



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Δίκτυα Καθοριζόμενα από Λογισμικό

Ενότητα 3.1: Software Defined Radio

Ξενοφώντας Δημητρόπουλος
Τμήμα Επιστήμης Υπολογιστών

SSOFTWARE

DDEFINED

RRADIO

THE MASTER OF RADIO WAVES

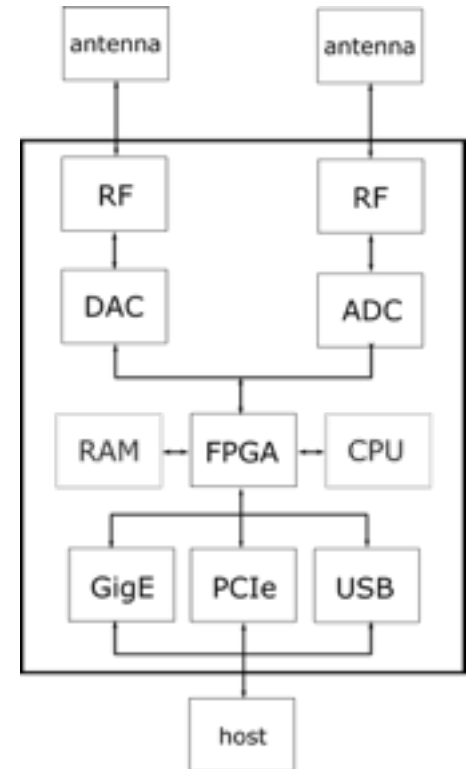
AGENDA

- **SDR Basics**
- **Telecomm Essentials**
- **I-Q Modulation**
- **DSP Essentials**
- **SDR Details**
- **True Potential**

SDR

BASIC CONCEPT

- **Software Reconfigurable Receiver & Transmitter hardware**
- **Limited only by the DAC/ADC characteristics and host interface**
 - Sampling Frequency, Resolution
 - Interface throughput
- **Most of the signal processing is implemented in software**
- **Needs high computational resources on host computer, but provides total freedom in the signal processing**



SDR

BASIC CONCEPT

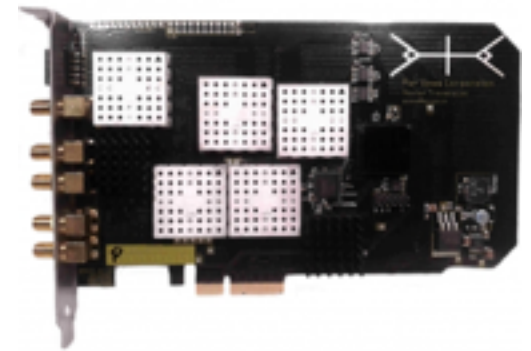
- **SDR is essentially a high sampling rate signal acquisition and reproduction instrument**
 - It is the Swiss Army knife of instrumentation
- **There is no restriction on the manipulation of the acquired/reproducible data**
 - Everything can be implemented in software
 - Every single sample of data is available for analysis
- **The full potential of the hardware is unlocked by the software**
 - No limitations by DSPs, FPGAs and microcontrollers

SDR

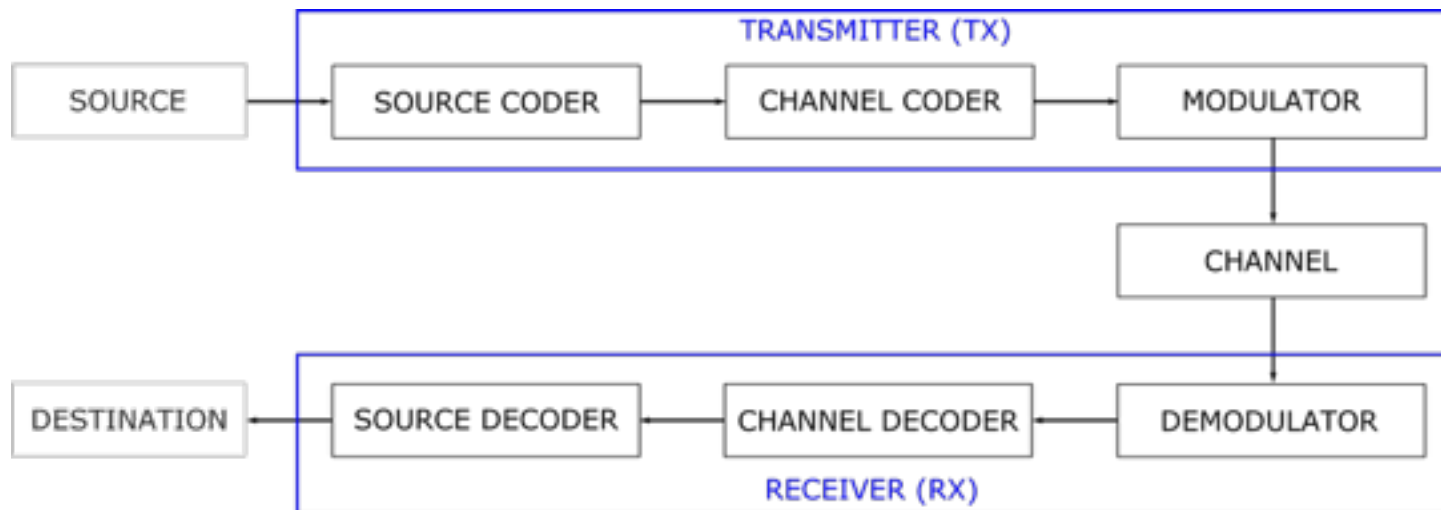
HARDWARE

Current state of the art SDR hardware:

- **PerVices Noctar PCIe (4x) SDR card**
 - Bandwidth: 250MHz Tx, 125MHz Rx
 - Tuning Frequency: 100kHz – 4400MHz
 - Baseband capability: 0-125MHz
 - Interface throughput: 1GB/s
- **Ettus Research USRP B210 USB 3.0 SDR card**
 - Bandwidth: 56MHz Tx & Rx
 - Tuning Frequency: 70MHz – 6000MHz
 - MIMO capability: 2x2
 - Interface throughput: 625MB/s



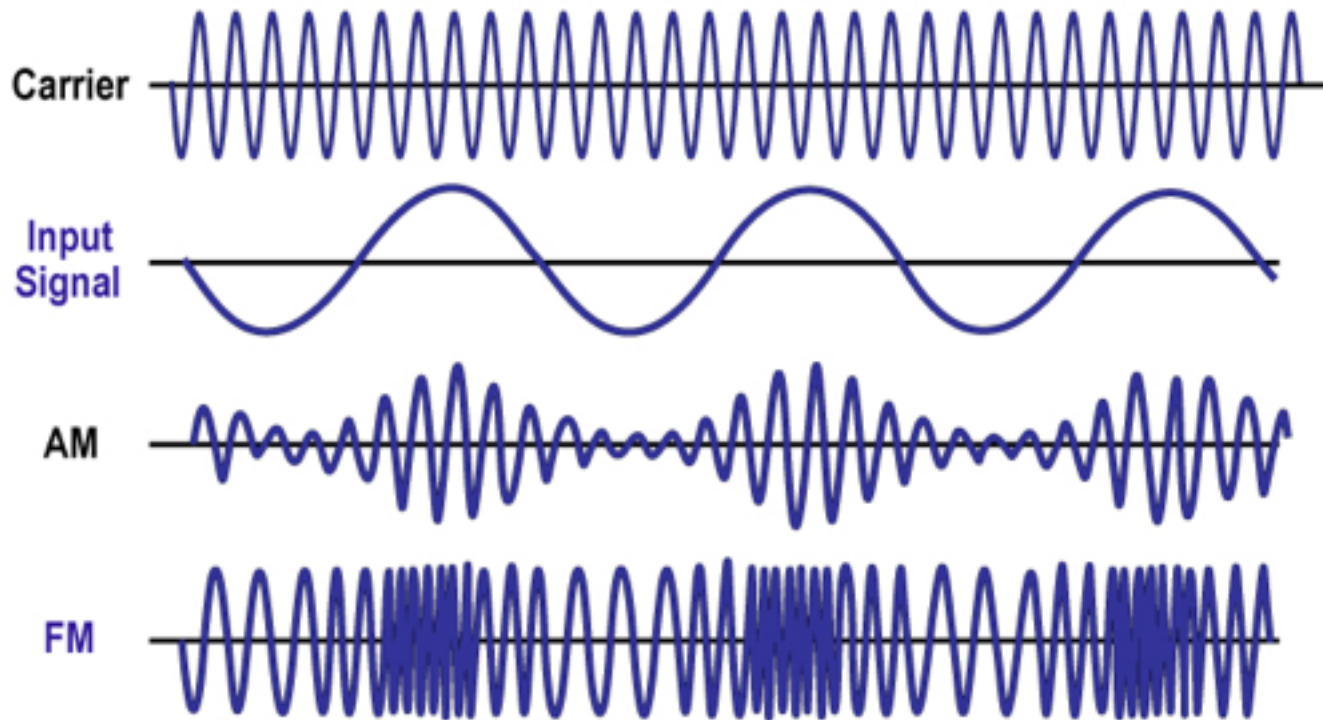
TELECOMMUNICATIONS ESSENTIALS



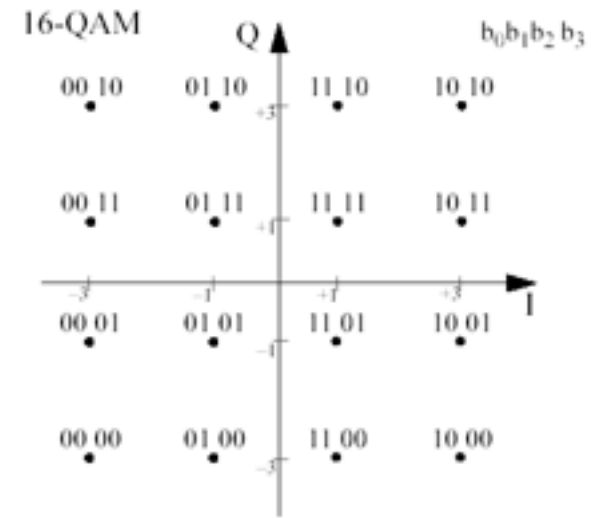
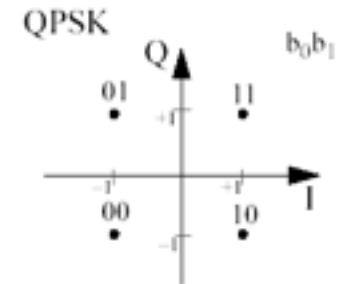
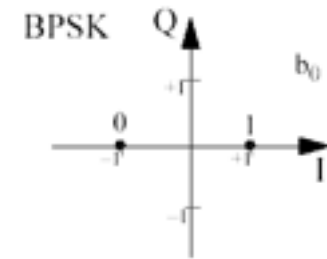
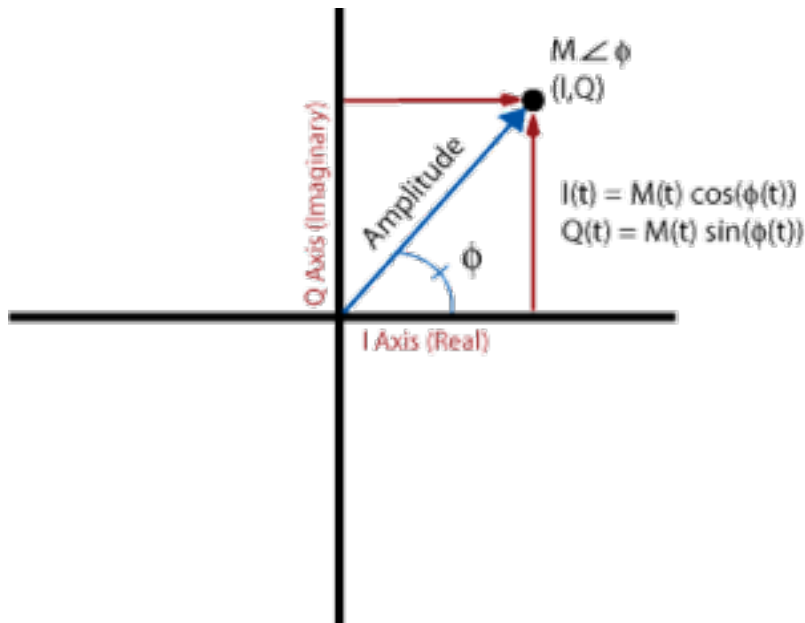
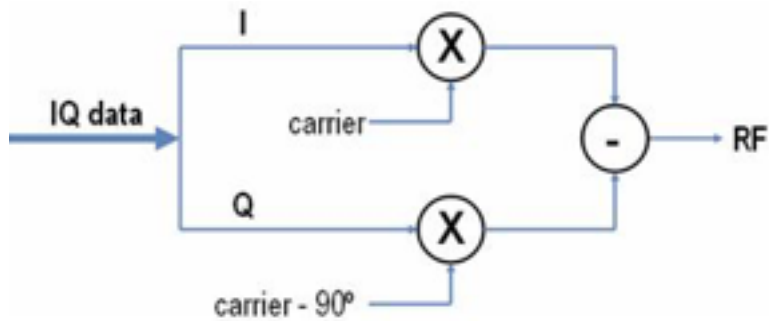
TELECOMMUNICATIONS ESSENTIALS

- **Carrier Frequency**
 - Central Frequency / Channel, i.e. 2412MHz
- **Bandwidth**
 - DVB-T: 8MHz, 802.11: 20MHz, UMTS: 5MHz
- **Signal to Noise Ratio (SNR) [SINR]**
 - Thermal Noise: $P = k_B T B$
- **Capacity**
 - Shannon–Hartley theorem: $C = B \log_2\left(1 + \frac{S}{N}\right)$

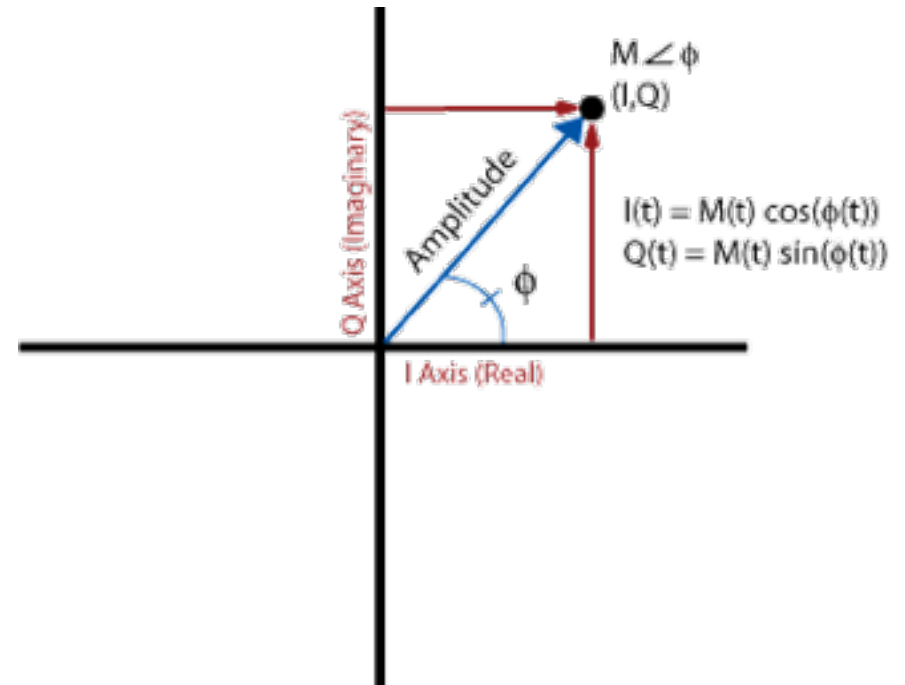
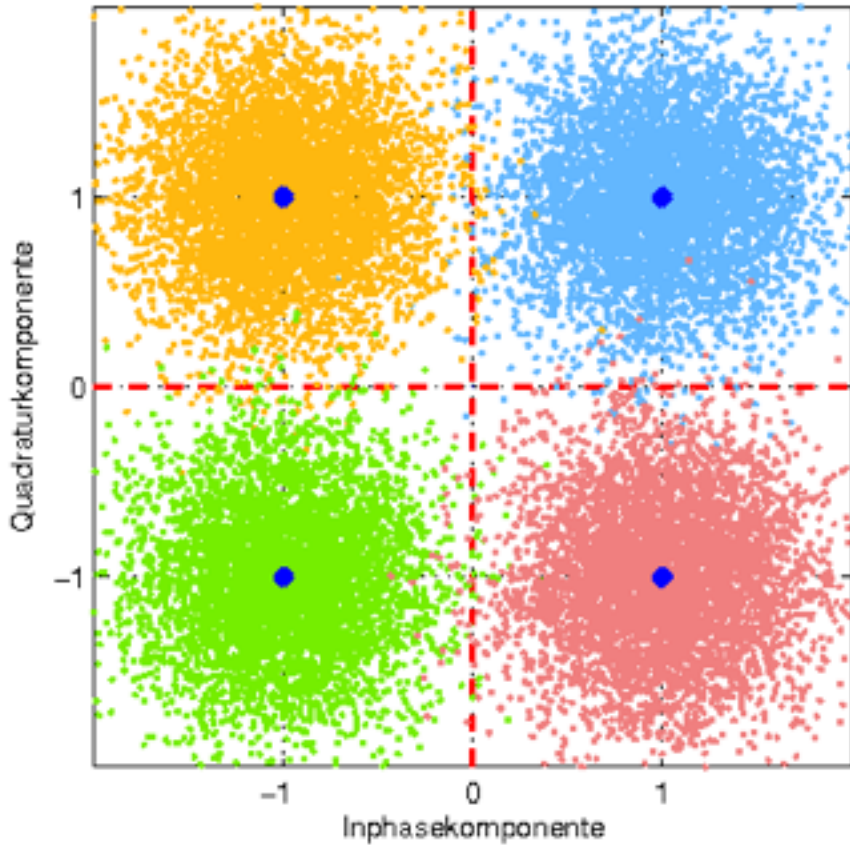
TELECOMMUNICATIONS ESSENTIALS: MODULATION



I-Q MODULATION & CONSTELLATIONS

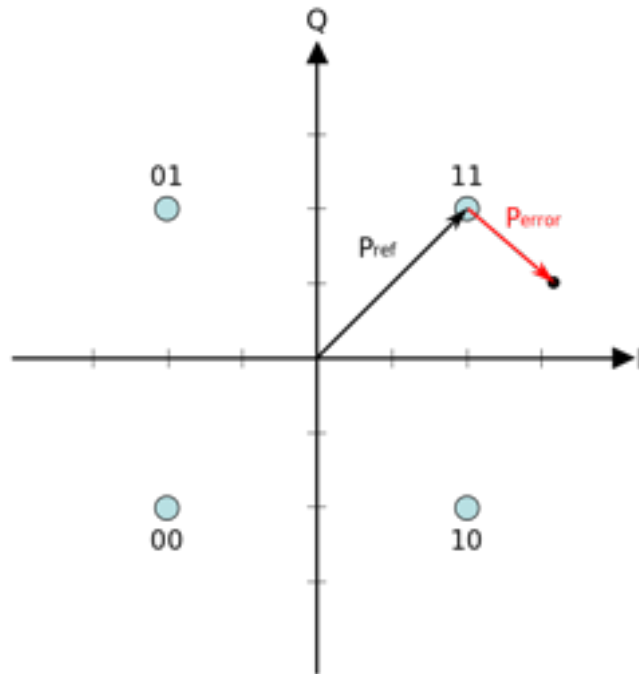


CONSTELLATION DECISION AREAS



CONSTELLATION

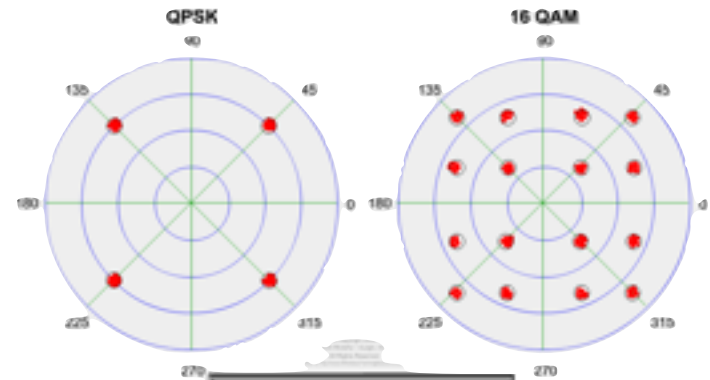
EVM



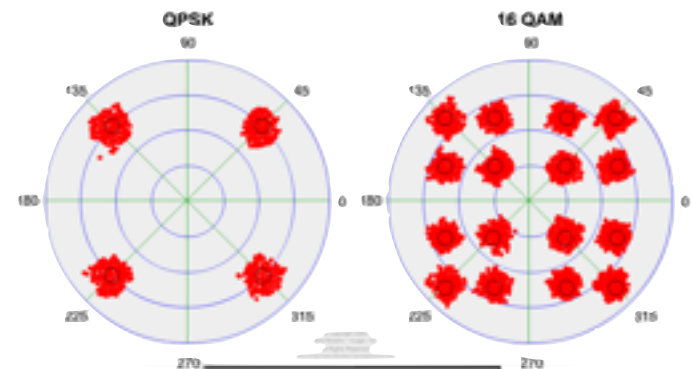
$$\text{EVM}(\%) = \sqrt{\frac{P_{\text{error}}}{P_{\text{reference}}}} * 100\%$$

$$\text{EVM}(\text{dB}) = 10 \log_{10} \left(\frac{P_{\text{error}}}{P_{\text{reference}}} \right)$$

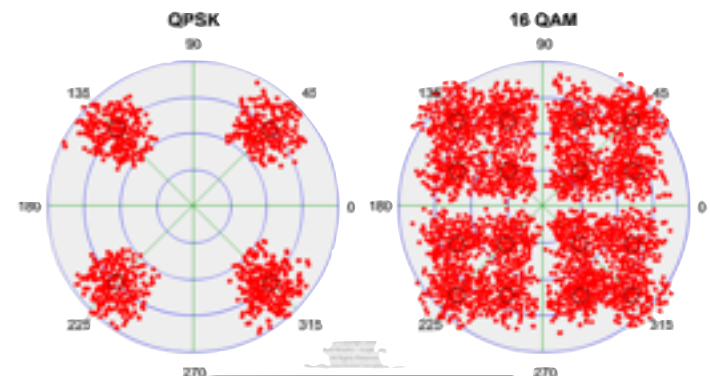
SNR ≈ 30 dB



SNR ≈ 15 dB



SNR ≈ 10 dB

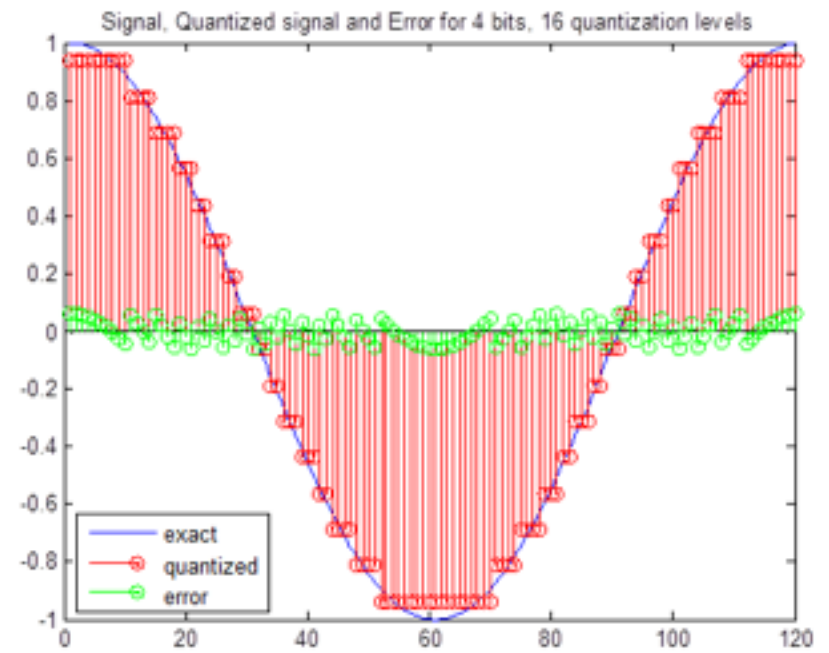
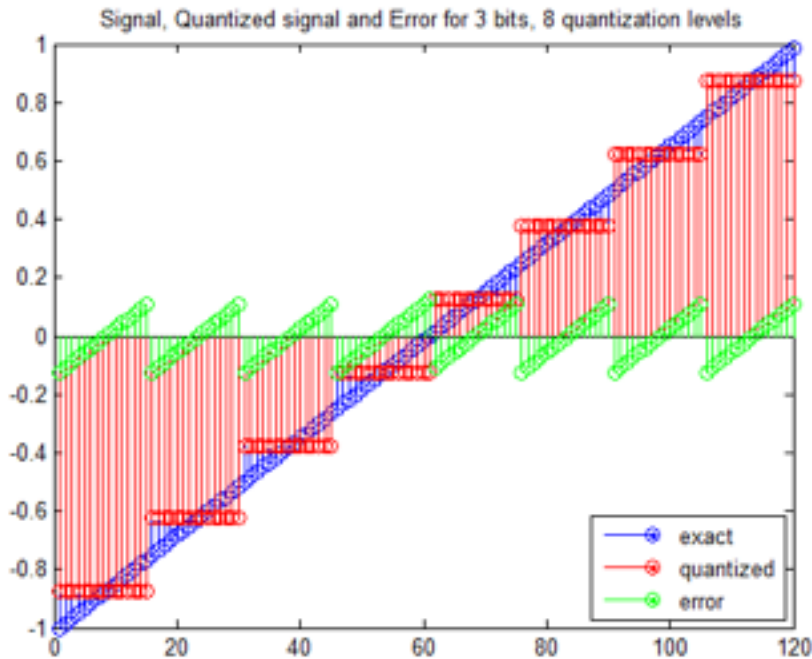
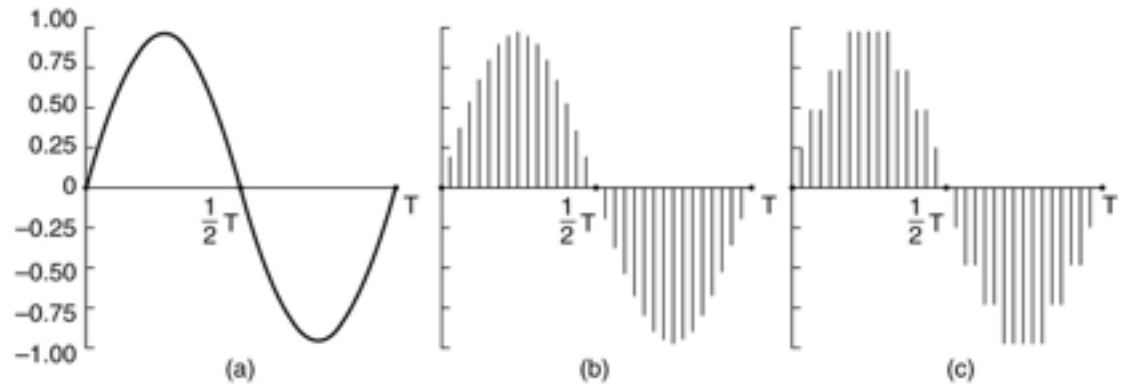


DSP

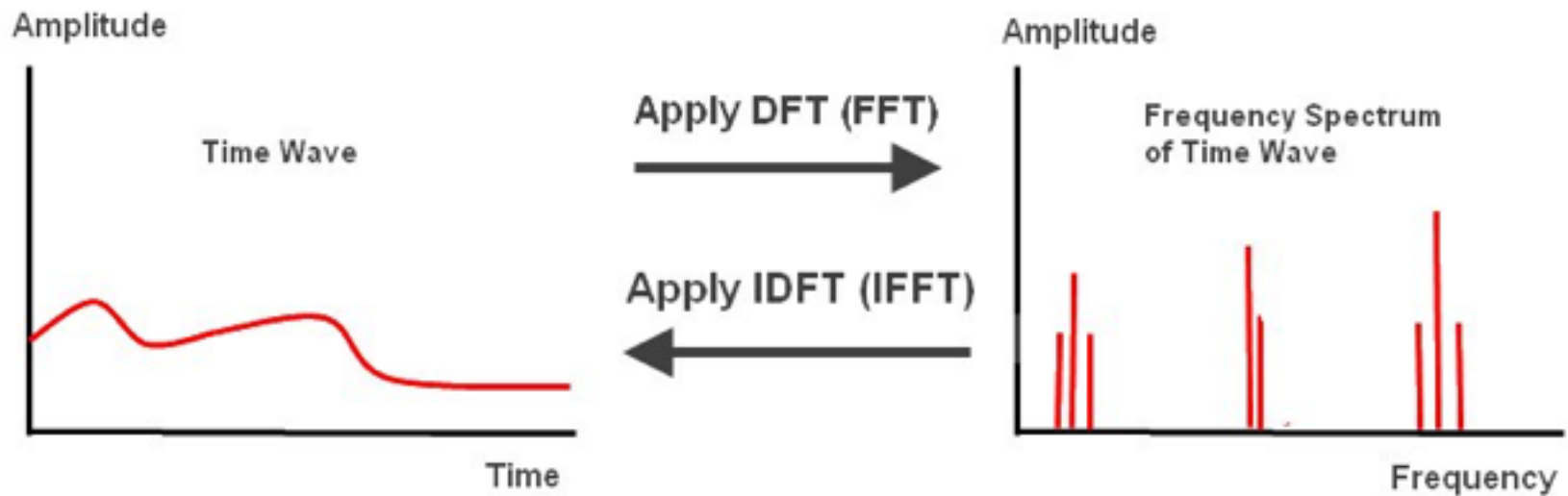
ESSENTIALS

- **Sampling**
 - Nyquist frequency - perfect reconstruction: $B \leq f_s/2$
- **Quantization**
 - Ideal Quantization Error: uniform distribution between $[-1/2, +1/2]$ LSB
- **Dynamic Range**
 - Signal to Quantization Noise: $SQNR = 20 \log_{10}(2^Q) \approx 6.02 \cdot Q$ dB
- **Filtering**
 - low-pass (LP)*, high-pass (HP), band-pass (BP)
 - *anti-aliasing
- **Equalization**
- **Decimation / Interpolation**

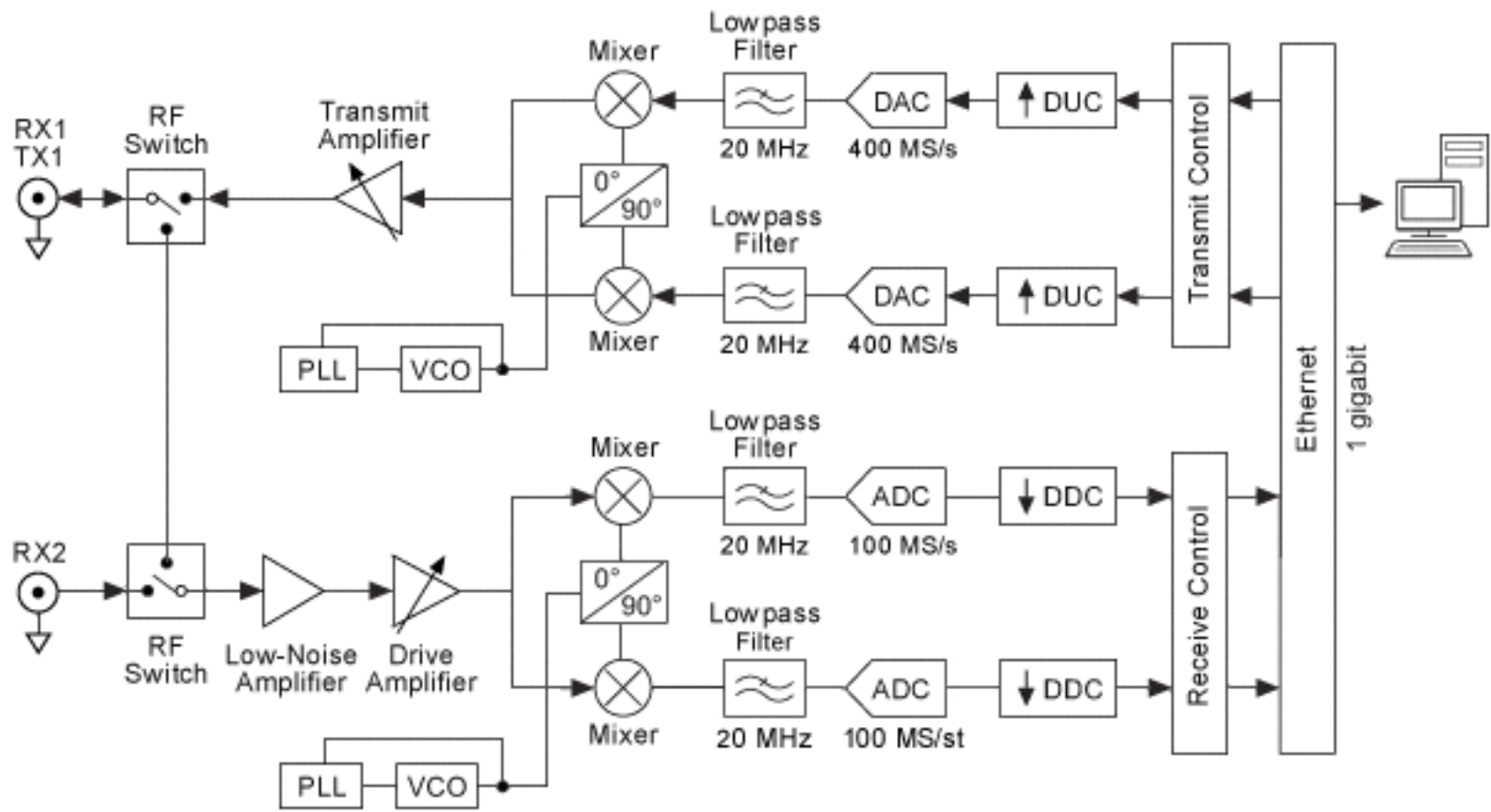
DSP ESSENTIALS: SAMPLING



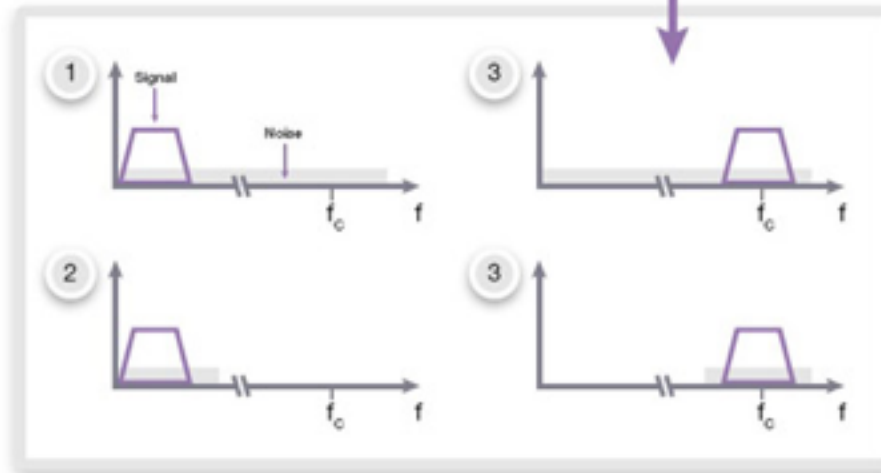
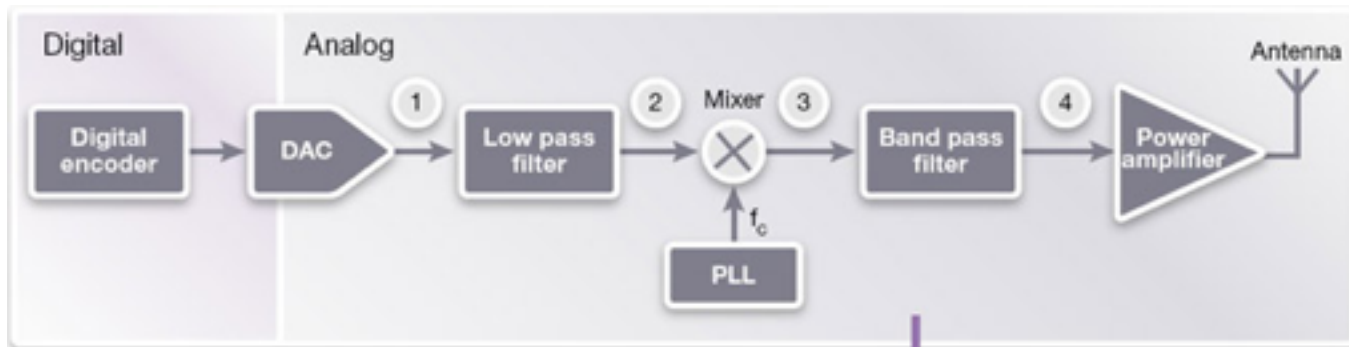
DSP ESSENTIALS: FOURIER TRANSFORM



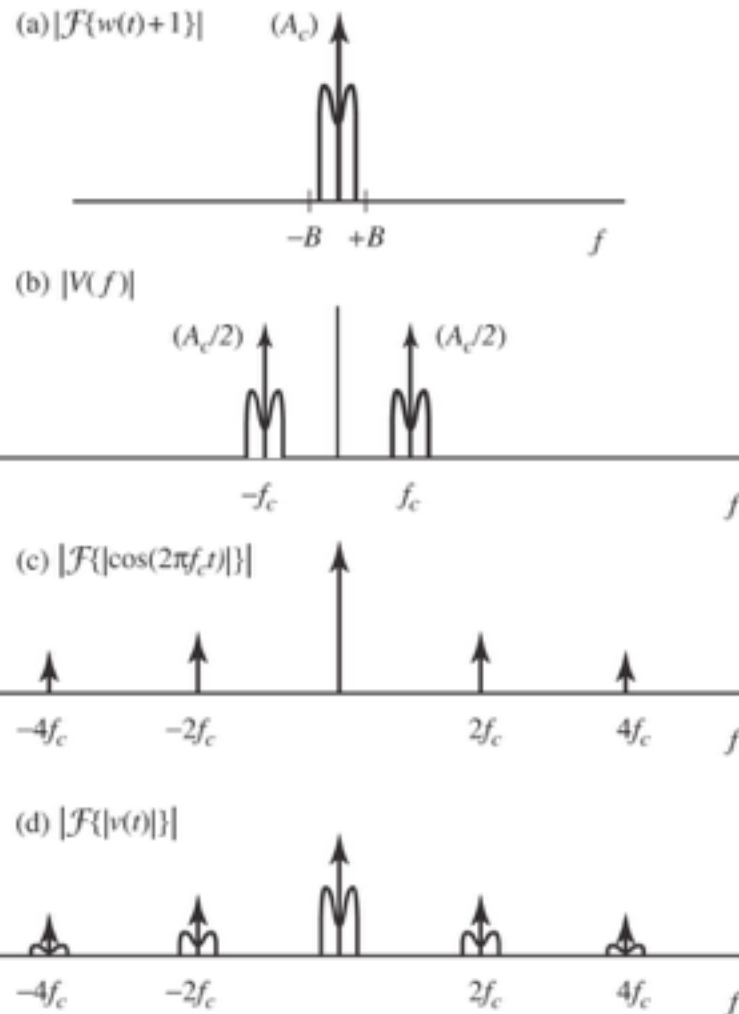
TYPICAL SDR BLOCK DIAGRAM



BASIC TRANSMITTER BLOCK DIAGRAM

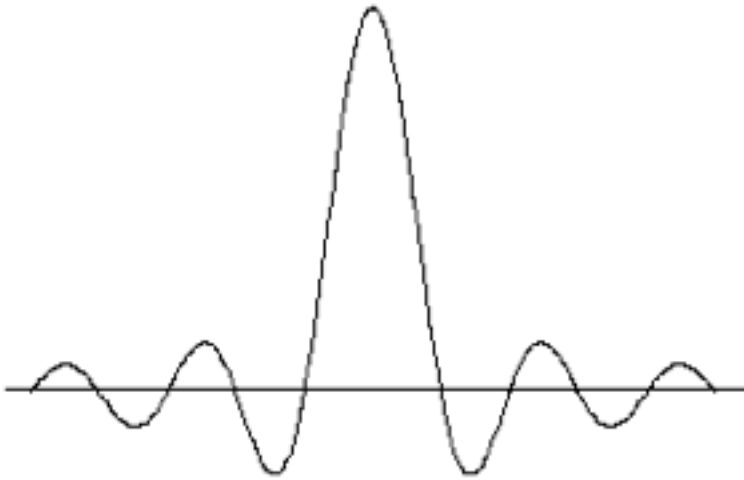


MODULATION SPECTRUM

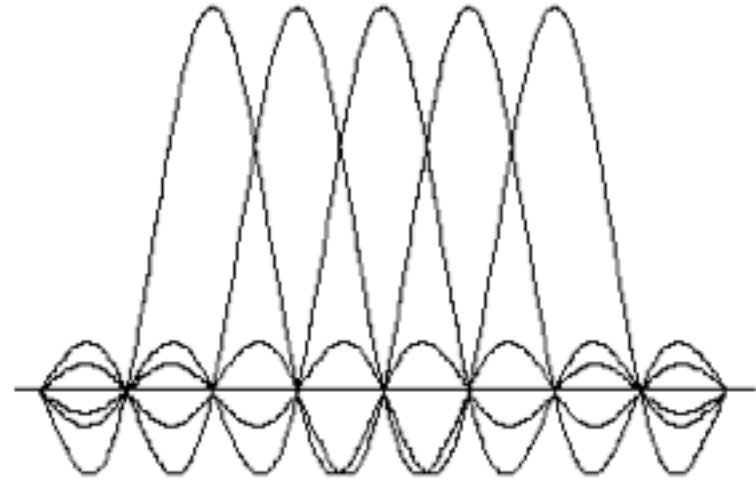


OFDM MODULATION SPECTRUM

A spectrum of an OFDM subchannel (during a single bit)

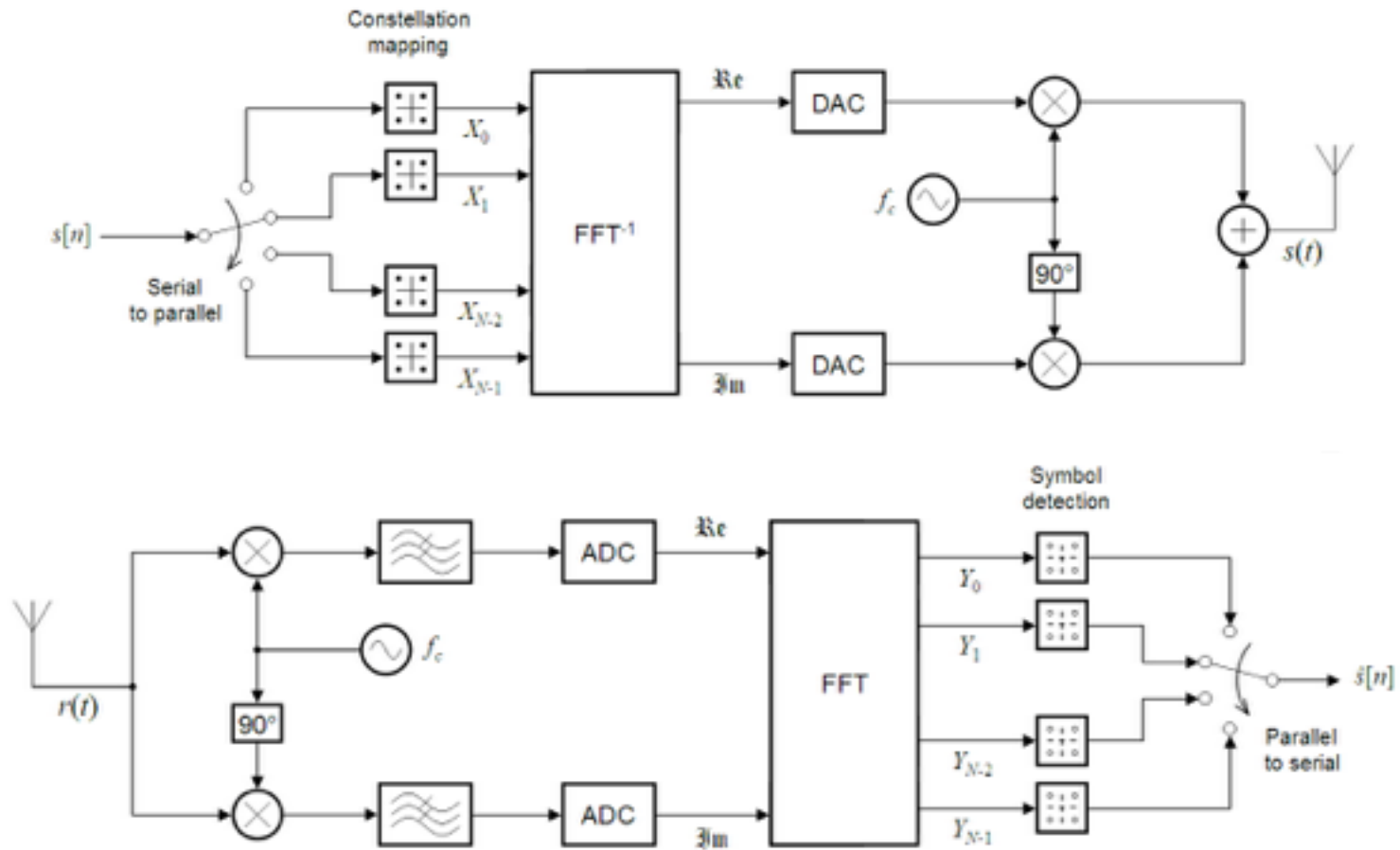


OFDM spectrum



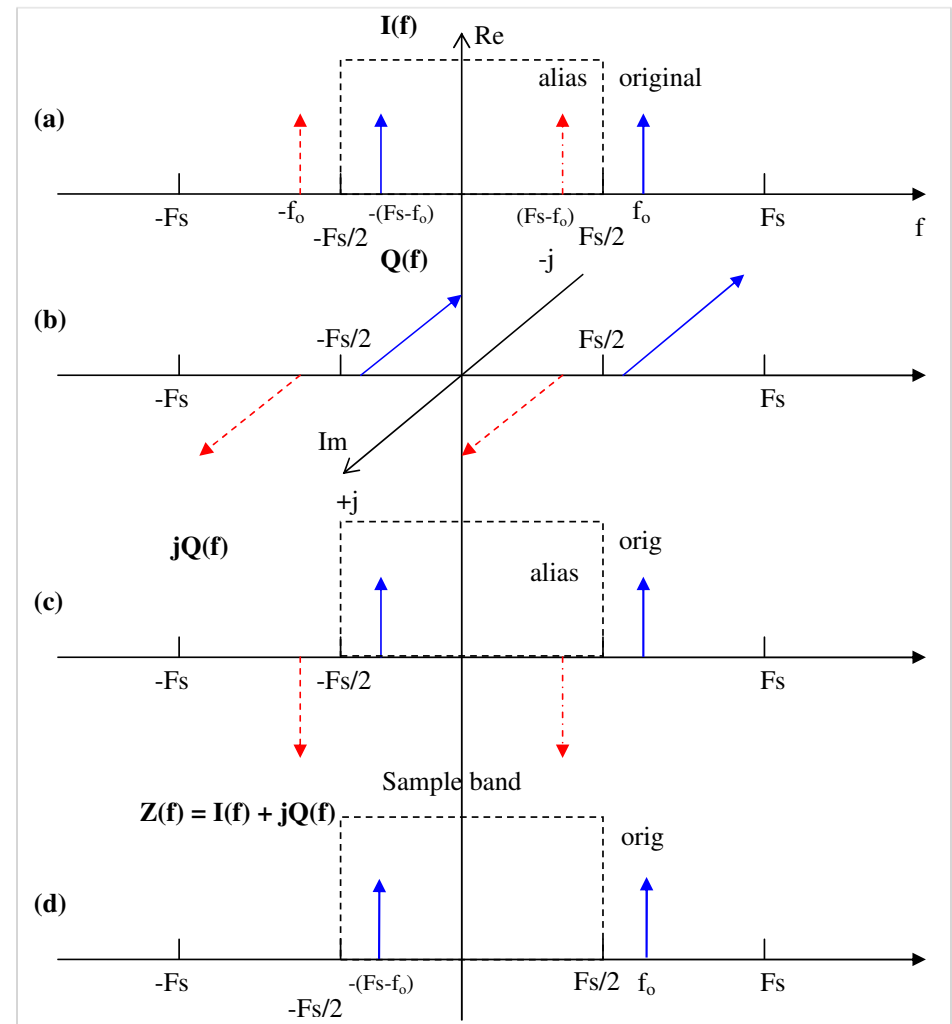
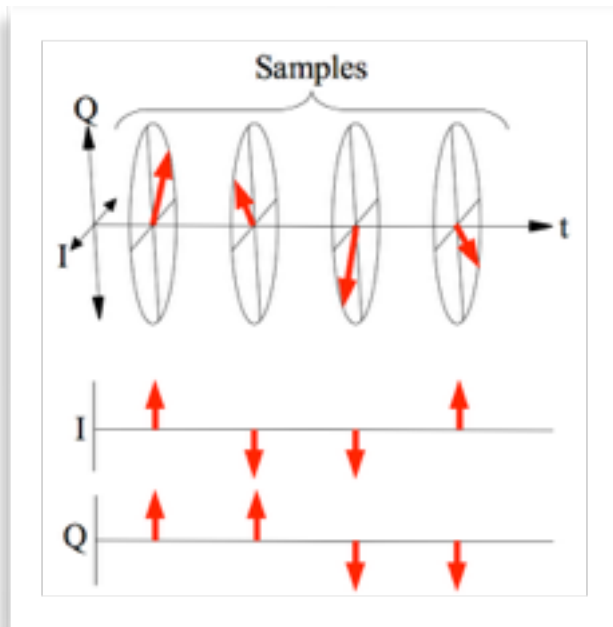
OFDM

TX - RX



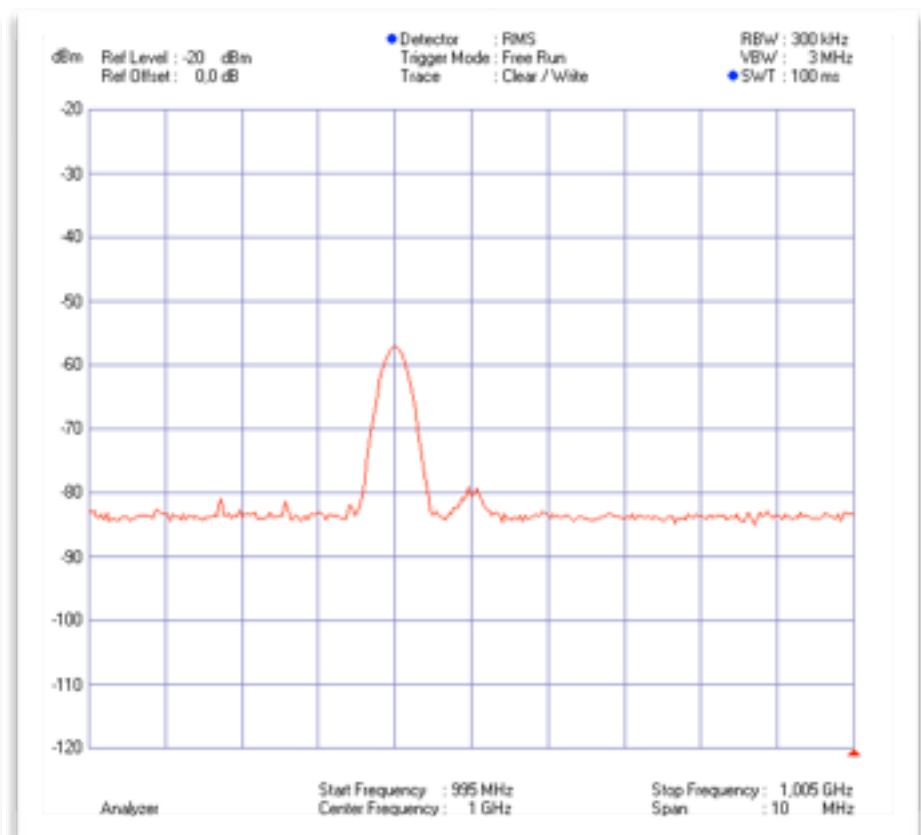
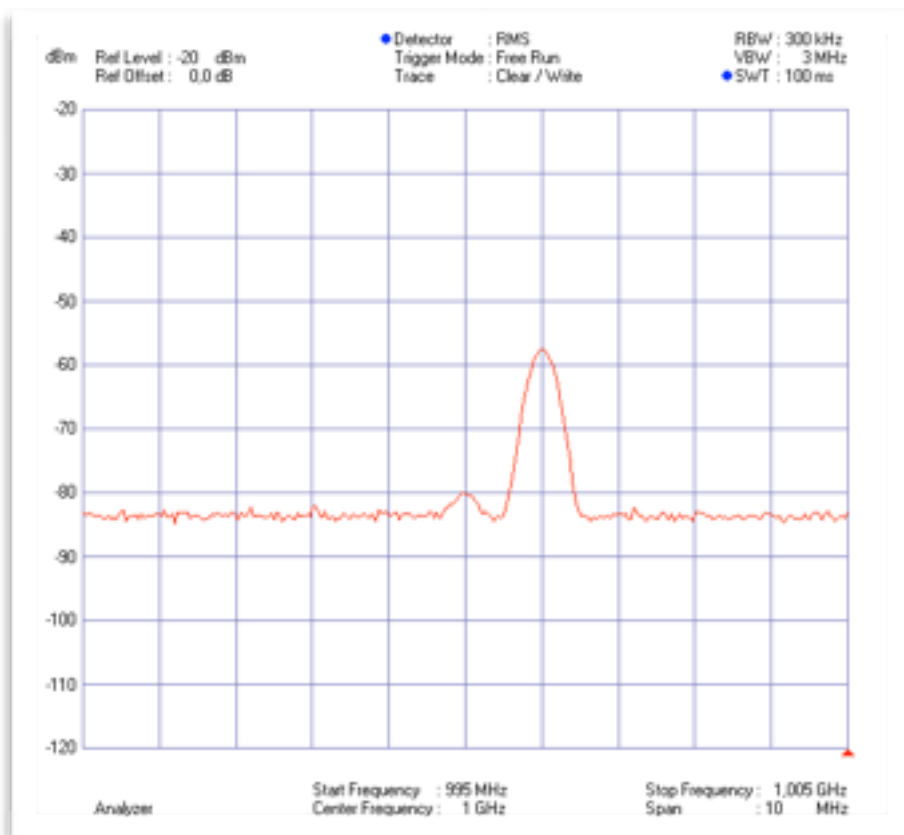
I/Q SAMPLING

NYQUIST BW = SR



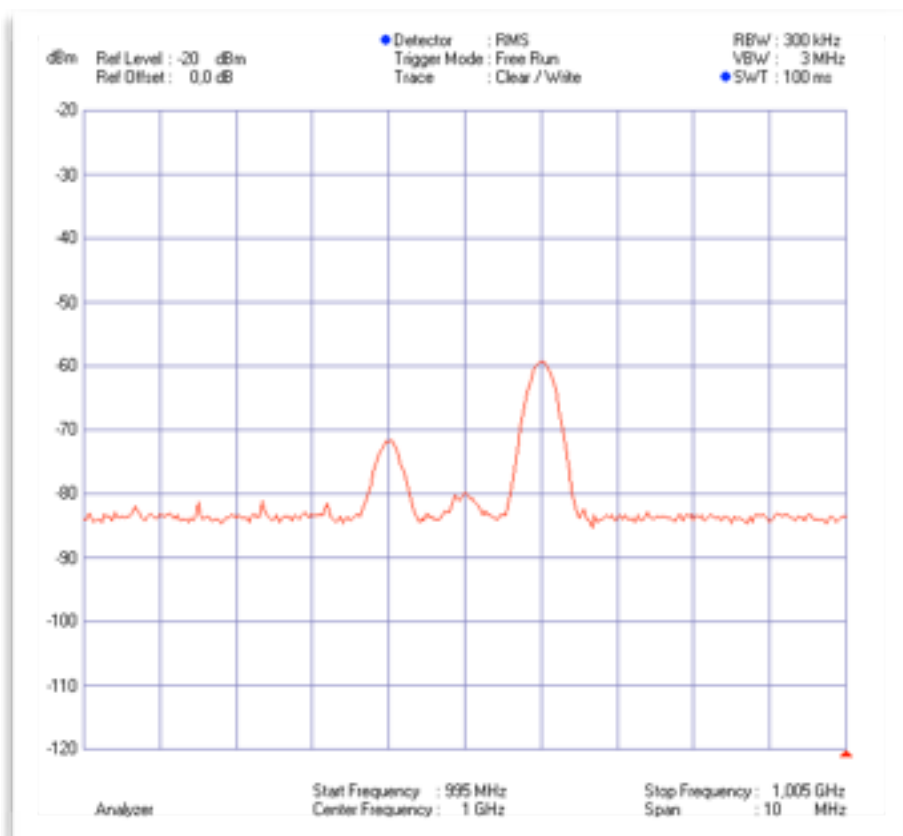
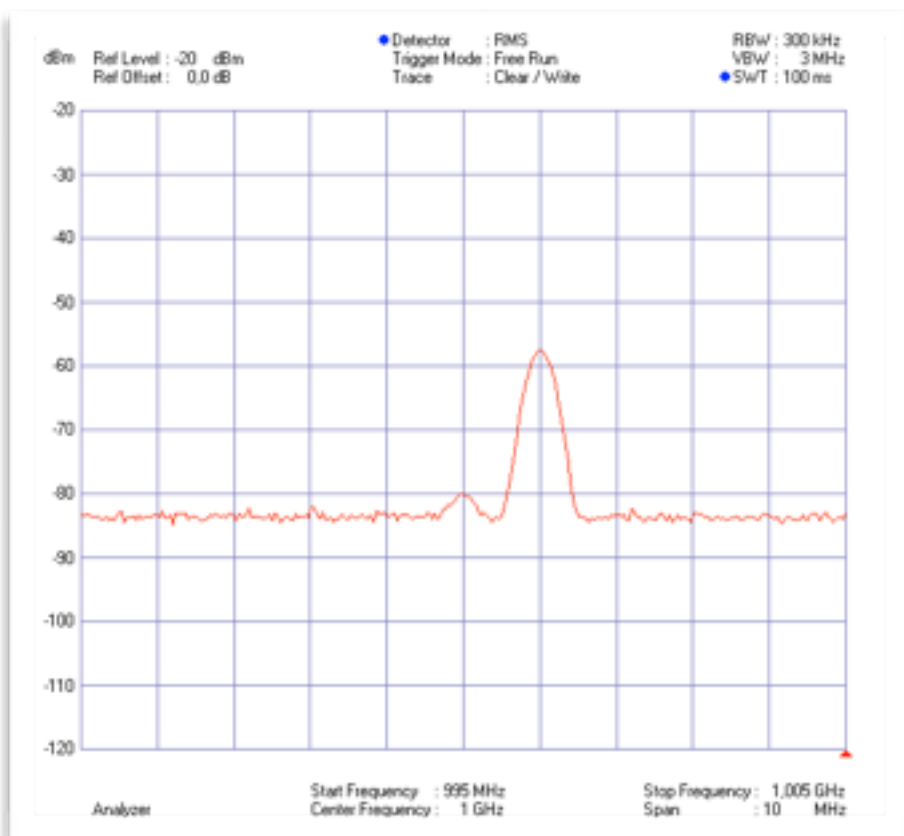
I/Q SAMPLING PROBLEMS

I-Q values swap



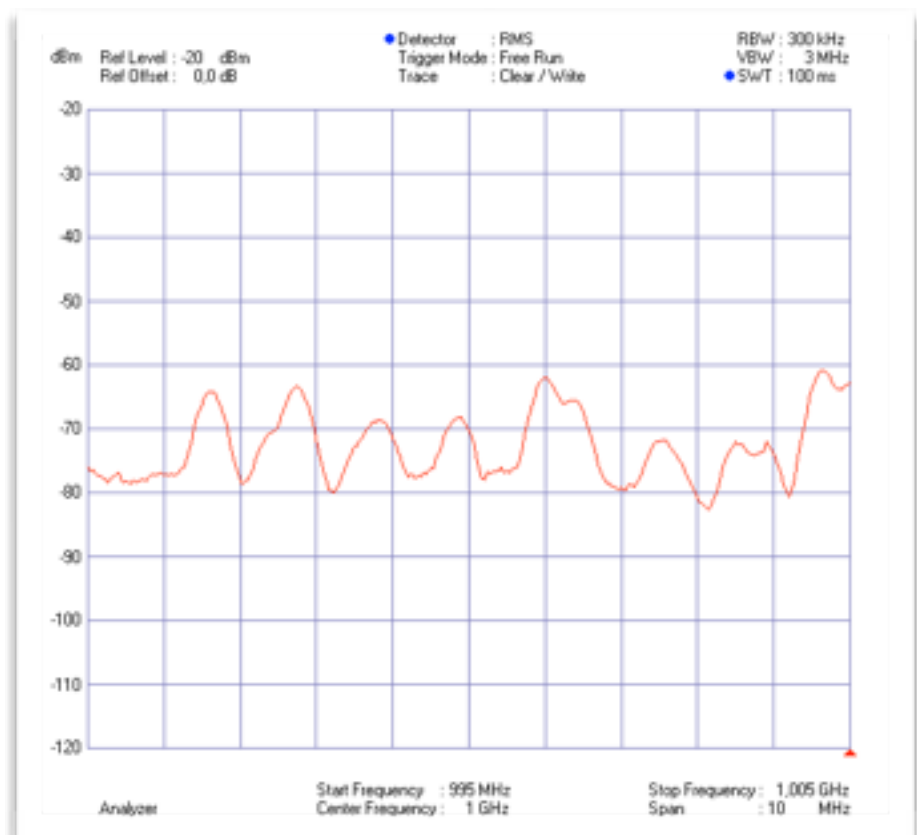
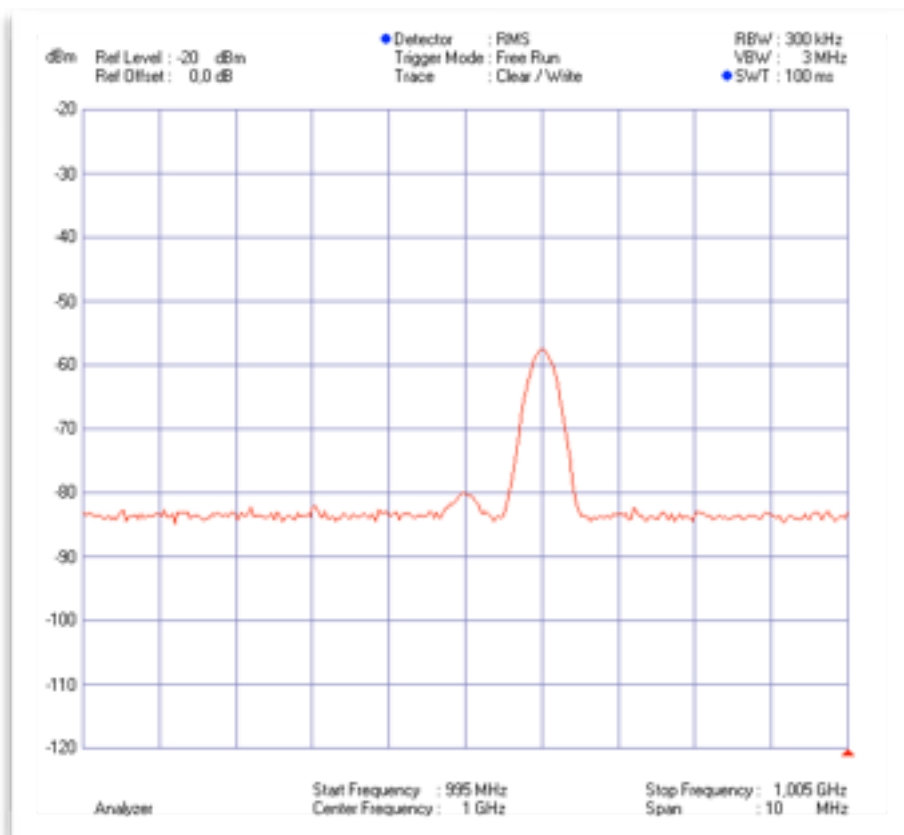
I/Q SAMPLING PROBLEMS

I-Q values imbalance



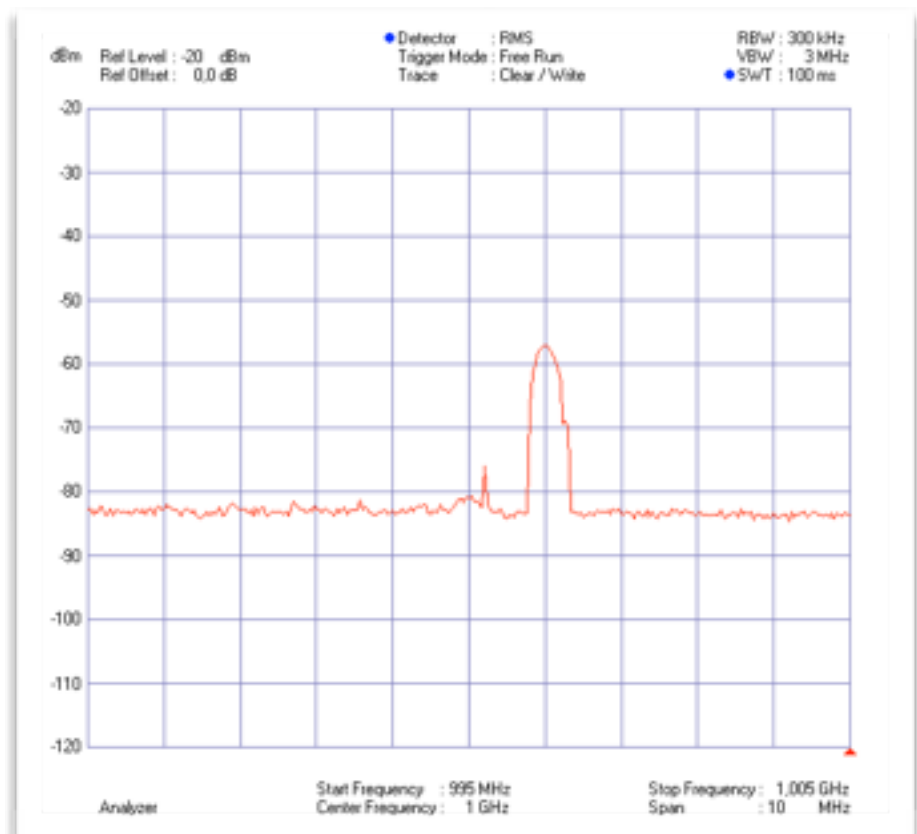
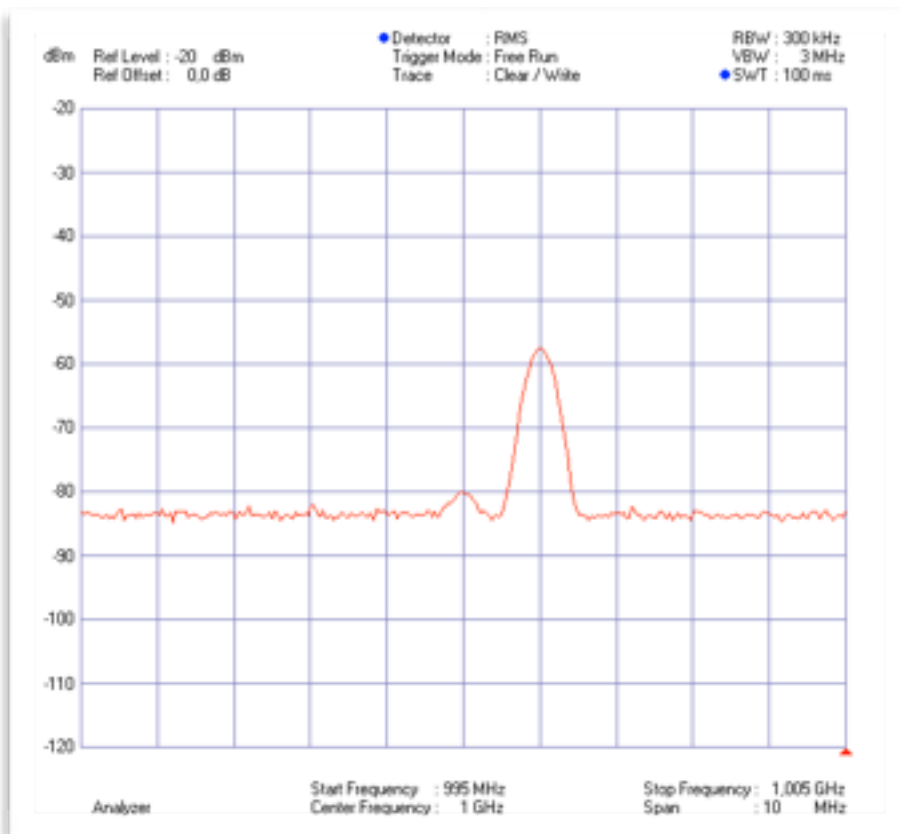
I/Q SAMPLING PROBLEMS

I-Q values overflow

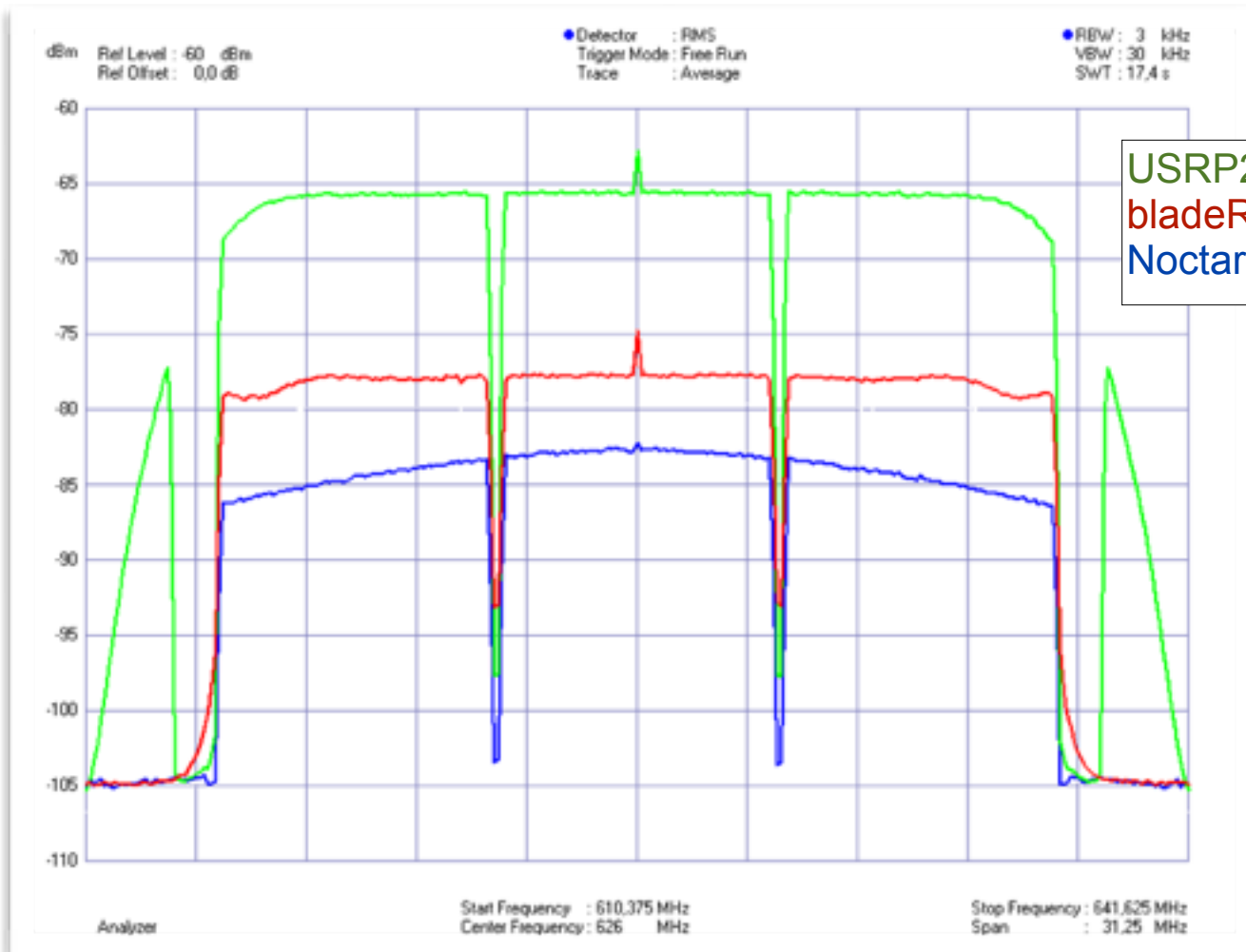


I/Q SAMPLING PROBLEMS

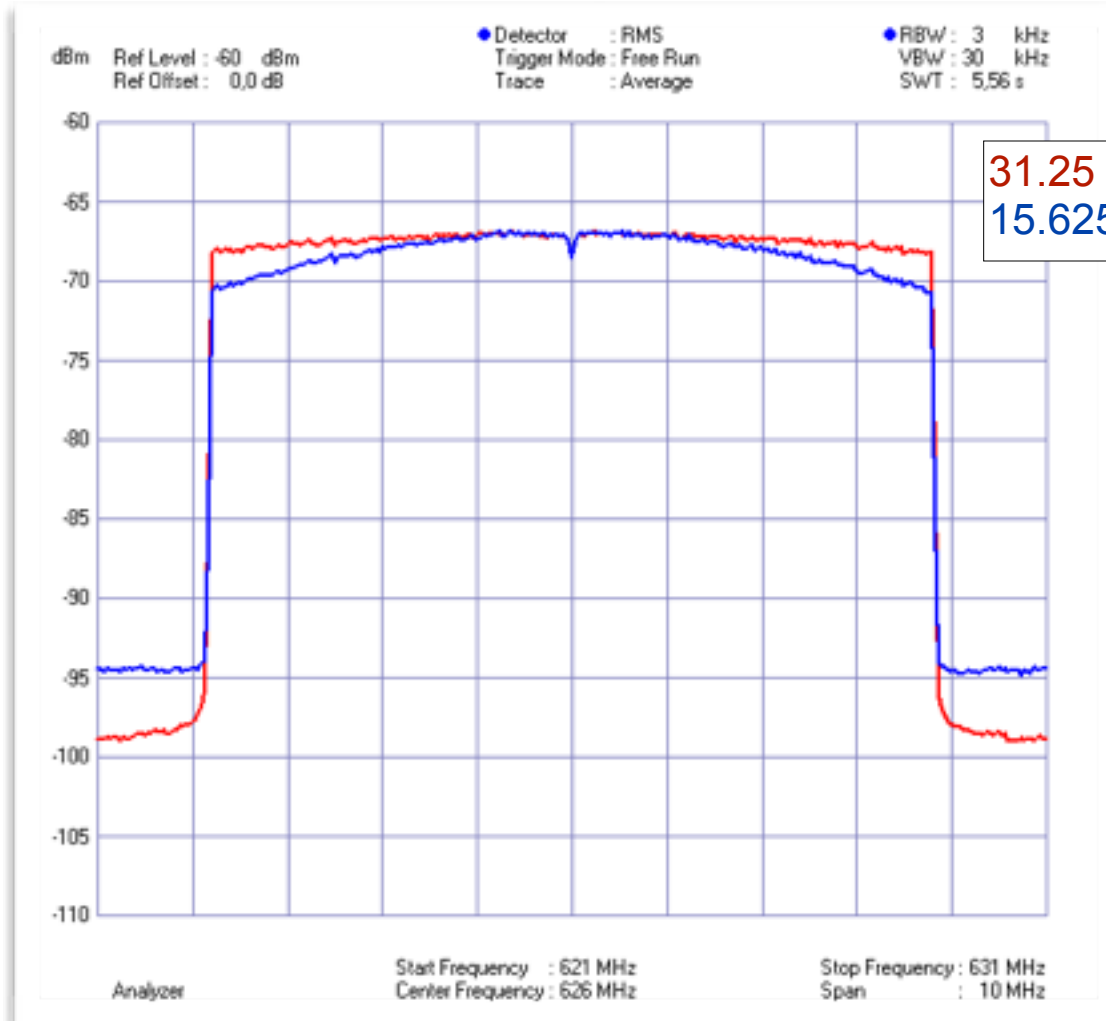
sampling rate underflow



TX SPECTRUM COMPARISON



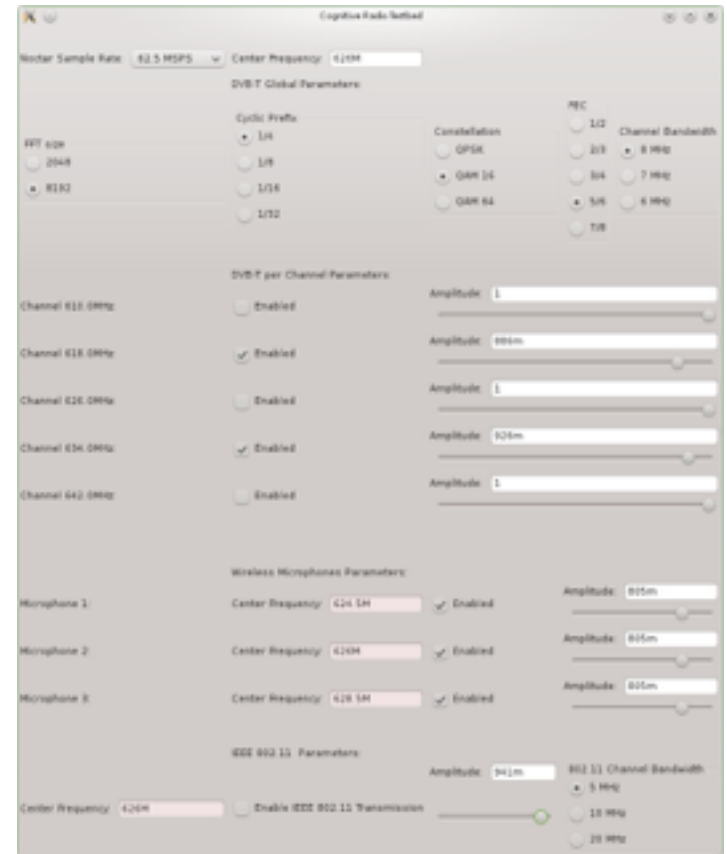
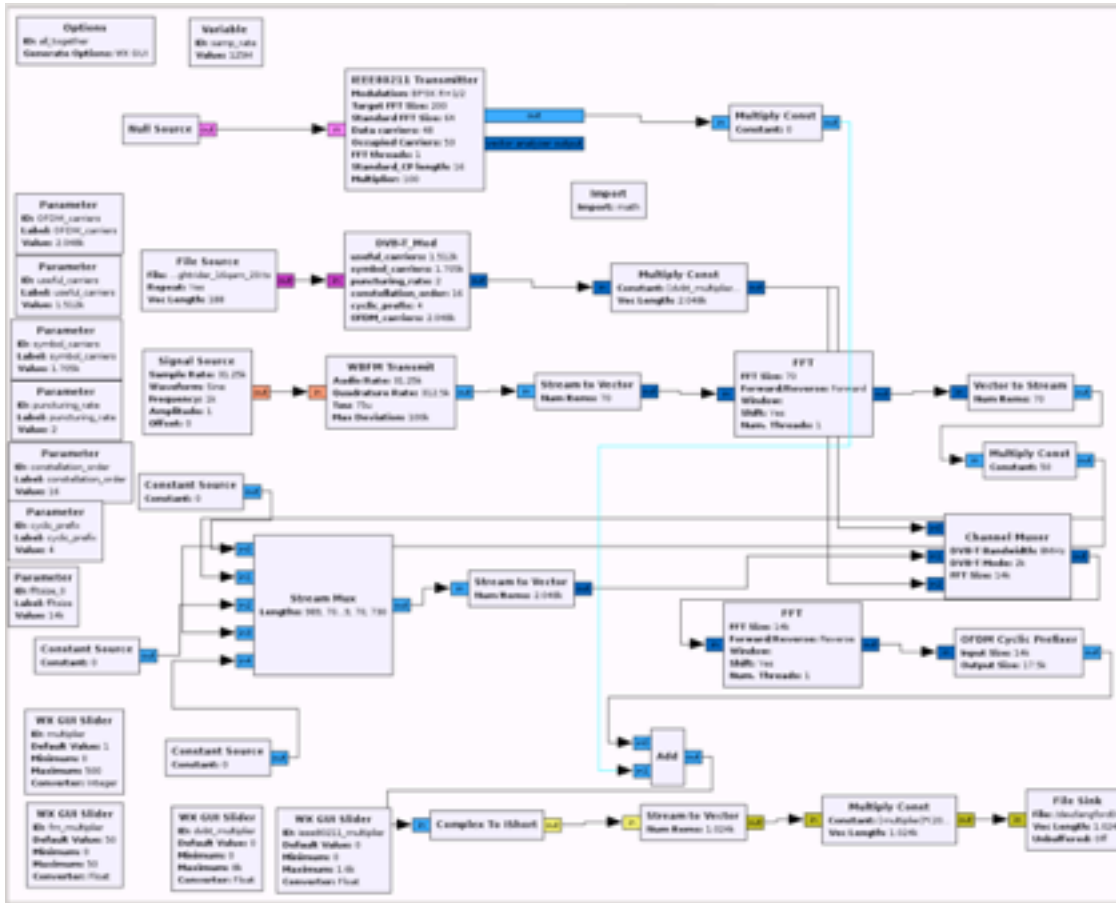
NOCTAR'S TX SPECTRUM



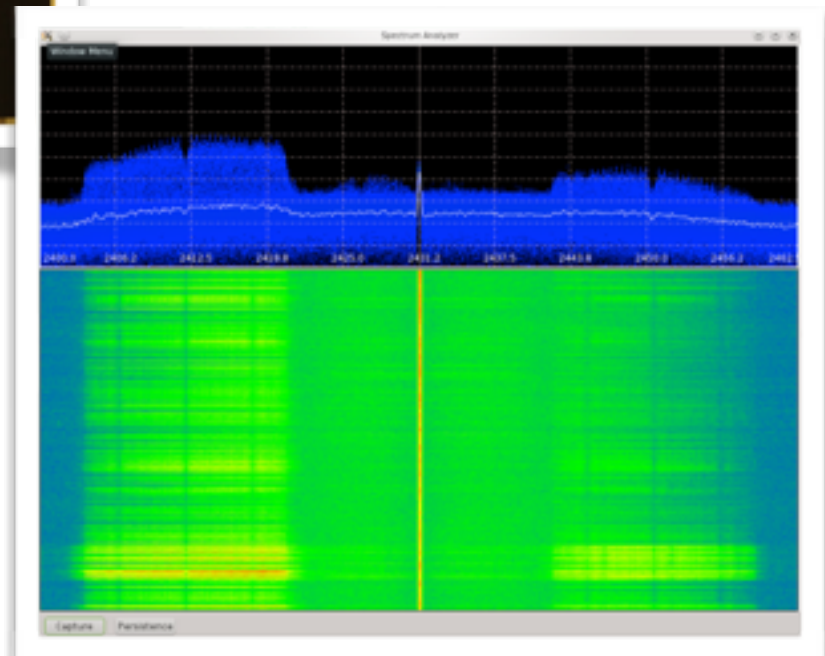
PROBLEMS OF THE SDR DEVICES

- **Low Tx power**
 - Output power is spread over the spectrum
- **High delay**
 - Interface delay
 - Interpolation/Decimation + digital filtering delay
 - Driver buffering delay
 - Software buffering delay
- **Absence of Automatic Gain Control**
 - Manual Gain Control only
- **Limited Dynamic Range**
 - 12bit ADCs - Have to use AGC
- **IQ imbalance**
 - Images - constellation distortion
- **Lack of proper Shielding + Analog filtering**
 - noise floor raises - dynamic range drops

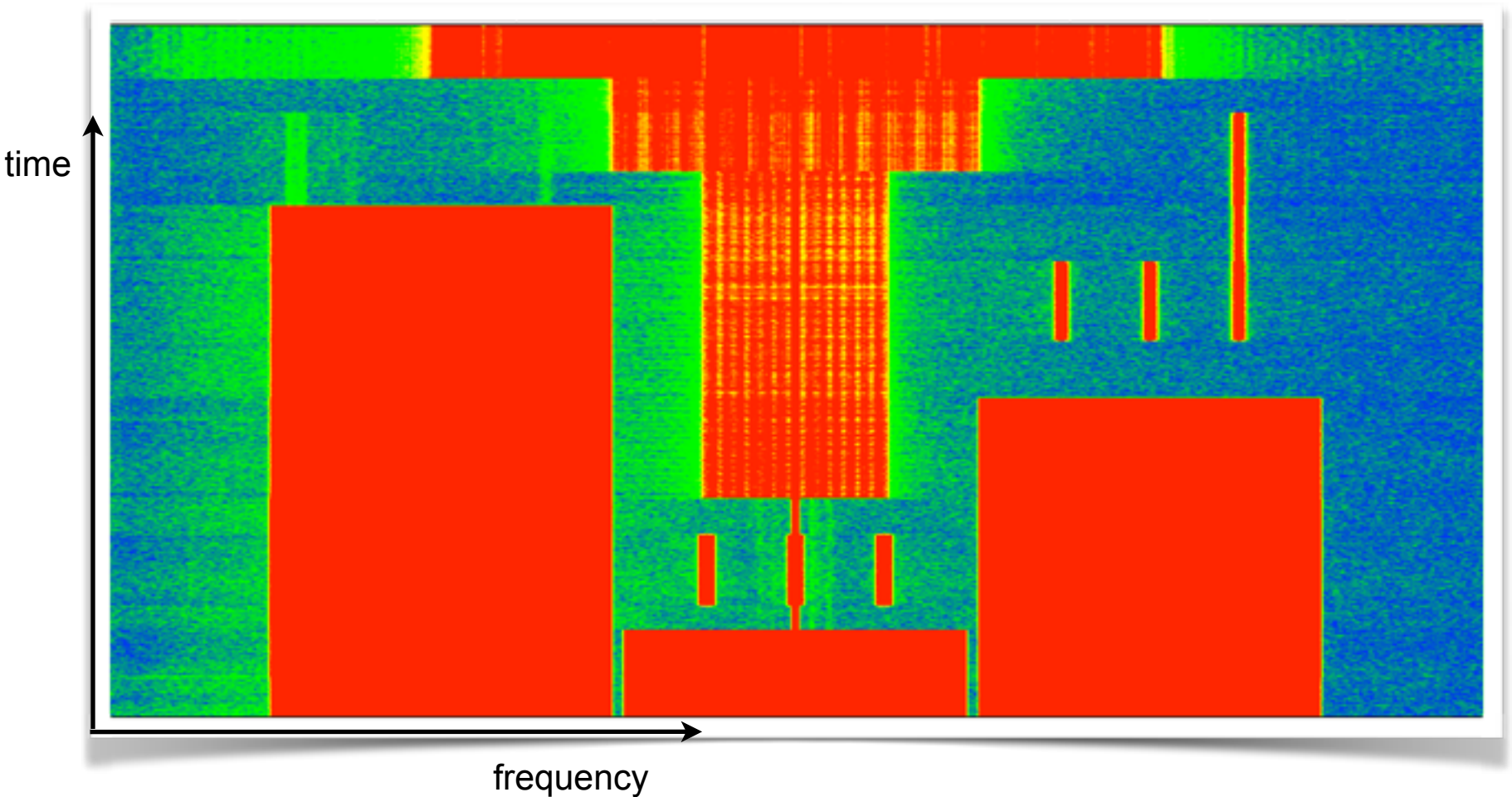
GNU RADIO FORTH'S CR PLATFORM



DVB-T TRANSMITTER



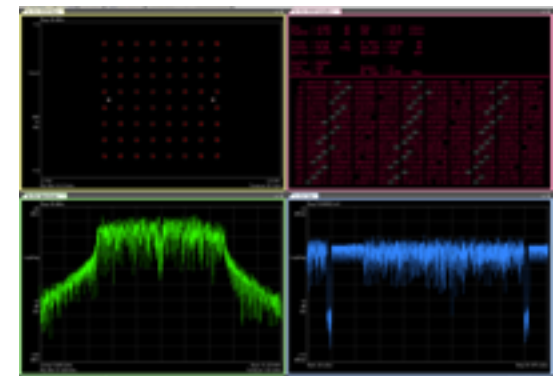
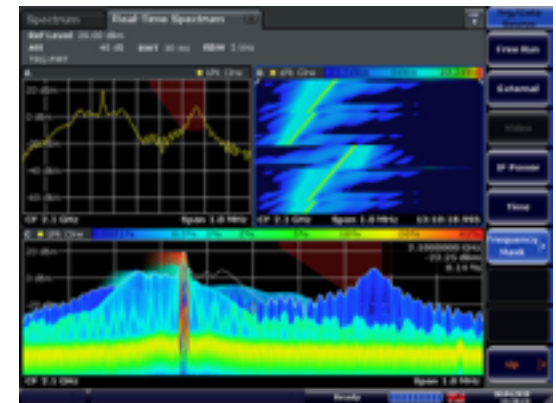
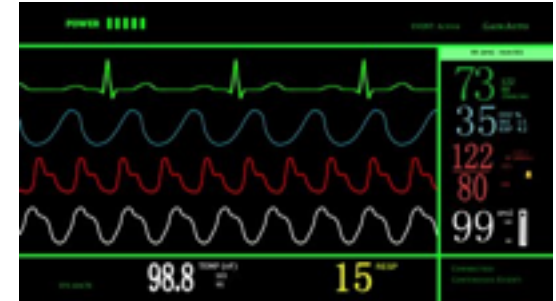
COMPLEX SCENARIO PRODUCED & CAPTURED BY A SINGLE NOCTAR SDR CARD



ONE DEVICE - ENDLESS POSSIBILITIES

- Oscilloscope
- Spectrum analyzer
- Vector analyzer
- Signal generator
- Multiple communication standards analyzer & generator
- Research instrument
- Industrial instrument

 Customizable application-specific instrument



Τέλος Ενότητας



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Κρήτης**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Σημειώματα

Σημείωμα αδειοδότησης

- Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση, Όχι Παράγωγο Έργο 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

- Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:
 - που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
 - που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
 - που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο
- Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Κρήτης, Ξενοφώντας Δημητρόπουλος. «**Δίκτυα Καθοριζόμενα από Λογισμικό. Ενότητα 3.1: Software Defined Radio**».
Έκδοση: 1.0. Ηράκλειο/Ρέθυμνο 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:
<http://www.csd.uoc.gr/~hy436/>