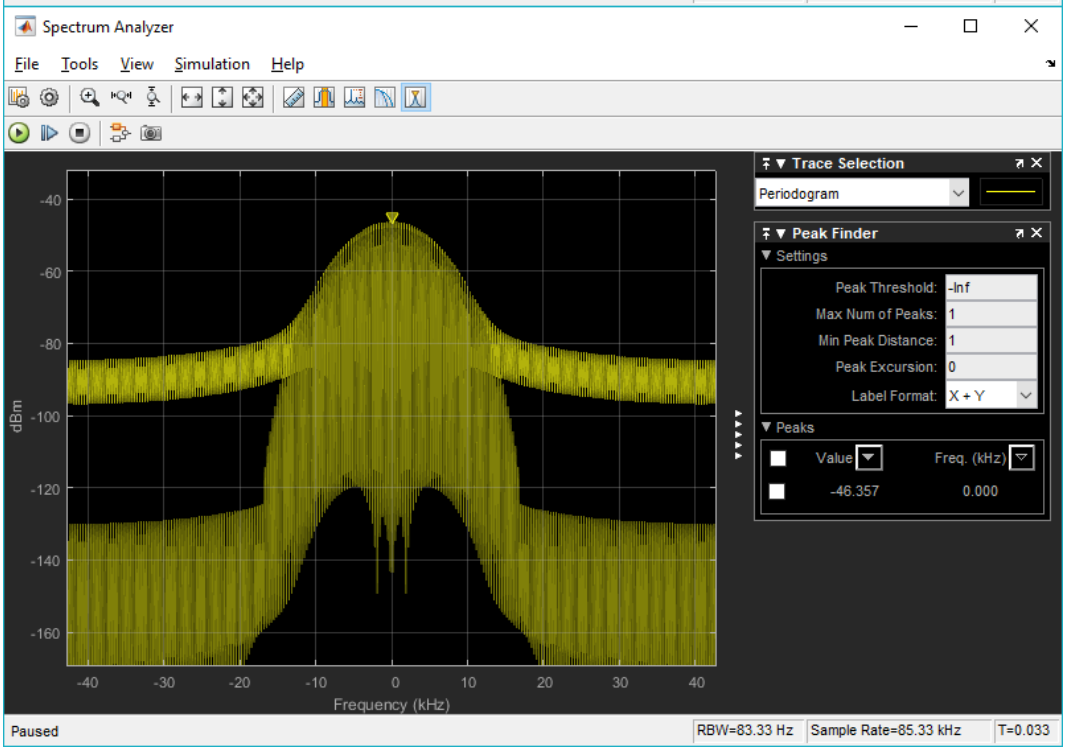

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
-46.120
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.123

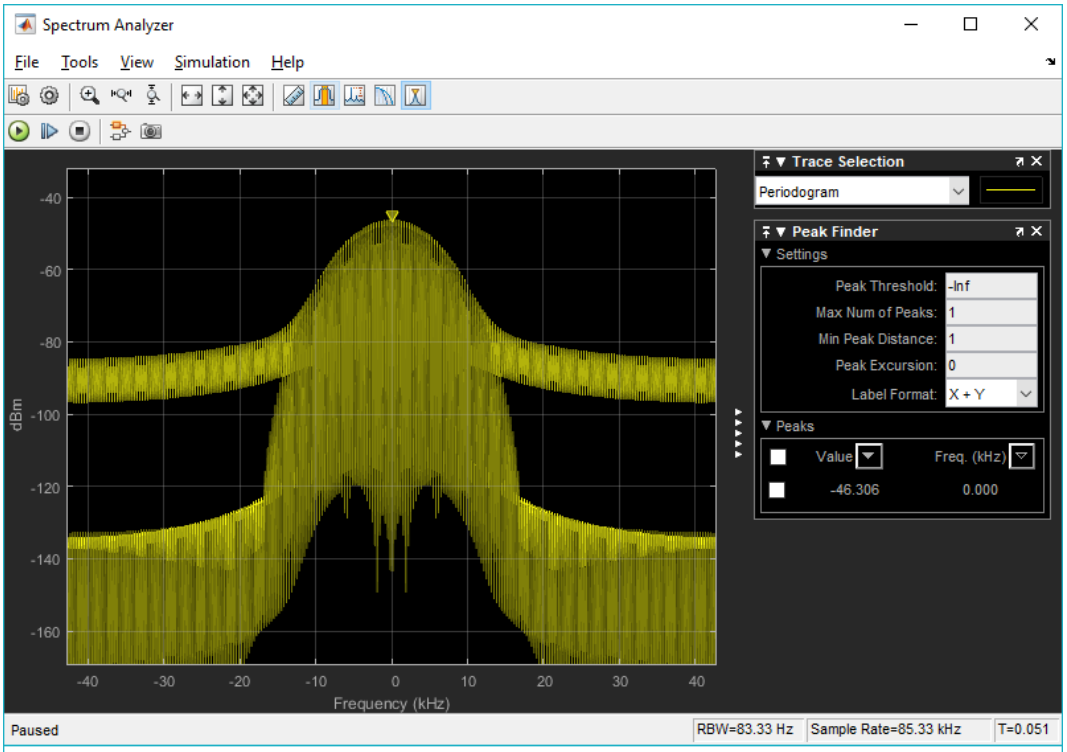

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
-46.077
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.141

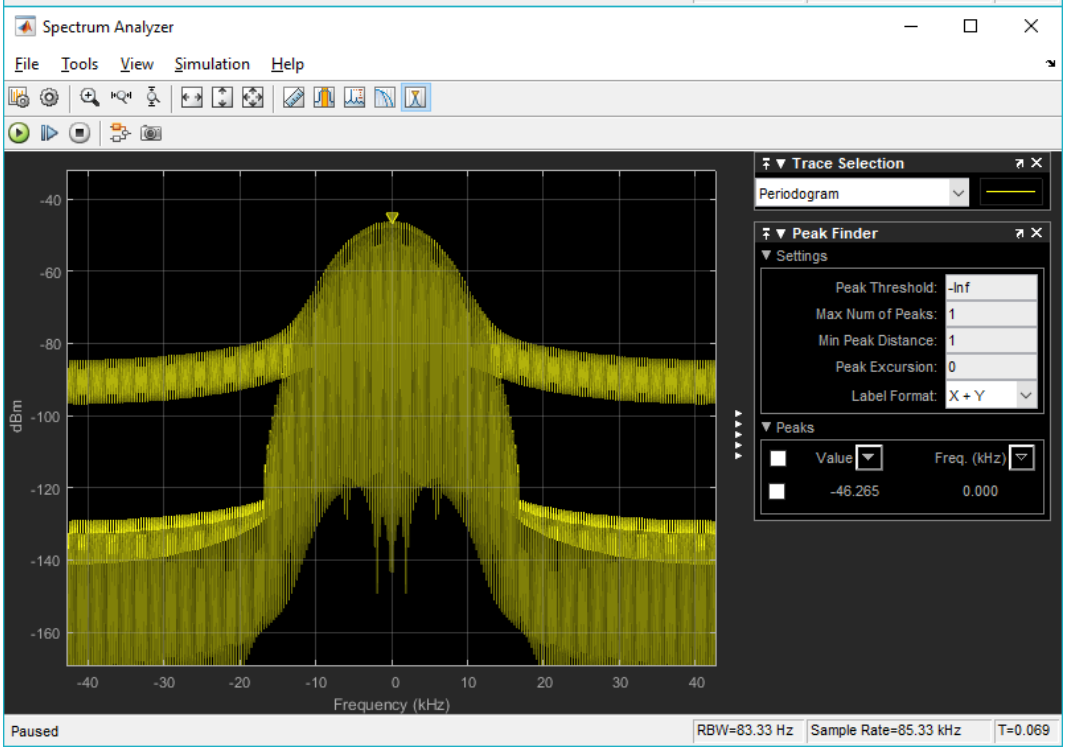

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
-46.028
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.159

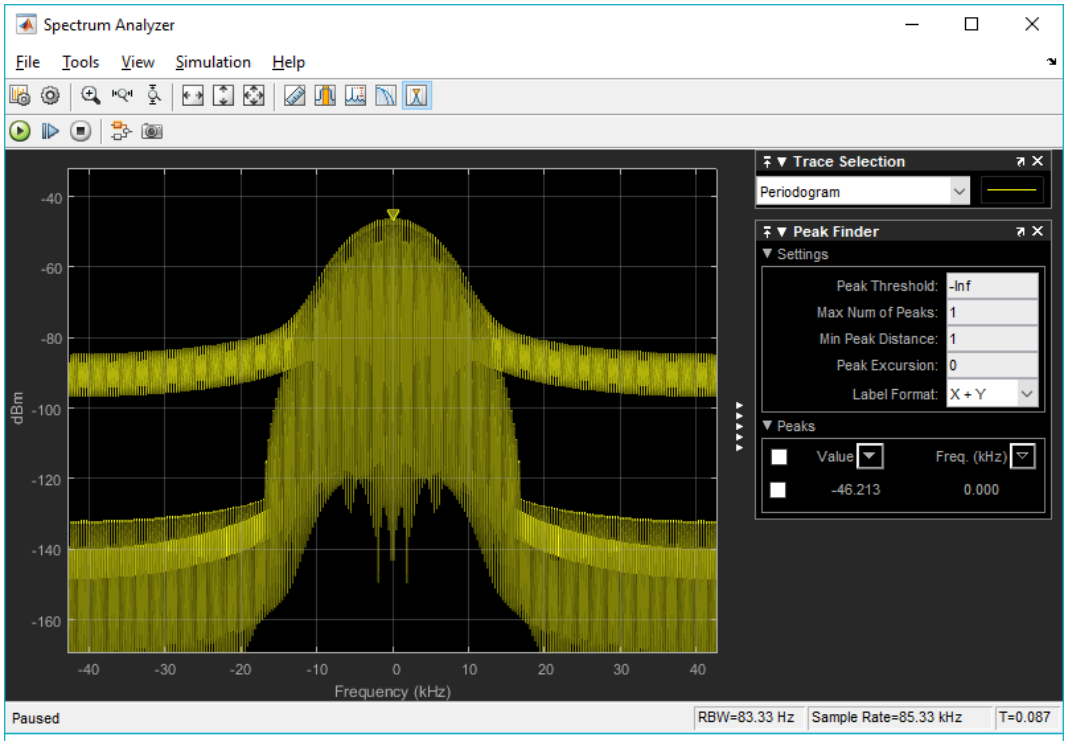

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
-45.991
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.177

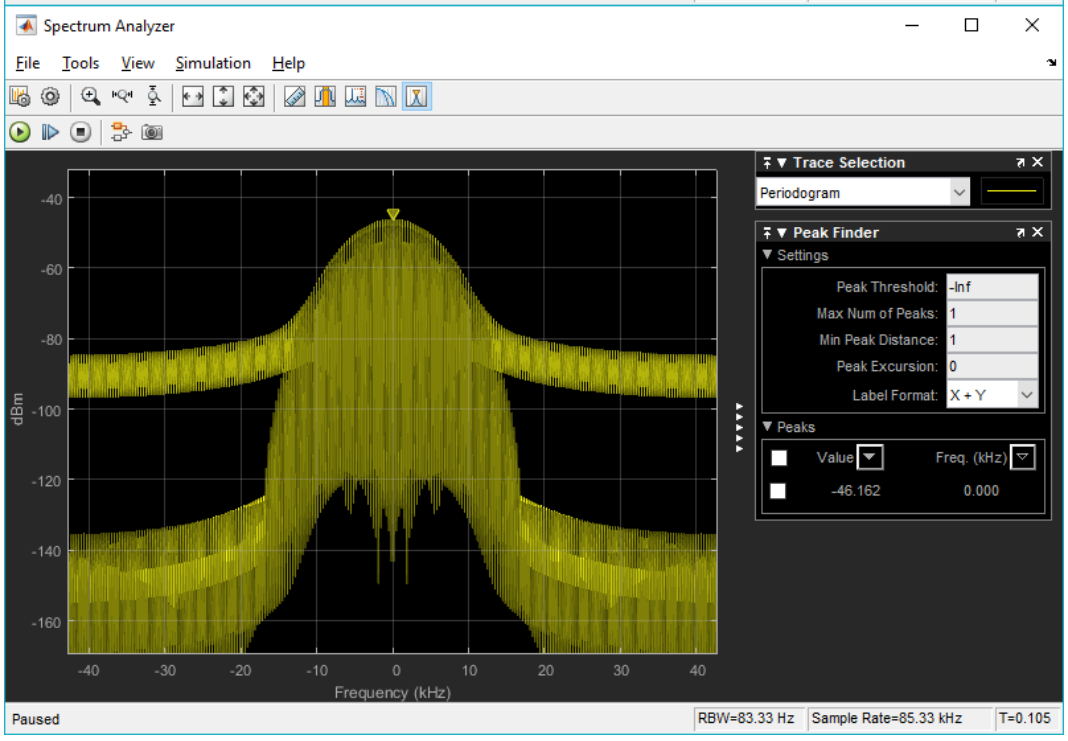

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
-48.085
0.000
dBm
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
-40 -30 -20 -10 0 10 20 30 40
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.015

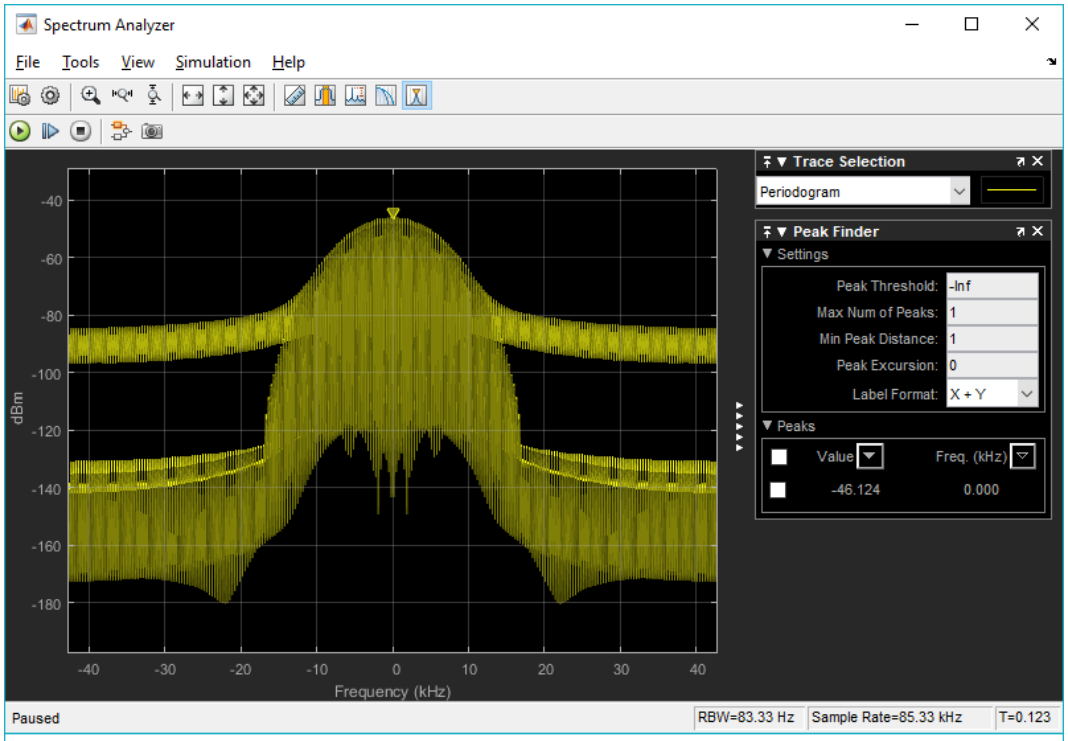

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
-46.357
0.000
dBm
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
-40 -30 -20 -10 0 10 20 30 40
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.033

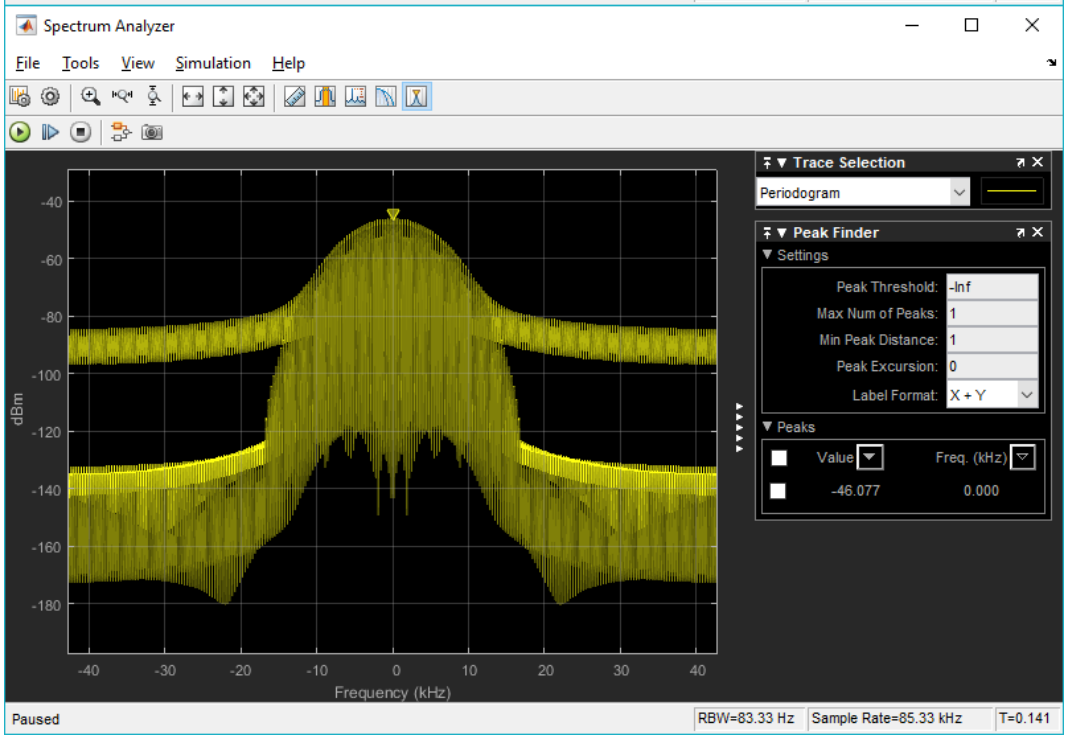

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
-46.306
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.051

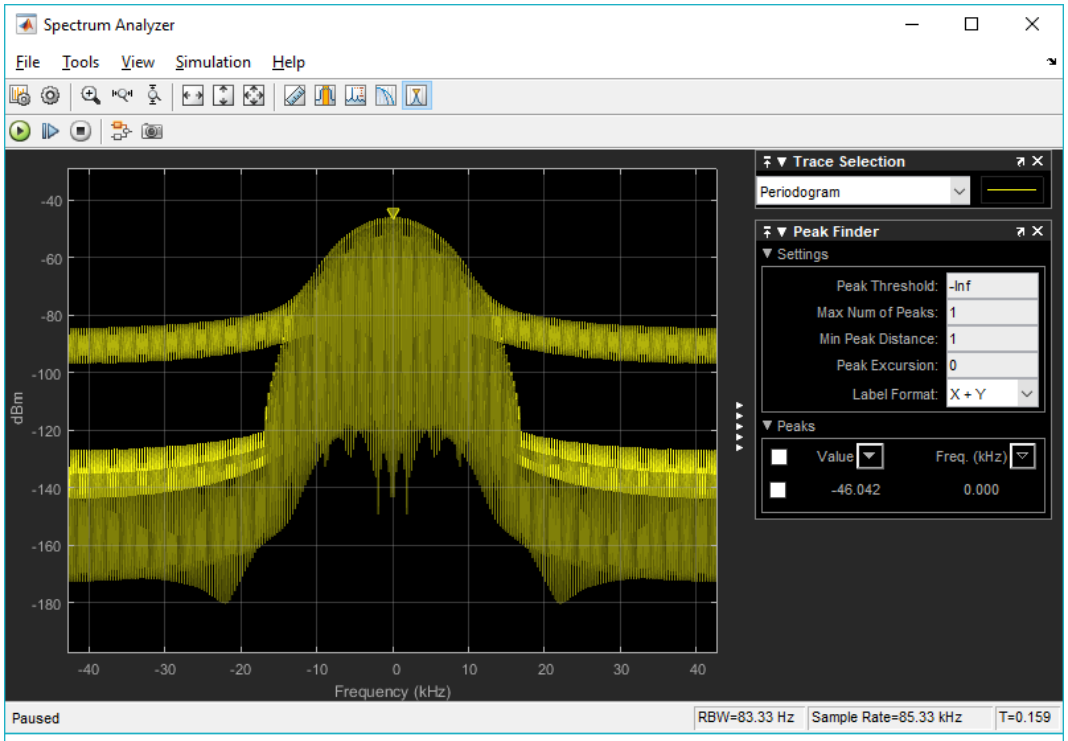

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
-46.265
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.069

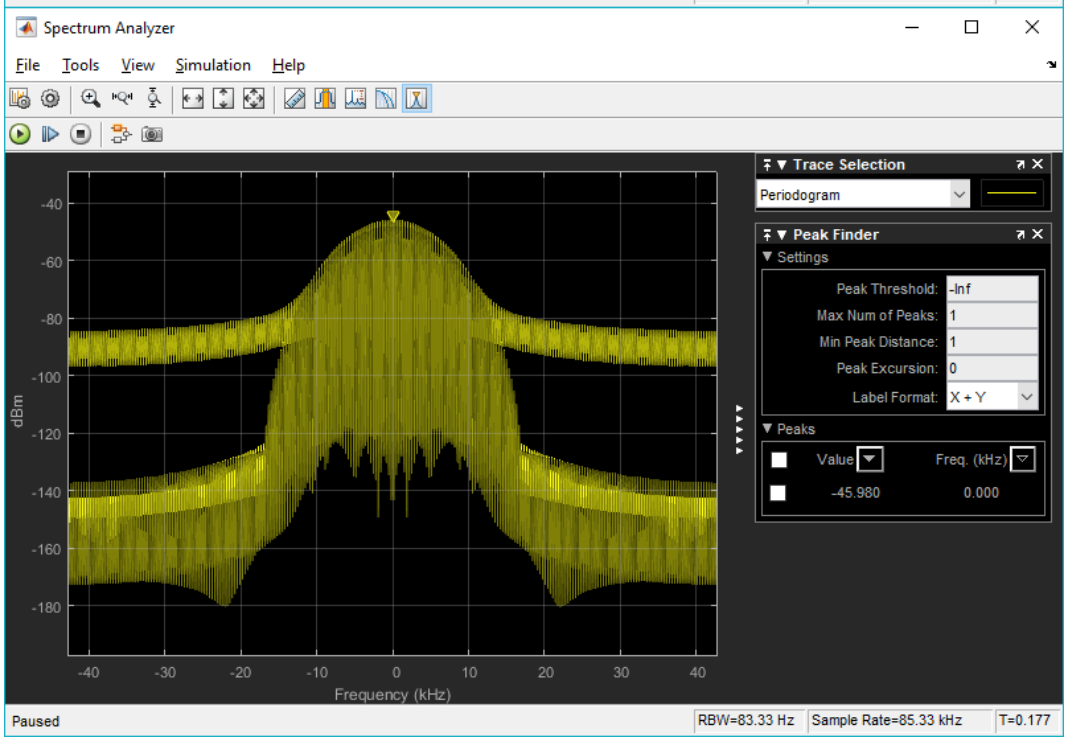

Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
-46.213
0.000
dBm
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
-40 -30 -20 -10 0 10 20 30 40
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.087


Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
-46.162
0.000
dBm
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
-40 -30 -20 -10 0 10 20 30 40
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.105


Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
-46.124
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.123


Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
-46.077
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.141


Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
-46.042
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.159


Spectrum Analyzer
File Tools View Simulation Help
Trace Selection
Periodogram
Peak Finder
Settings
Peak Threshold: -Inf
Max Num of Peaks: 1
Min Peak Distance: 1
Peak Excursion: 0
Label Format: X + Y
Peaks
Value
Freq. (kHz)
-45.980
0.000
dBm
Frequency (kHz)
Paused
RBW=83.33 Hz
Sample Rate=85.33 kHz
T=0.177

Lampiran 2. Skrip m-file Pembentuk Kurva BER Teoretis Pada AWGN, *Fading*, dan Hasil Simulasi

1. Modulasi BFSK

```
1. EbNo = 0:0.5:8;
2. empBER = [0.002509 0.001667 0.001188 0.000802 0.000511
   0.000323 0.000197 0.000121 0.000072 0.000019 0.000014
   0.000007 0.000003 0.0000015 0.00000075 0.0000004
   0.00000002];
3. BerSim = berfit(EbNo, empBER);
4. berbound2 = berfading(EbNo,'fsk',2,1,'coherent');
5. berbound = berawgn(EbNo,'fsk',2,'coherent');
6. semilogy (EbNo, BerSim, '-.ko', EbNo, berbound2, '--
   go', EbNo, berbound,':bo');
```

2. Modulasi BPSK

```
1. EbNo = 0:0.5:8;
2. empBER = [0.001789 0.001242 0.00083 0.000536 0.000334
   0.000205 0.000127 0.000075 0.00005 0.000026 0.000016
   0.000008 0.000006 0.000002 0.000001 0.0000005
   0.00000026];
3. BerSim = berfit(EbNo, empBER);
4. berbound2 = berfading(EbNo,'psk',2,1);
5. berbound = berawgn(EbNo,'psk',2,'diff');
6. semilogy (EbNo, BerSim, '-.ko', EbNo, berbound2, '--
   go', EbNo, berbound,':bo');
```

3. Modulasi QPSK

```
1. EbNo = 0:0.5:14;
2. empBER = [0.044391 0.035161 0.027115 0.020581 0.015472
   0.011256 0.00815 0.005732 0.004013 0.00275 0.001836
   0.001168 0.000751 0.000474 0.000291 0.000196 0.000131
   0.000094 0.000067 0.000043 0.000027 0.000018 0.000012
   0.000008 0.000005 0.000002 0.000001 0.0000005
   0.0000002];
3. BerSim = berfit(EbNo, empBER);
4. berbound2 = berfading(EbNo,'psk',4,1);
5. berbound = berawgn(EbNo,'psk',4,'diff');
6. semilogy (EbNo, BerSim, '-.ko', EbNo, berbound2, '--
   go', EbNo, berbound,':bo');
```

4. Modulasi 16-QPSK

```
1. EbNo = 0:0.5:18;
2. empBER = [0.075491 0.061622 0.049461 0.039217 0.030619
   0.023379 0.017344 0.013009 0.009747 0.006642 0.004877
   0.003173 0.002489 0.001754 0.001204 0.000911 0.000785
   0.000609 0.000462 0.000335 0.000248 0.00019 0.000152
   0.000118 0.000092 0.00007 0.000053 0.000039 0.00003
   0.000022 0.000017 0.000012 0.000008 0.000006 0.000003
   0.000001 0.0000007 ];
3. BerSim = berfit(EbNo, empBER);
4. berbound2 = berfading(EbNo,'psk',16,1);
5. berbound = berawgn(EbNo,'psk',16,'nondiff');
6. semilogy (EbNo, BerSim, '-.ko', EbNo, berbound2, '--
   go', EbNo, berbound,':bo');
```

5. Modulasi QAM

```
1. EbNo = 0:0.5:8;
2. empBER = [0.002145 0.001447 0.000941 0.000595 0.000377
   0.000239 0.000156 0.0001 0.000068 0.000033 0.000021
   0.000014 0.000009 0.000007 0.000004 0.000001
   0.00000075];
3. BerSim = berfit(EbNo, empBER);
4. berbound2 = berfading(EbNo,'qam',4,1);
5. berbound = berawgn(EbNo,'qam',4);
6. semilogy (EbNo, BerSim, '-.ko', EbNo, berbound2, '--
   go', EbNo, berbound,':bo');
```

6. Modulasi 16-QAM

```
1. EbNo = 0:0.5:14;
2. empBER = [0.004501 0.003465 0.002577 0.001989 0.001502
   0.001224 0.000966 0.000728 0.000603 0.000408 0.000307
   0.000251 0.000212 0.000152 0.000117 0.000091 0.000074
   0.000053 0.000038 0.000028 0.00002 0.000015 0.00001
   0.000007 0.000005 0.000003 0.000001 0.0000007
   0.0000005];
3. BerSim = berfit(EbNo, empBER);
4. berbound2 = berfading(EbNo,'qam',16,1);
5. berbound = berawgn(EbNo,'qam',16);
6. semilogy (EbNo, BerSim, '-.ko', EbNo, berbound2, '--
   go', EbNo, berbound,':bo');
```

Mohamad Zaenudin lahir di daerah Kabupaten Bekasi, Jawa Barat pada tanggal 29 oktober 1995 dari pasangan Bapak Supri Hartono dan Ibu Siti Zaenun sebagai anak keempat dari tujuh bersaudara. Memiliki nama panggilan Zae dan Udin yang bertempat tinggal di Perum. Taman Edelweis Blok C13 No. 30 RT/RW 10/12, Ds. Satria Jaya, Kec. Tambun Utara, Kab. Bekasi. Riwayat pendidikan formal peneliti dimulai dari pendidikan sekolah dasar di SDN Satria Jaya 02 dari kelas 1 hingga kelas 3 dan di MI Nurul Jannah dari kelas 3 sampai kelas 4 dari tahun 2001 hingga lulus pada tahun 2007. Kemudian melanjutkan ke jenjang Sekolah Menengah Pertama di SMPN 7 Tambun Selatan pada tahun 2007 dan lulus pada tahun 2010. Dilanjutkan dengan Sekolah Menengah Atas yaitu di SMKN 1 Cikarang barat pada tahun 2010 dan lulus tahun 2013. Melanjutkan ke perguruan tinggi di Universitas Negeri Jakarta, Fakultas Teknik, Program Studi Pendidikan Teknik Elektronika, Konsentrasi Peminatan Telekomunikasi pada tahun 2013 dan lulus pada tahun 2017. E-mail : 29okt1995@gmail.com.