



Telekomunikaciona merenja TM P12 2018

Profesor dr Miroslav Lutovac

"This project has been funded with support from the European Commission. This publication [communication] reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein"

Osnove BER i MER



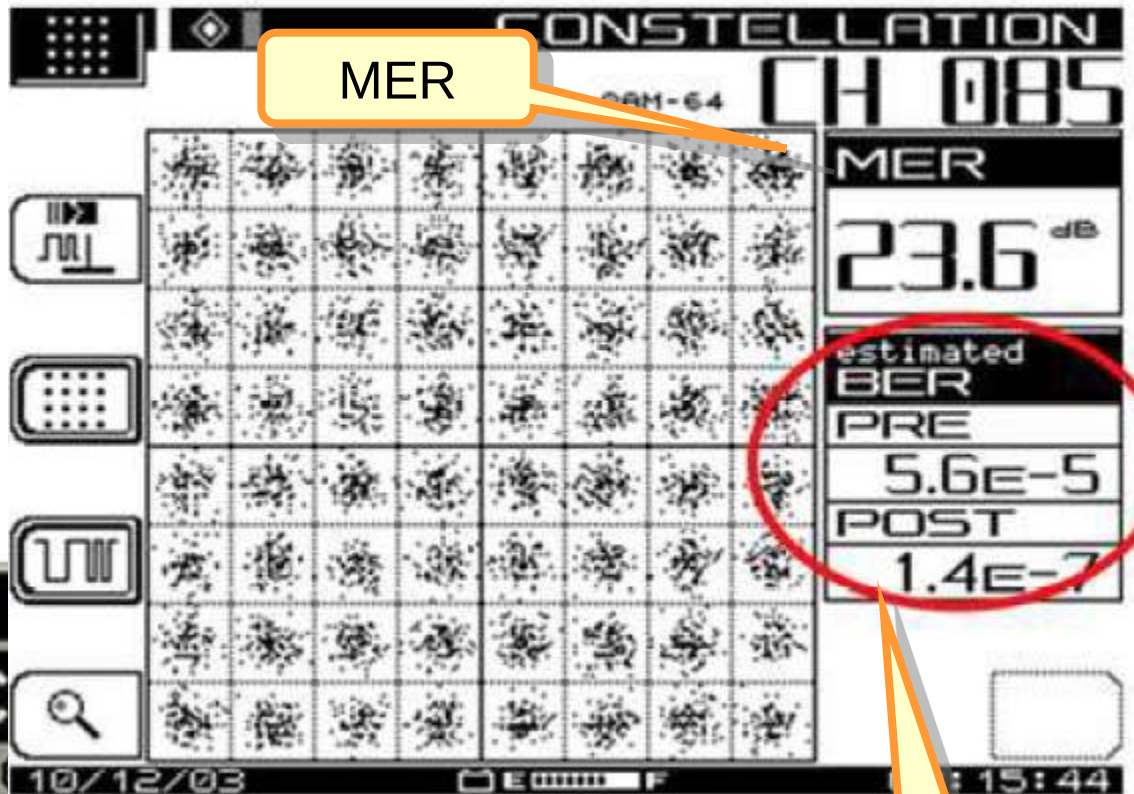
- BER je jedna od najvažnijih mera koja se koristi u prenosu podataka
- Savremeni digitalni sistemi za prenos podataka koriste QAM (quadrature amplitude modulation) i koriste BER kao skraćenicu za meru ispravno prenetih digitalnih podataka
 - bit error rate
 - bit error ratio (tehnički ispravnije)

Primeri

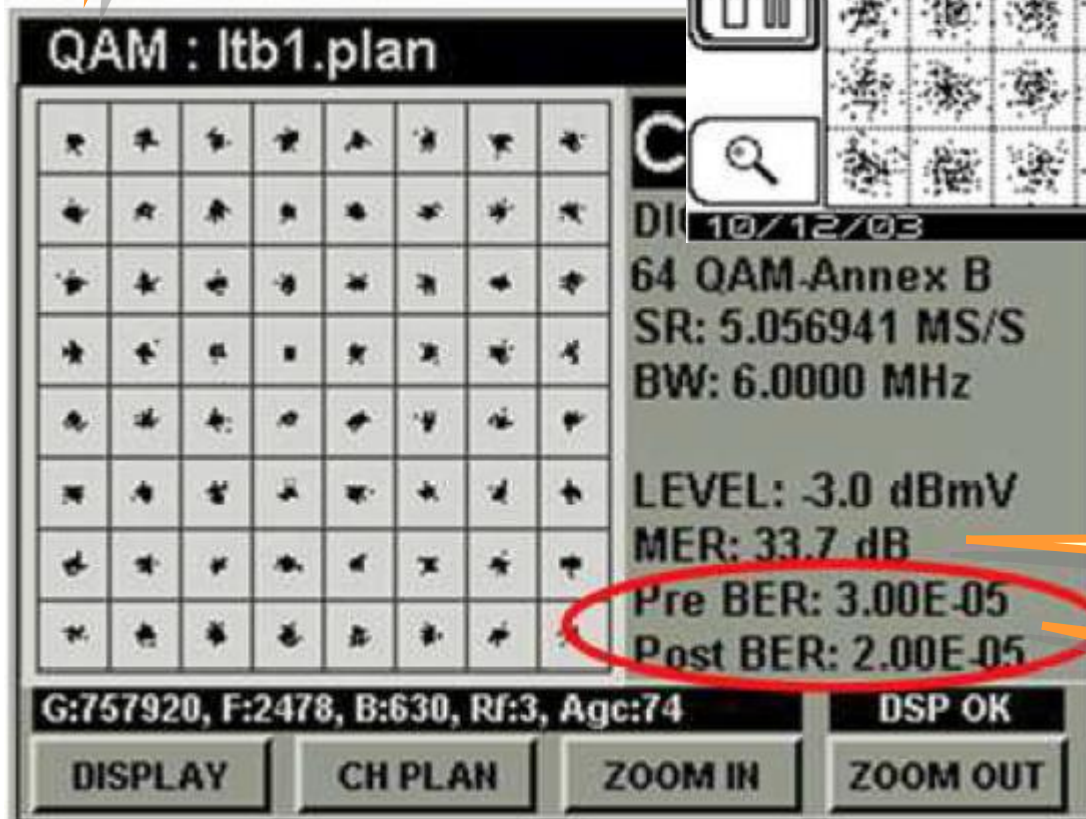


QAM

MER

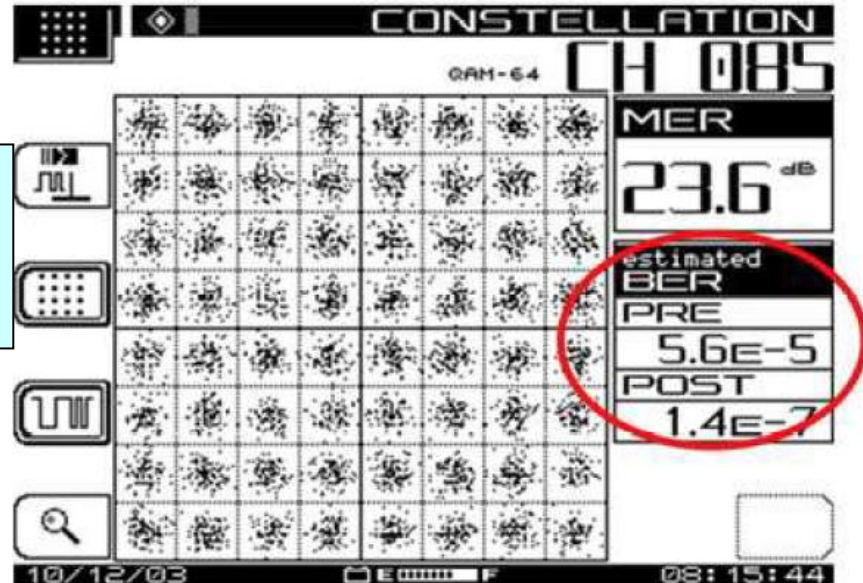
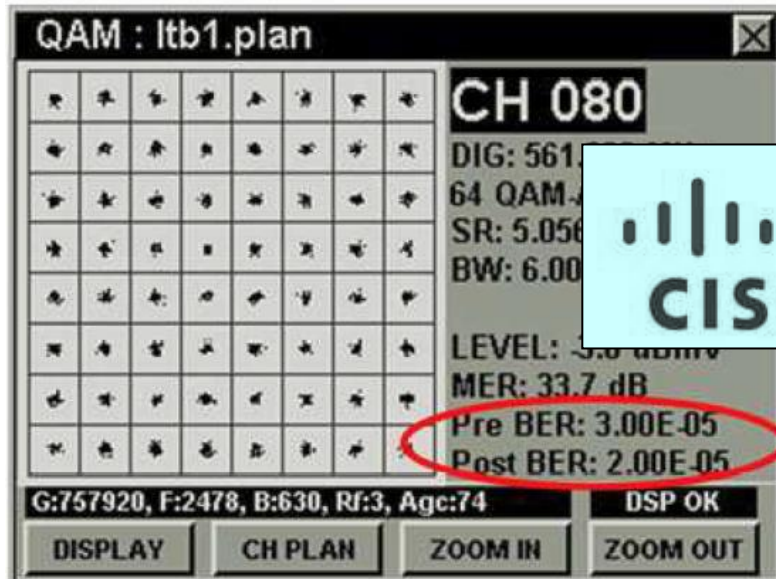


BER



MER

BER



Pre BER: 3.00E-05, 3 pogrešno primljena bita od 10^5 poslanih

Post BER: 2.00E-05, 2 pogrešno primljena bita od 10^5 poslanih

PRE 5.6E-5, 56 pogrešno primljena bita od 10^6 poslanih

POST 1.4E-7, 14 pogrešno primljena bita od 10^8 poslanih

Pre BER: 3.00E-05, 3000 pogrešno primljena bita od 10^8 poslanih

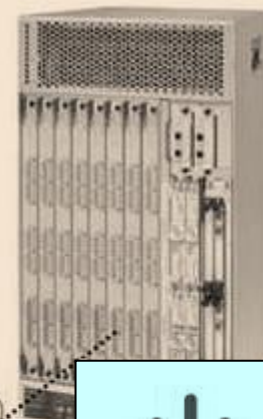
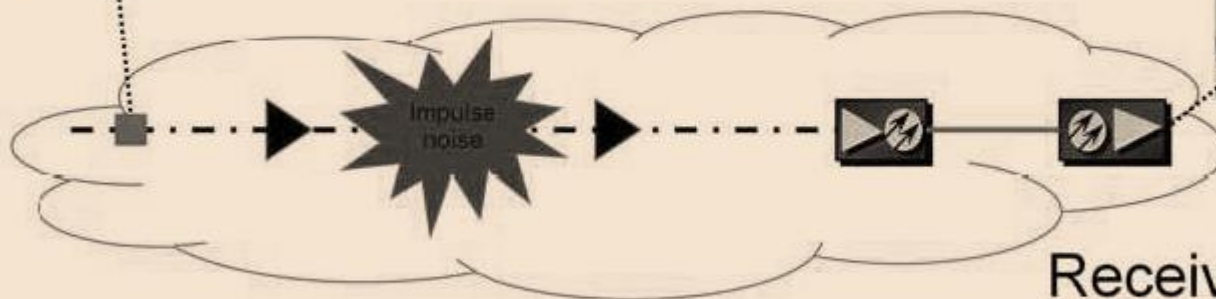
Post BER: 2.00E-05, 2000 pogrešno primljena bita od 10^8 poslanih

PRE 5.6E-5, 56 pogrešno primljena bita od 10^8 poslanih

POST 1.4E-7, 14 pogrešno primljena bita od 10^8 poslanih

Transmitted by the cable
modem: 010101

CMTS Cable Modem Termination System



Received at the
CMTS: 010001

Poslato 010**1**01 → primljeno 010**0**01

↑
Errored bit

BER je procena verovatnoća broja pogrešno prenetih bita od predajnika do prijemnika.

Primer, četvrti bit koji je poslat je bio 1, a primljen je bit 0.

Upoređuje se broj pogrešno primljenih bita u odnosu na ukupan broj poslatih bita.

$$\text{BER} = \frac{\text{broj pogrešnih bita}}{\text{ukupan broj bita}}$$

$$\text{BER} = \frac{\text{izbrojane greške u određenom periodu}}{\text{brzina prenosa} \times \text{ukupan period merenja}}$$

BER je količnik pogrešnih bita i ukupnog broja bita koji su poslani, primljeni ili obrađeni u nekom vremenskom periodu

$$\text{BER} = \frac{\text{(number of errored bits)}}{\text{(total number of bits)}}$$

$$\text{BER} = \frac{\text{(error count in measurement period)}}{\text{(bit rate x measurement period)}}$$



- Neka je emitovano 10^6 bita
neka je detektovano na prijemu da su 3 bita drugačija od 10^6 poslatih bita; to su pogrešno primljeni biti
razlog može da bude neka smetnja koja postoji između predajnika i prijemnika
- BER se u ovom primeru računa kao količnik broja pogrešno primljenih bita i ukupnog broja bita koji je poslat
- $BER = 3 / 10^6 = 0.000003$
- Uobičajeno je da se merenje BERa zapisuje u sledećem formatu $0.000003 = 3 \times 10^{-6}$
- 3×10^{-6} se zapisuje i kao 3×10^{-6} ili $3.0E-06$

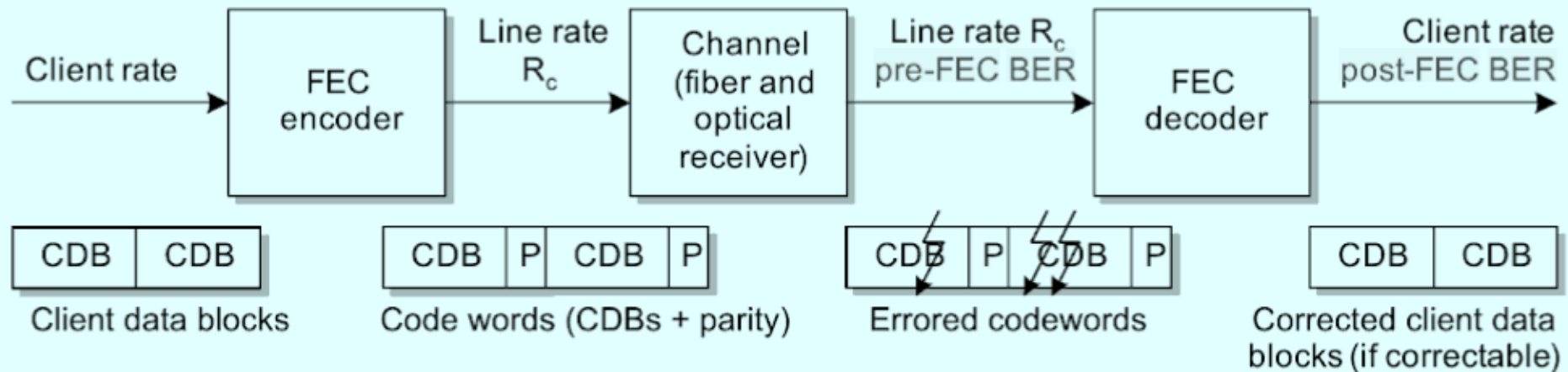
FEC Forward Error Correction

- FEC (forward error correction) ili channel coding je tehnika koja se koristi za kontrolu grešaka u prenosu podataka preko kanala koji ima smetnje
- Suština je u tome da se na strani predaje koduju digitalni podaci central tako da imaju redundansu korišćenjem ECC (error-correcting code)
- Redundansa omogućava prijemu da detektuje konačan broj grešaka a često i da ispravi greške bez potrebe za ponovnim slanjem sa predajnika
- Broj poslatih bita je veći od podataka, da bi se omogućio FEC

Retransmisija u nekim sistemima nije moguća, na primer zbog velikog kašnjenja (nakon detekcije da postoji greška, šalje se zahtev za retransmisiju)

PRE-FEC, POST-FEC, NO-FEC

- PRE-FEC BER su bitske greške prouzrokovane slabljenjem, starenjem, temperaturnim promenama prenosnog kanala
- Ako je signal FEC kodovan, greške posle dekodovanja se nazivaju POST-FEC BER



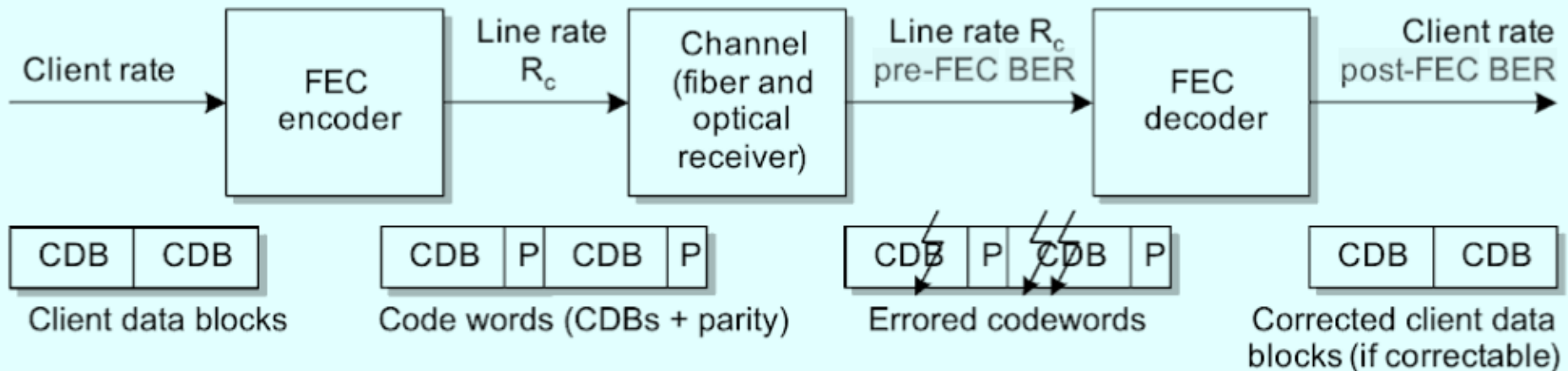
PRE-FEC, POST-FEC, NO-FEC

- PRE-FEC BER su bitske greške prouzrokovane slabljenjem, starenjem, temperaturnim promenama prenosnog kanala
- PRE-FEC pokazuje da je signal u kanalu FEC kodovan
- FEC decoder će ispraviti originalni signala, s tim da u zavisnosti od PRE-FEC BER može uspešno da obnovi originalni signal bez grešaka
- Ako je BER suviše veliki, obnovljeni signal će sadržati greške
- Ako je signal FEC kodovan, greške posle dekodovanja se nazivaju POST-FEC BER
- NO-FEC BER su detektovane bitske greške kada se ne koristi FEC kodovanja

Primer



- Neka su 3 bita pogrešno primljena od emitovanih 10^6 bita
- Prijemni FEC može da ispravi 2 od 3 pogrešna bita
- pre-FEC BER ima BER 3.0E-06
- post-FEC BER ima 1.0E-06, zato što ostaje 1 pogrešan bit nakon što je FEC ispravio 2 pogrešna bita
- 3×10^{-6} se zapisuje i kao 3×10^{-6} ili 3.0E-06





Kod QAM analyzer, pre-FEC BER se procenjuje posle Trellis dekodera, descrambler (derandomizer), i deinterleaver, ali pre Reed Solomon (RS) dekodera

Post-FEC BER je posle RS dekodera

Pre-FEC BER daje procenu BER pre nego što FEC pokuša da ispravi pogrešne bite

Post-FEC BER daje procenu BER nakon što FEC ispravi što je više moguće neispravnih bita

Primer

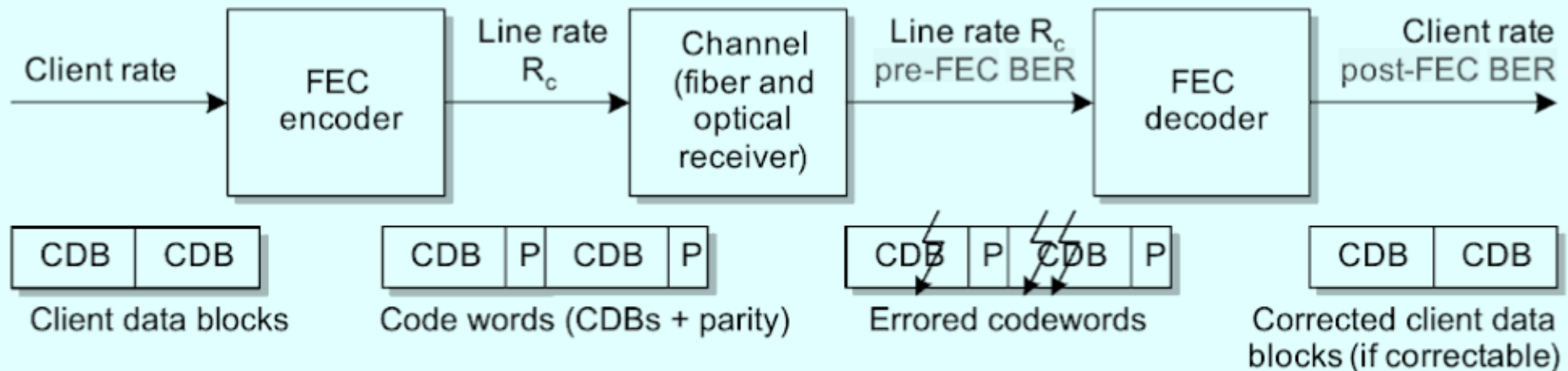


Neka su 56 bita pogrešno primljena od emitovanih 10^6 bita
pre-FEC BER ima BER $5.6E-05$

post-FEC BER ima $1.4E-07$,

$$5.6E-5 = 5.6 \times 10^{-5} = 0.000056 = 56/10^6$$

$$1.4E-7 = 1.4 \times 10^{-7} = 0.00000014 = 14/10^8$$



Primer, Reed Solomon, $t=3$



- Neka su 3 bita pogrešno primljena od emitovanih 10^6 bita
- pre-FEC BER ima BER $3.0E-06$
- post-FEC BER ima $1.0E-06$, zato što ostaje 1 pogrešan bit nakon što je FEC ispravio 2 pogrešna bita
- Reed Solomon (RS) dekodер može da ispravi bilo koja 3 pogrešna bita, označava se $t=3$
- Svaki RS simbol je grupa od 7 bita
- Kodna reč ima 128 simbola; 122 su podaci, 6 parni simboli
- RS dekodер može da ispravi 21 pogrešan bit u kodnoj reči u zavisnosti kako su bitske greške grupisane
- Ako postoje 4 pogrešna bita u jednom simbolu, RS dekodер ne može da ispravi grešku, jer je $t=3$, sva 4 ostaju nekorigovana

Koliko bita je dovoljno za procenu BER?



- Što je više bita poslato i izbrojane greške, to je procena BER tačnija
- Beskonačno bita daje najbolju procenu verovatnoće greške, ali to praktično nije moguće
- Ne očekuje se da kablovski modem od \$40 ima isti BER kao \$3000 QAM analyzer ili lab BER tester od \$120000
- Kvalitet prijemnika je važan i može da utiče na BER
- **PRAVILO: broj poslatih bita da bude 3 puta recipročna vrednost **ZAHTEVANOG** BER**
- $BER=5.0 \text{ E-}05, N= 10^5 / 5 = 10 \times 10^4 / 5 = 20.000$
- $BER=2.0 \text{ E-}07, N= 10^7 / 2 = 10 \times 10^6 / 2 = 5.000.000$

Koliko bita je dovoljno za procenu BER?



- **PRAVILO 1:** broj poslatih bita da bude 3 puta recipročna vrednost BER koje je zadato za 95% nivoa poverenja da bi mreža ili uređaj zadovolje specifikacije
 - $BER=5.0 \text{ E-}05$, $N= 3 \times 10^5 / 5 = 30 \times 10^4 / 5 = 60.000$
 - $BER=2.0 \text{ E-}07$, $N= 3 \times 10^7 / 2 = 30 \times 10^6 / 2 = 15.000.000$
 - **PRAVILO 2:** broj poslatih bita da bude 4.61 puta recipročna vrednost BER koje je zadato za 99% nivoa poverenja da bi mreža ili uređaj zadovolje specifikacije
 - $BER=5.0 \text{ E-}05$, $N= 4.61 \times 10^5 / 5 = 92.200$
 - $BER=2.0 \text{ E-}07$, $N= 4.61 \times 10^7 / 2 = 23.050.000$
- kao **dobra aproksimacija**; koristi se binomna distribucija i Poisson-ova teorema, nezavisne bitske greške (iako nisu)

Trajanje merenja za procenu BER?

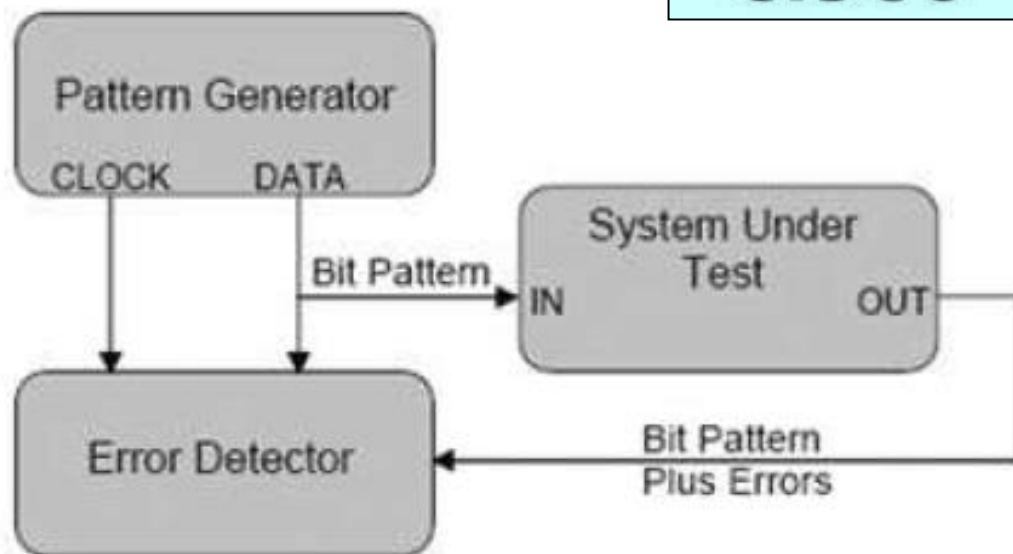


- **PRIMER 1: 256-QAM @ 42.88 Mbps**
za 95% nivoa poverenja bez greške
- $N = 60.000$, vreme = $(6 \times 10^4) / (42.88 \times 10^6) = 0,0014 \text{ s}$
- $N = 15.000.000$, vreme = $(15 \times 10^6) / (42.88 \times 10^6) = 0,3498 \text{ s}$
- **PRIMER 2: 64-QAM @ 30.34 Mbps**
za 99% nivoa poverenja
- $N = 92.200$, vreme = $(92,2 \times 10^3) / (30.34 \times 10^6) = 0,00304 \text{ s}$
- $N = 23.050.000$, vreme = $(23,05 \times 10^6) / (30.34 \times 10^6) = 0,76 \text{ s}$
- **duže trajanje merenja, tačnija procena**
- **Za značajno manju grešku, vreme nekoliko minuta**

Kako se izvršava procena BERa?



- Izvor podataka (*Pattern Generator*) emituje bitsku sekvencu (*Bit Pattern*) kroz mrežu ili uređaj koji se testira (*System Under Test*)



- Detektor greške (*Error Detector*) upoređuje originalnu sekvencu i detektovanu sekvencu bit-po-bit na izlazu sistema koji se testira (direktno ili posle korekcije grešaka)
- Umesto prijema originalne sekvence, može da se koristi algoritam koji u detektoru greške generiše sekvencu identičnu sa poslatom od izvora podataka

Faktori koji utiču na procenu BERa?



- Vrsta podataka koja se šalje može uticati na BER
- Dugačak niz istih bita (sve 0 ili 1) prave drugačiji BER u odnosu na merenja sa pseudo-slučajnom bitskom sekvencom (pseudo-random bit stream, PRBS)
- Ovo neće biti problem pri merenju BERa u DOCSIS digitally modulated signals.

Modulacija sa slučajnim signalom ili skremblerom neće napraviti duže sekvence istih bita; na prijemniku se koristi ista pseudoslučajna sekvenca za deskremblovanje signala da bi se dobila originalna sekvenca

Data Over Cable Service Interface Specification, DOCSIS, international telecommunications standard for high-bandwidth data transfer to an existing cable television (CATV) system

Izbeći lažni BER



- Može se dogoditi da QAM analizator netačno prikaže postojanje bitskih grešaka
 1. Nizak nivo signala može da uzrokuje grešku unutar analizatora
 2. Nizak nivo signala može da bude uzrok malog odnosa kerier-šum što će pokazati bitske greške
- Treba da se proverí da li je ulazni signal u RF QAM analizator u okviru specifikacija proizvođača testne opreme

Izbeći lažni BER



- Može se dogoditi da QAM analizator netačno prikaže postojanje bitskih grešaka
 1. Nizak nivo signala može da uzrokuje grešku unutar analizatora
 2. Nizak nivo signala može da bude uzrok malog odnosa kerier-šum što će pokazati bitske greške
- Treba da se proverí da li je ulazni signal u RF QAM analizator u okviru specifikacija proizvođača testne opreme

Razlozi za degradaciju BER-a



- ✓ Smetnja susednog kanala
- ✓ Lažni signali susednih kanala
- ✓ sweep transmitter interference – prebrisavanje frekvencijskog opsega
- ✓ laser clipping – odsecanje
- ✓ Uticaj preslušanih drugih signala, impulsni šum
- ✓ Loši konektori
- ✓ Nivoi signala izvan specificiranih opsega
- ✓ Neprilagođene izlazno-ulazne impedanse
- ✓ Distorzija aktivnih komponenti, visok nivo signala

Мерење BER (Bit Error Ratio)

- У DVB-T и DVB-T2 преносу постоје 3 показатеља грешке због постојања унутрашњег и спољашњег прстена заштите у преносу података:
 1. Битска грешка (BER) пре Витерби/VCH декодера
 2. Битска грешка (BER) пре Рид Соломон/LDPC декодера
 3. Битска грешка (BER) после Рид Соломон/LDPC декодера
- Битска грешка (BER) од највећег интереса и која пружа највише информација је пре Витерби декодера
- Утврђује се довођењем битске поворке после Витерби кодера на други конволуциони кодер исте конфигурације као и у предајнику.

Мерење BER (Bit Error Ratio)

- Ако битска поворка пре Витерби кодера буде иста са оним након конволуционог кодера - узимајући у обзир кашњење конволуционог кодера - значи да нема грешака
- Разлике, а тиме и битске грешке, се затим одређују компаратором за I и Q гране. Битске грешке се онда броје и деле са бројем пренесених бита дајући нумеричку вредност релативне битске грешке (BER):

$$\text{BER} = \text{број грешака} / \text{број пренесених бита}$$

- Битска грешка пре Витербија је у распону између 10^{-9} (излаз предајника) и 10^{-2} (улаз пријемника са лошим условима пријема). Витерби декодер може да исправи неке од битских грешака, остављајући преостале битске грешке Рид-Соломон декодеру.

Мерење BER (Bit Error Ratio)

- Бројећи корекције Рид-Соломон декодера и делећи их са бројем пренесених у истом периоду показује релативну грешку Рид-Соломоновог декодера. Међутим, ако Рид-Соломон декодер није у стању да исправи све грешке, то се резултује у грешци у транспортним пакетима.
- Овакви пакети су означени у ТС заглављу (показатељ грешке у транспортном пакету, TEIB бит = 1).
- Бројећи пакете са грешком добија се прорачун пост-Рид Соломон битске грешке.
- DVB-T тест пријемник ће открити сва 3 односа битске грешке и приказати их у једном од главних менија мерења. Због мале вероватноће битске грешке после Витерби и Рид-Соломон декодера, треба изабрати мерење у распону од неколико минута до неколико сати.

Мерење BER (Bit Error Ratio)

- Мерење после Рид-Соломон декодера са довољним нивоом пријемног сигнала (већим од -60dB) мора да буде боље од 10^{-10} , ако то није испуњено вероватно постоји резидуална грешка предајника (лош квалитет предајника)
- Овакав резултат би морао да буде праћен и недовољним MER-ом ово мерење.
- У стандарду DVB-T2 у заштити грешка коришћен је другачији поступак заштитног одовања, односно примењено је BCH кодовање у спољашњем прстену заштите уместо Витербијевог и LDPC (Low Density Parity Check Codes) кодовање у унутрашњем прстену заштите уместо Рид Соломоновог поступка, затим примењен интерливинг.

Мерење BER (Bit Error Ratio)

- Мерни пријемници означавају кодовање које је примењено јер принципијелно нема разлике у начину остваривања заштите – поступци примењени у DVB-T2 су ефикаснији и омогућавају повећање протока и приближавање Шеноновој граници капацитета преноса, наравно по цени сложеније структуре кодера односно декодера.
- Мерење BER је опционо, битска грешка (BER) после LDPC а пре BCH декодера треба да буде боља од 10^{-9} .
- Мерење се обавља дигиталним мерним пријемником, са минималним трајањем мерења 30 минута. Резултат мерења се уписује у Извештај у рубрику „BER“.

MER Modulation Error Ratio

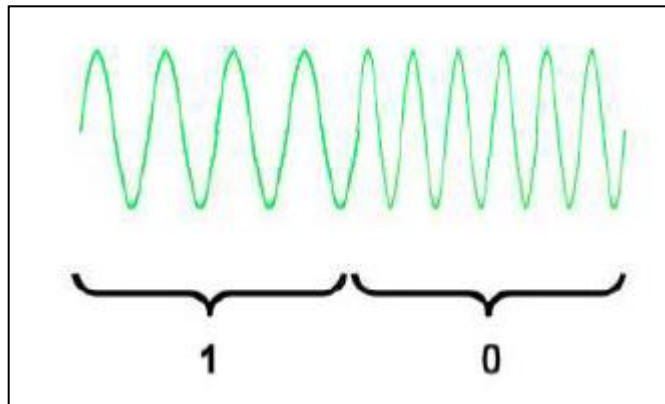


- Informacija, kao što je zvuk (audio), slika (video) i digitalni podaci, mogu se preneti od jedne tačke do druge kao radio talasi (brojevi se ne šalju kroz medijum)
- Informacija se moduliše u kerier, noseći sinusoidalni signal, i tek tada se šalje kroz prenosni medijum
- Modulacija se prenosi kao promena jedne ili više osobina RF (sinusoidalnog) signala koji se prenosi preko medijuma,
 - ✓ frekvencija, amplituda, faza

Frequency shift keying, FSK



- Frequency shift keying, FSK, koristi promenu učestanosti nosioca između dve vrednosti sinusoidalnog signala koji se emituje, gde jedna učestanost predstavlja bit vrednosti 1, a druga učestanost predstavlja bit 0

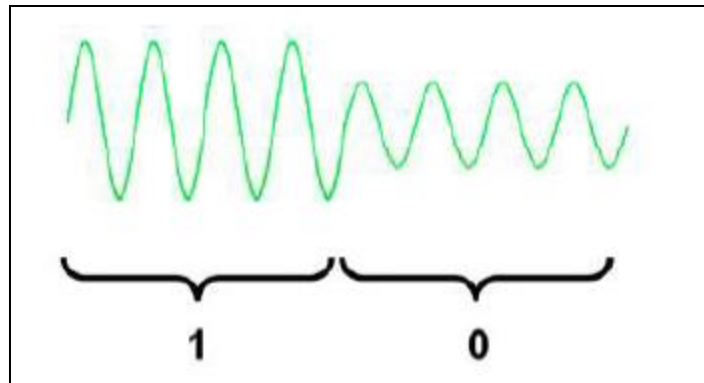


Sinusoida niže učestanosti odgovara bitu koji ima vrednost 1,
Sinusoida više učestanosti odgovara bitu koji ima vrednost 0

Amplitude shift keying, ASK



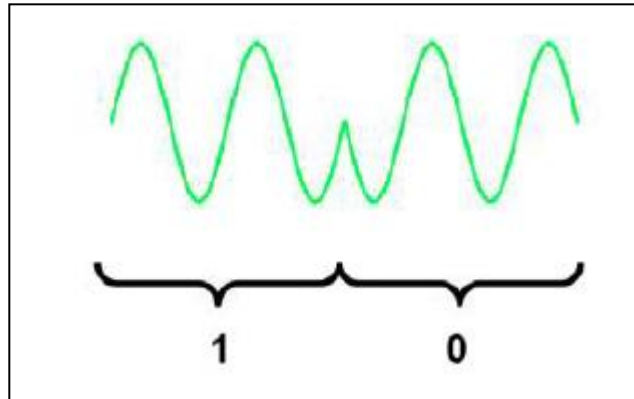
- Amplitude shift keying, ASK, koristi promenu amplitude nosioca, sinusoidalnog signala koji se emituje, između dve vrednosti, gde veća amplituda predstavlja bit vrednosti 1, a manja amplituda predstavlja bit 0



Phase shift keying, PSK



- Phase shift keying, PSK, koristi promenu faze nosioca, sinusoidalnog signala koji se emituje, između dve vrednosti, gde jedna faza predstavlja bit vrednosti 1, a druga faza predstavlja bit 0



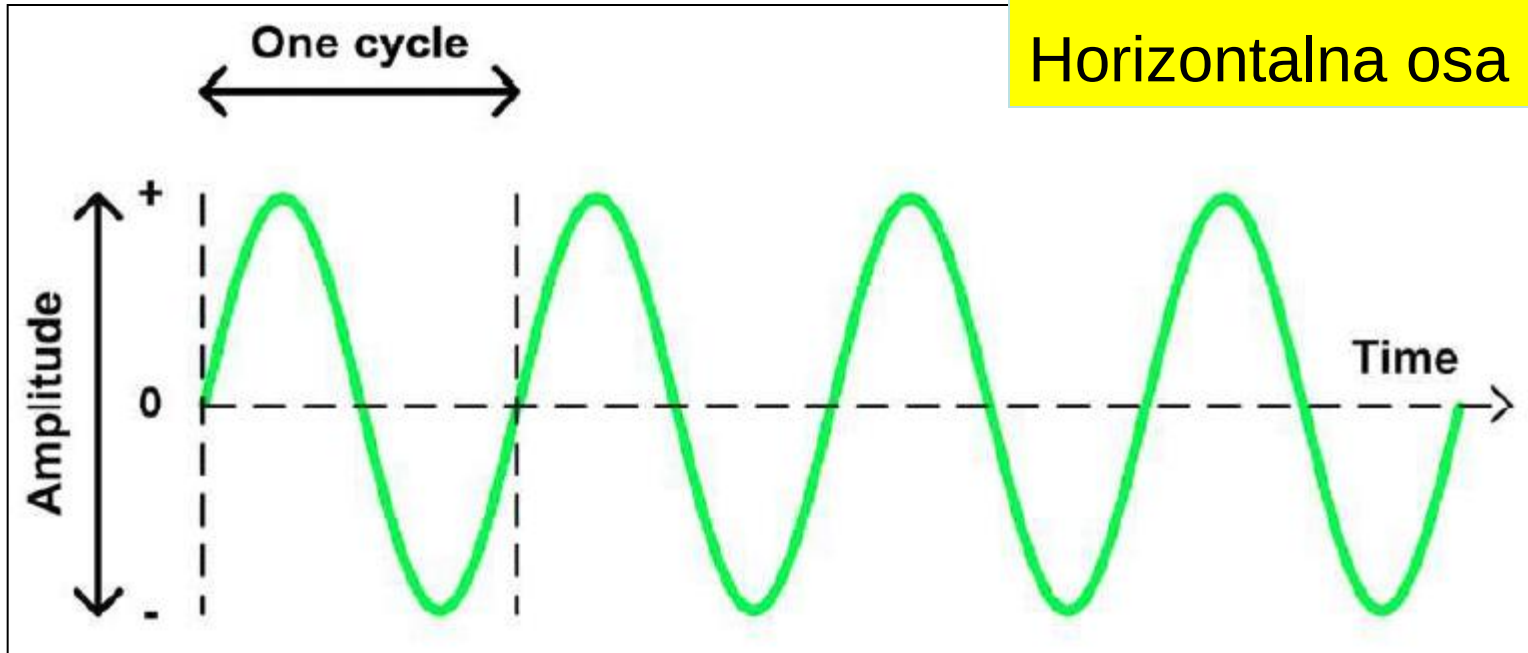
Sinusoida faze 0° odgovara bitu koji ima vrednost 1,
Sinusoida faze 180° odgovara bitu koji ima vrednost 0
BPSK, biphase shift keying, kada je fazni pomeraj 180°

Carrier Phase, unmodulated carrier



- Sinusoidalalan talas u vremenskom domenu kako se može videti na osciloskopu

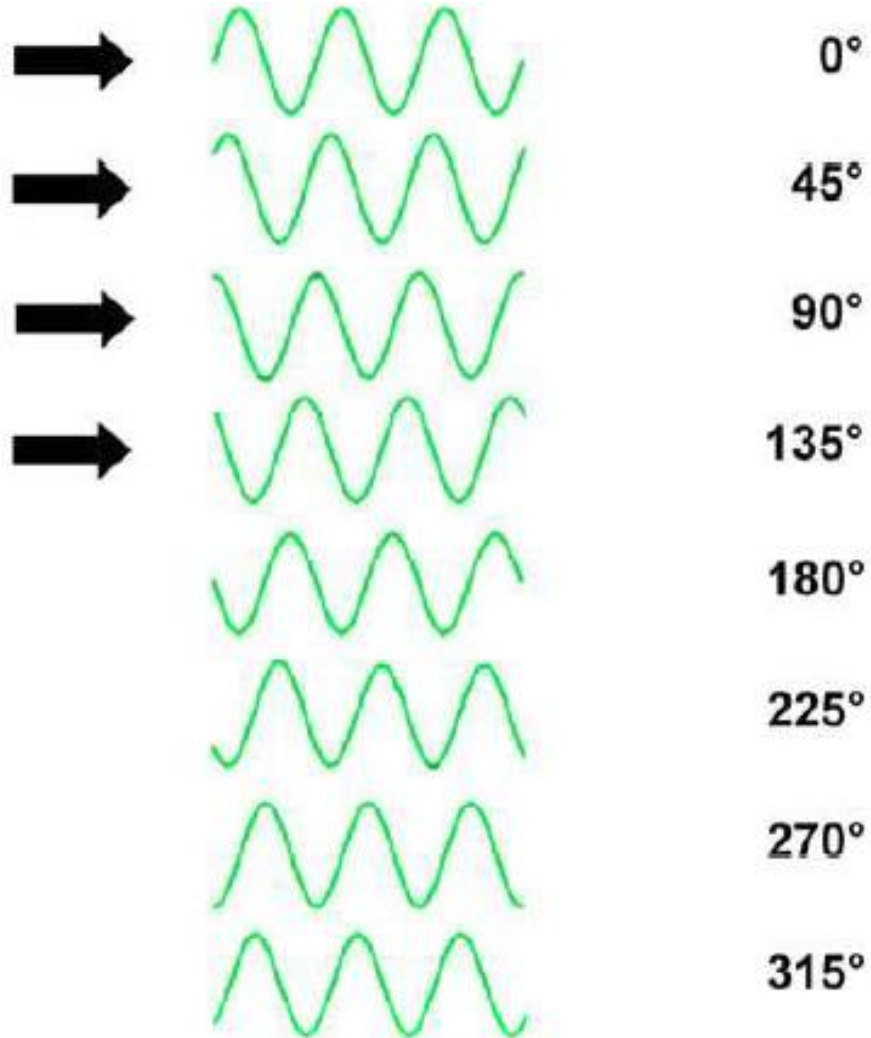
Vertikalna osa – amplituda
Horizontalna osa - vreme



Carrier Phase



- These graphics represent RF carriers in the time domain with different phases relative to one another. They all have the same frequency and the same amplitude.
- Assume that the top carrier is assigned an arbitrary phase value of 0°
- The second carrier's phase relative to the first one is delayed 45° , the third carrier is delayed 90° , the fourth carrier 135° and so on



Vektori



A **vector** is a quantity that has magnitude and direction. Examples of vector quantities include displacement, velocity and force. A vector can be represented graphically using an arrow. The length of the arrow corresponds to the vector's magnitude, while the way the arrow points is its direction.

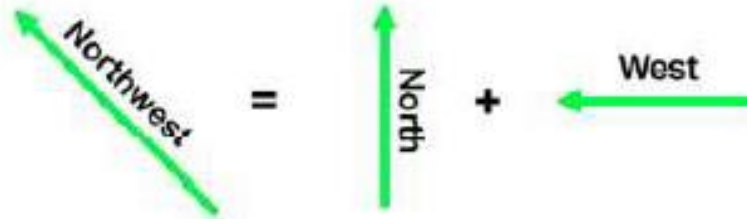


$$\begin{array}{c} 0.5 \\ \longrightarrow \end{array} + \begin{array}{c} 0.5 \\ \longrightarrow \end{array} = \begin{array}{c} 1 \\ \longrightarrow \end{array}$$

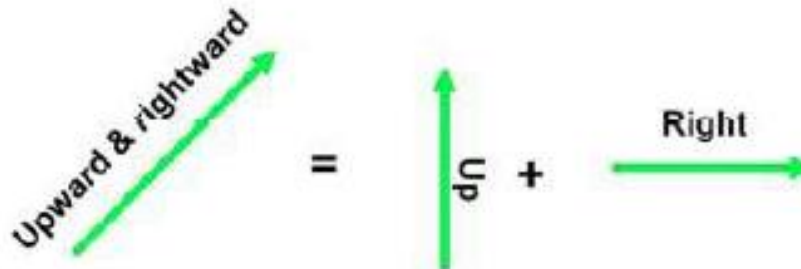
$$\begin{array}{c} 1 \\ \longrightarrow \end{array} - \begin{array}{c} 0.5 \\ \longrightarrow \end{array} = \begin{array}{c} 0.5 \\ \longrightarrow \end{array}$$

$$\begin{array}{c} -1 \\ \longleftarrow \end{array} + \begin{array}{c} 0.5 \\ \longrightarrow \end{array} = \begin{array}{c} -0.5 \\ \longleftarrow \end{array}$$

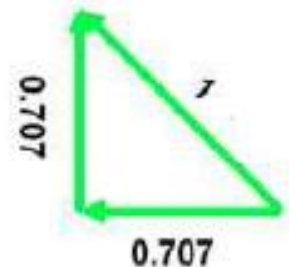
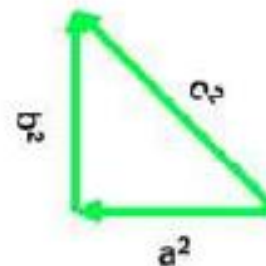
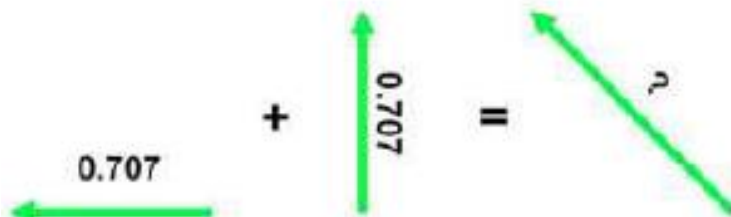
Komponente vektora



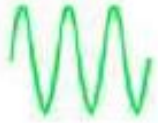
A northwest vector has a northward part, and a westward part



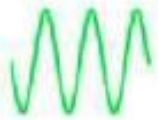
An upward and rightward vector has an upward part, and a rightward part



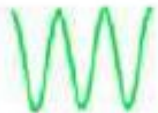
Faza i amplituda nosioca



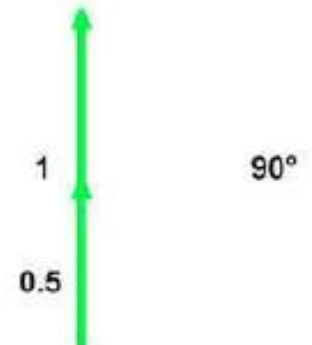
We can use a vector to graphically represent an RF carrier's relative amplitude and phase. For instance, a horizontal arrow pointing to the right might be used to represent a carrier of a certain amplitude and phase. We'll assign an arbitrary phase value of 0° —represented by the **angle** the arrow is pointing—and an amplitude—represented by the arrow's **length**—of 1.



If we flip the arrow horizontally so that it points the opposite direction, we can say that the carrier phase has changed 180° from its original value. Note that its amplitude is the same as before.



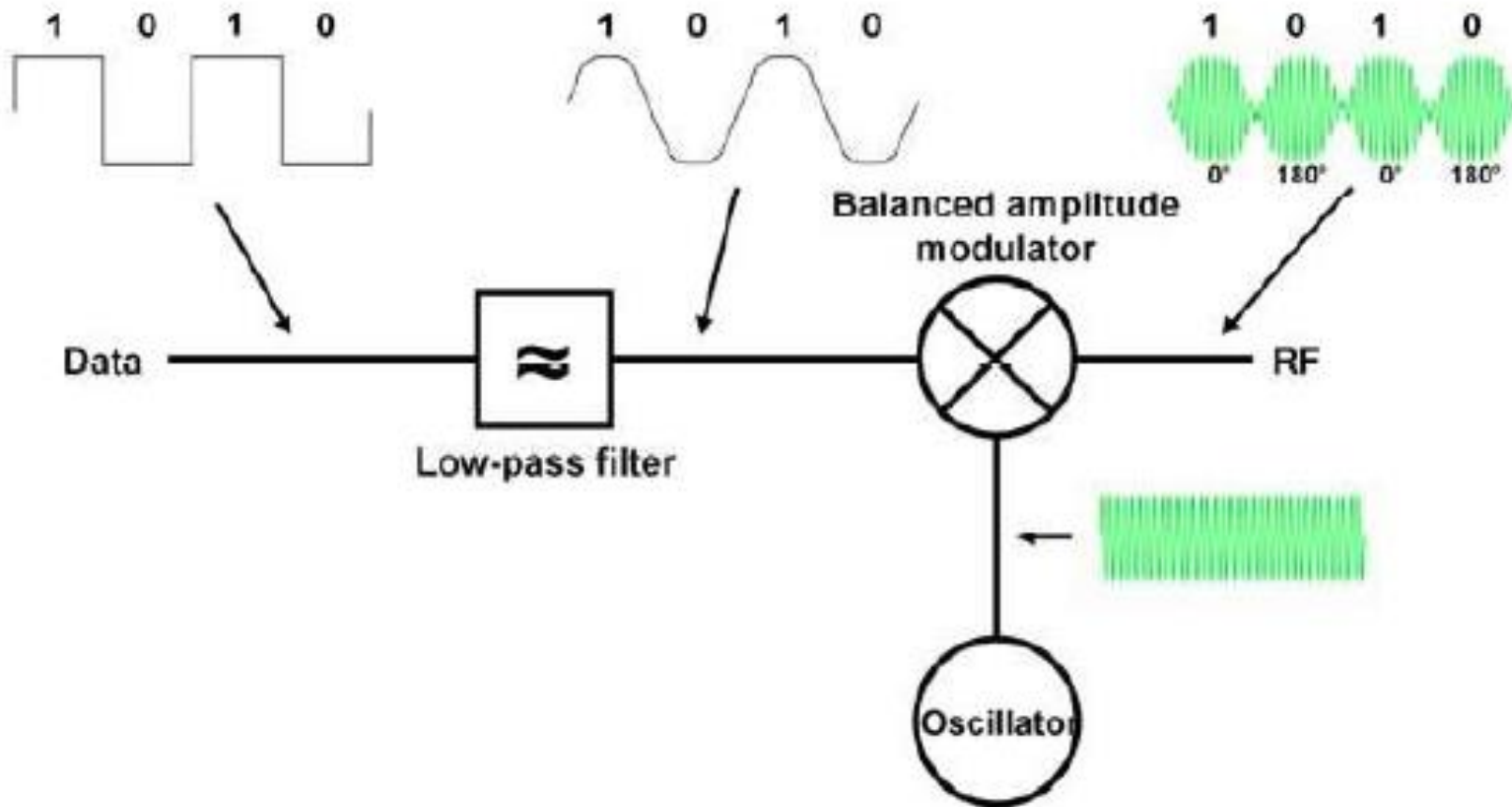
Likewise, if we rotate the arrow so that it points up, we can say that the carrier phase has changed 90° from its original value. Here, too, the amplitude is the same as before.



And we can change the amplitude, but leave the phase unchanged.

0.5

BPSK



BPSK



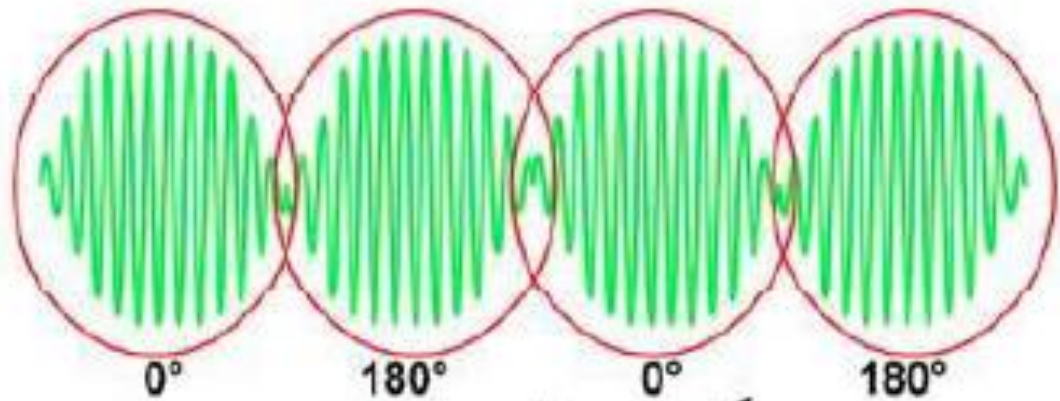
Vector representation:



Bit transmitted →

1 0 1 0

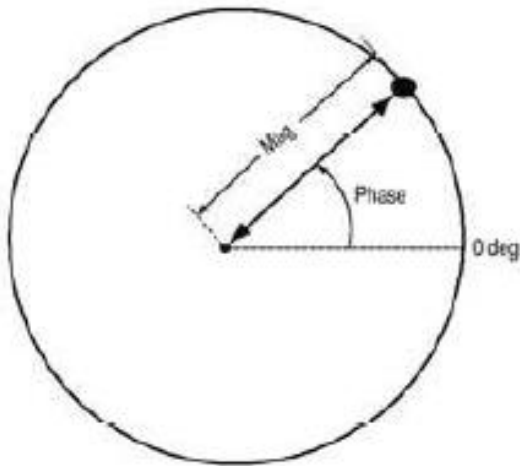
RF envelope →



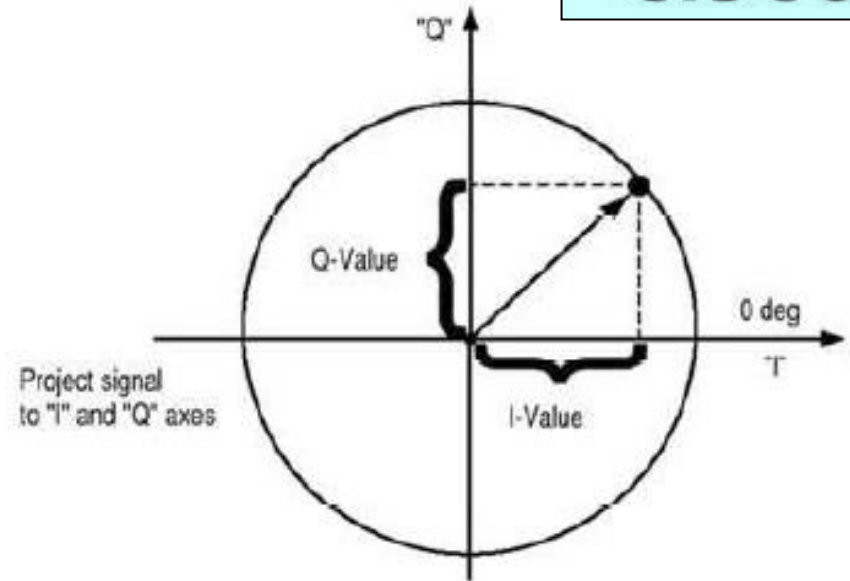
Relative phase →

Note phase shift when carrier power goes to zero between bits

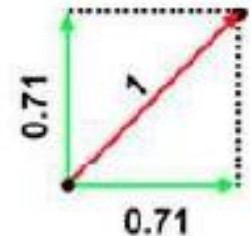
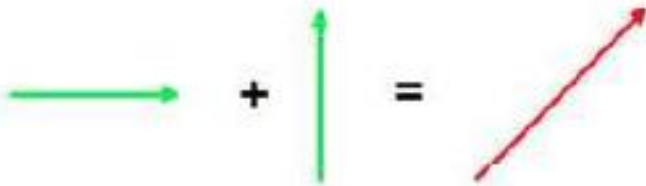
IQ (dekartov) format i polarni format



Polar display—Magnitude and phase represented together



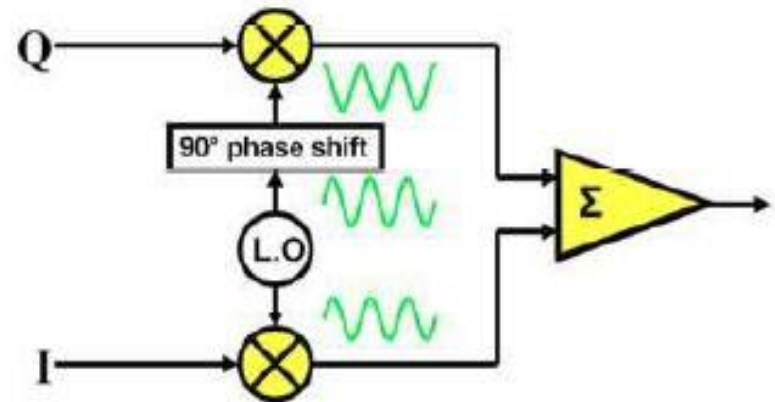
"I-Q" format—Polar to rectangular conversion



IQ Modulator



- A single carrier generated by a local oscillator (L.O.) circuit is split into two paths.
- One path is delayed by an amount of time equal to $\frac{1}{4}$ of the carrier's cycle time, or 90 degrees.
- The second path has no phase shift.
- The two carriers are amplitude modulated—one by the *I* signal, the other by the *Q* signal.
- The two modulated carriers are combined in a summing circuit.
- The output is a digitally modulated signal that is the **vector sum** of the amplitude modulated *I* and *Q* signals. The output signal contains amplitude and phase variations.



QPSK



- QPSK: quadrature phase shift keying
- **Quadrature** means the signal shifts among phase states that are separated by 90 degrees
- The signal's phase shifts in increments of 90 degrees from 45° to 135° , 315° , or 225°
- Data into the modulator is separated into two channels called "I" and "Q" (**i**n-phase and **q**uadrature)
- Two bits are transmitted simultaneously, one per channel

4-QAM

QPSK



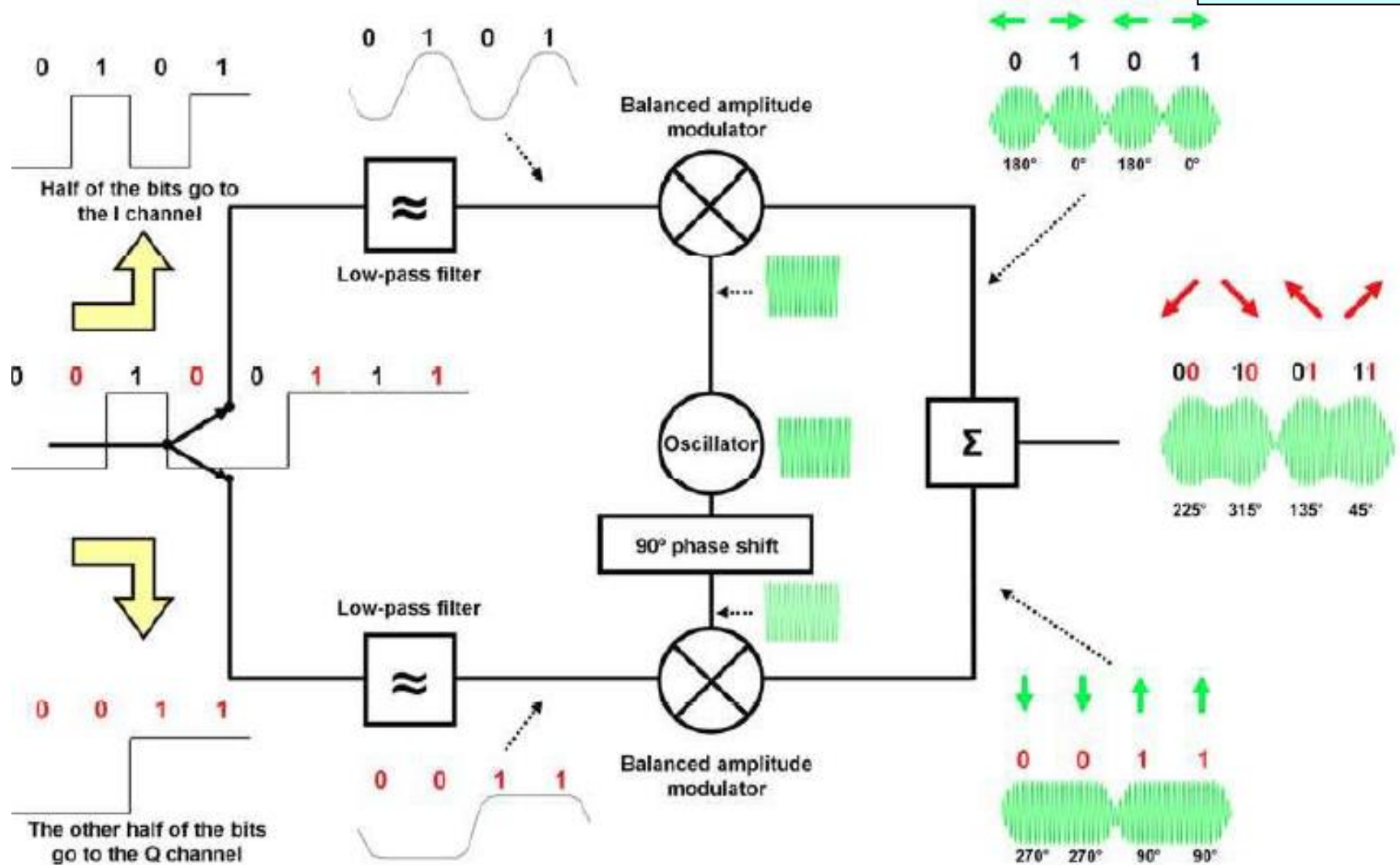
- Each channel amplitude modulates a carrier

The two carrier frequencies are the same, but their phases are offset by 90 degrees—that is, they are “in quadrature”

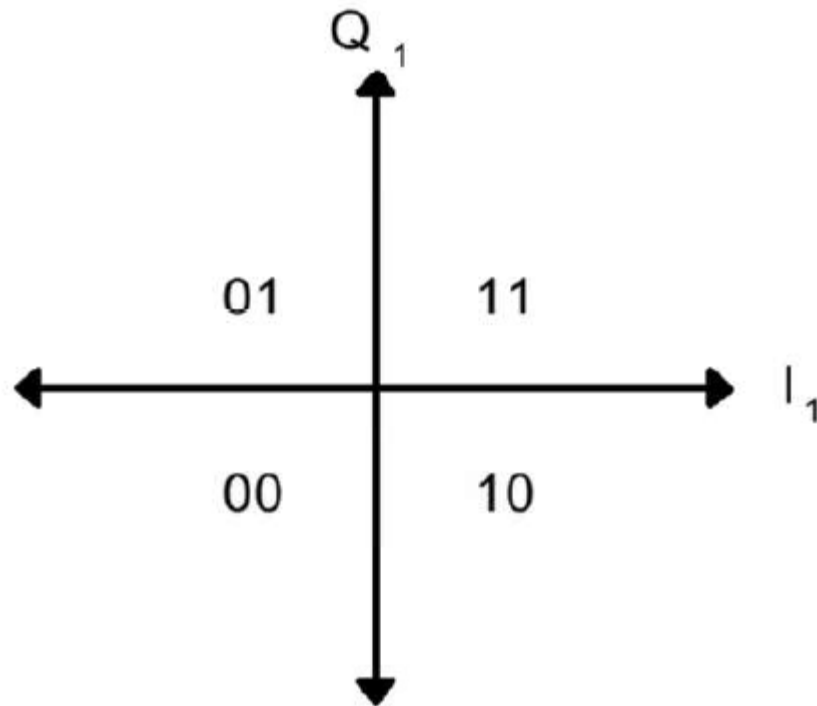
- The two amplitude modulated carriers are combined and transmitted
- The resulting RF signal is a double-sideband, suppressed carrier signal, and is the vector sum of the original two “I” and “Q” carriers
- QPSK has four states because $2^2 = 4$

2^n is the total number of symbol states required to represent all possible bit combinations (n = number of bits/symbol)
- Theoretical bandwidth efficiency is two bits/second/Hz

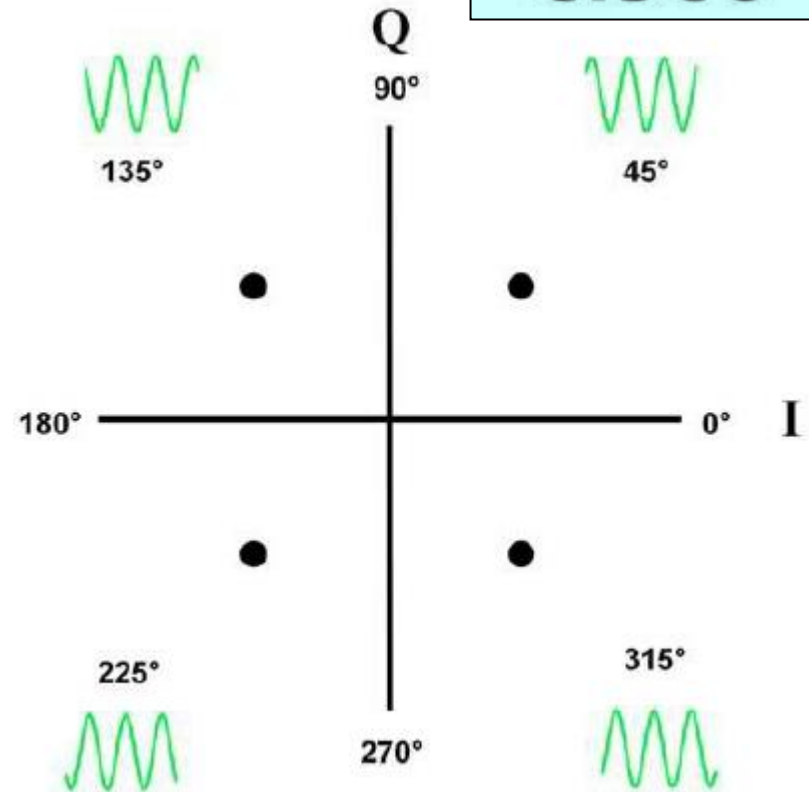
QPSK



QPSK, mapiranje simbola



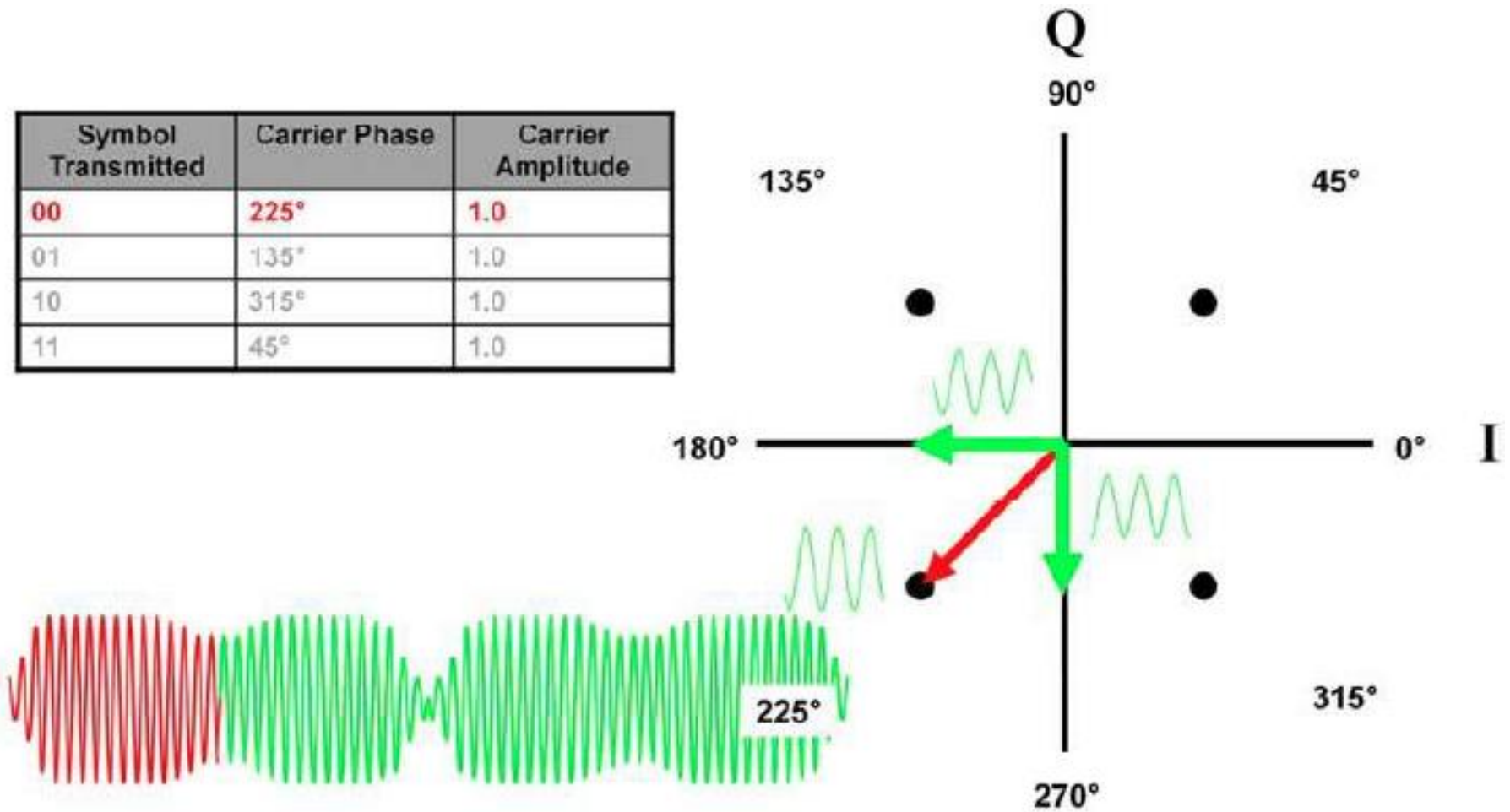
Symbol Transmitted	Carrier Envelope Phase	Carrier Envelope Amplitude
00	225°	1.0
01	135°	1.0
10	315°	1.0
11	45°	1.0



QPSK konstalacija



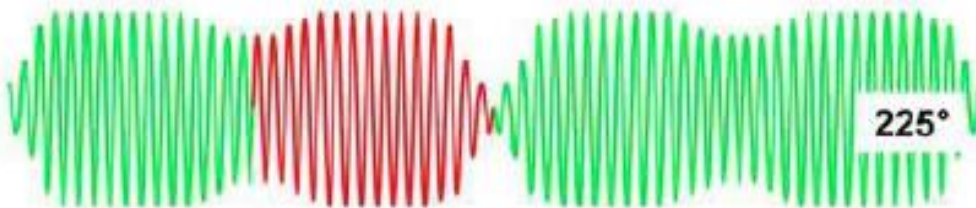
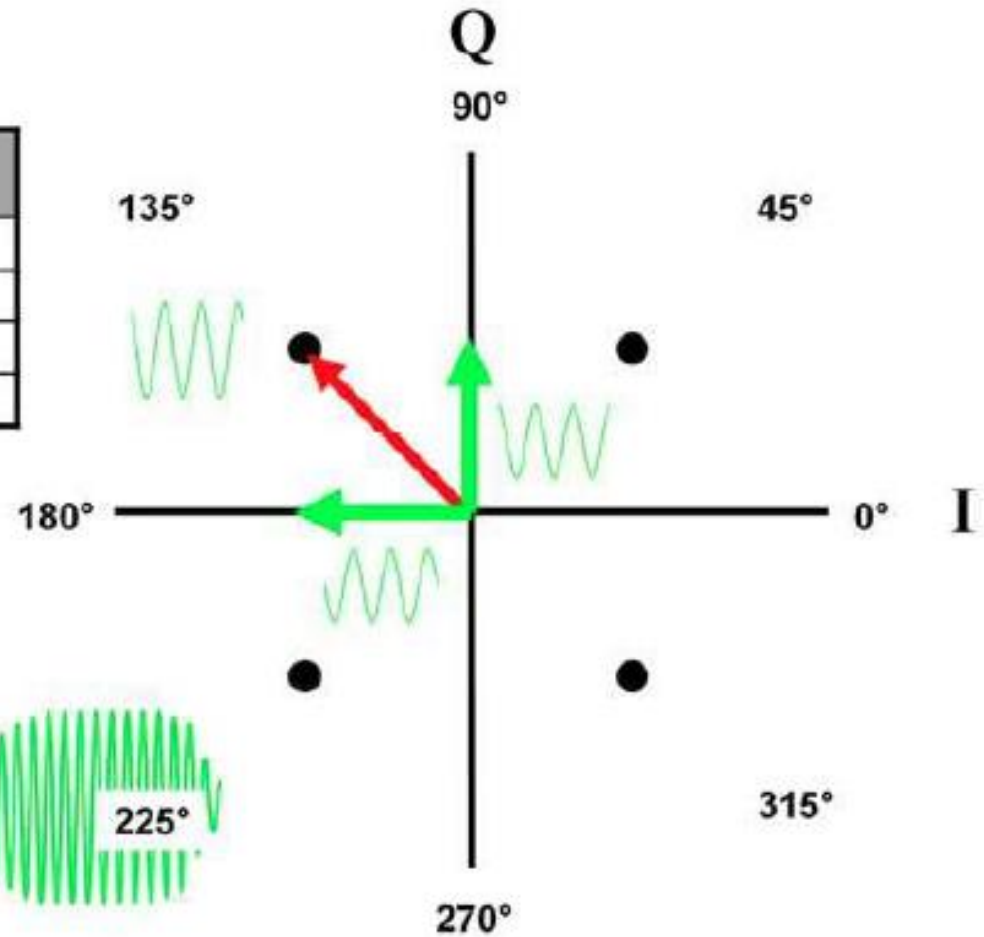
Symbol Transmitted	Carrier Phase	Carrier Amplitude
00	225°	1.0
01	135°	1.0
10	315°	1.0
11	45°	1.0



QPSK konstalacija



Symbol Transmitted	Carrier Phase	Carrier Amplitude
00	225°	1.0
01	135°	1.0
10	315°	1.0
11	45°	1.0

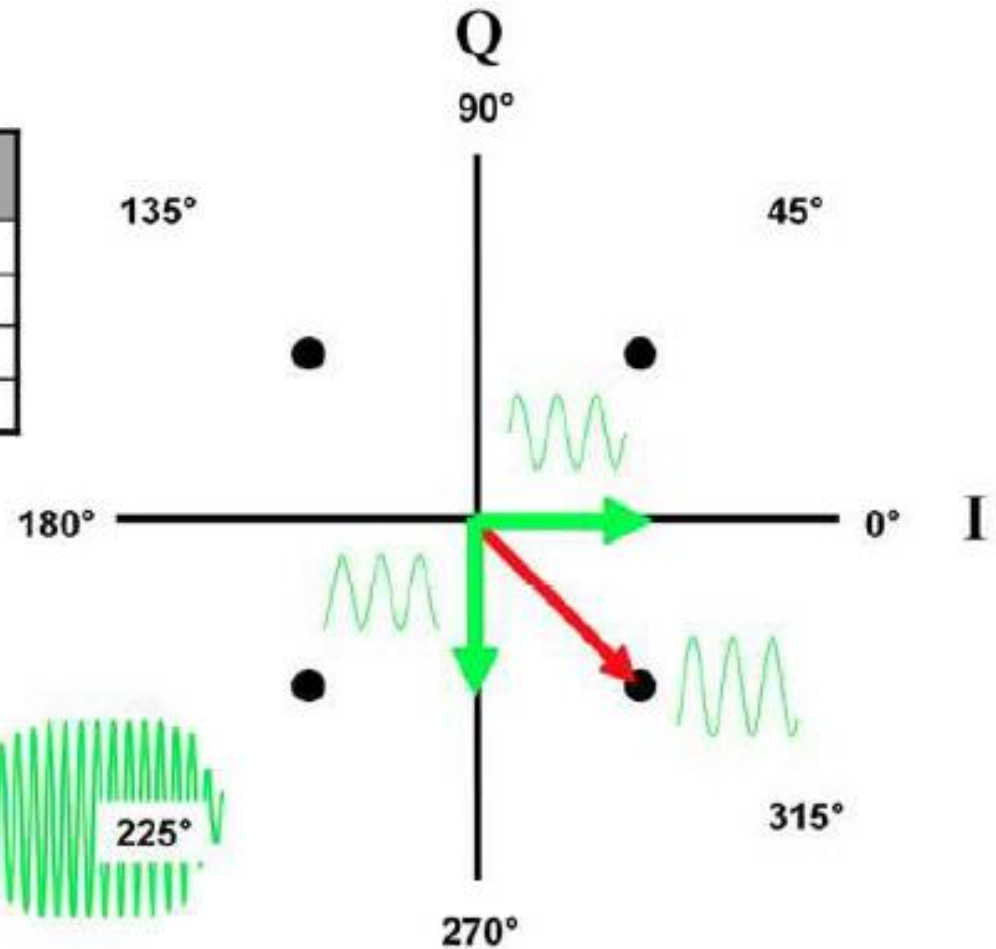


↑
90° phase shift
(225° to 135°)

QPSK konstalacija



Symbol Transmitted	Carrier Phase	Carrier Amplitude
00	225°	1.0
01	135°	1.0
10	315°	1.0
11	45°	1.0

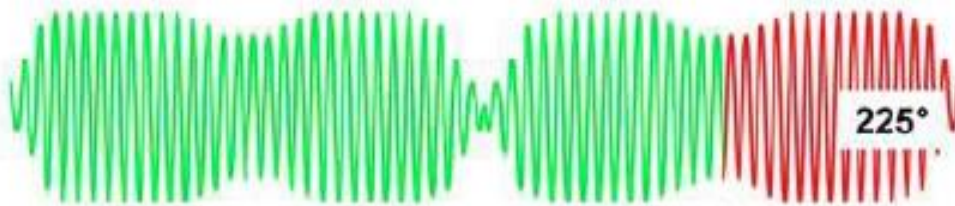
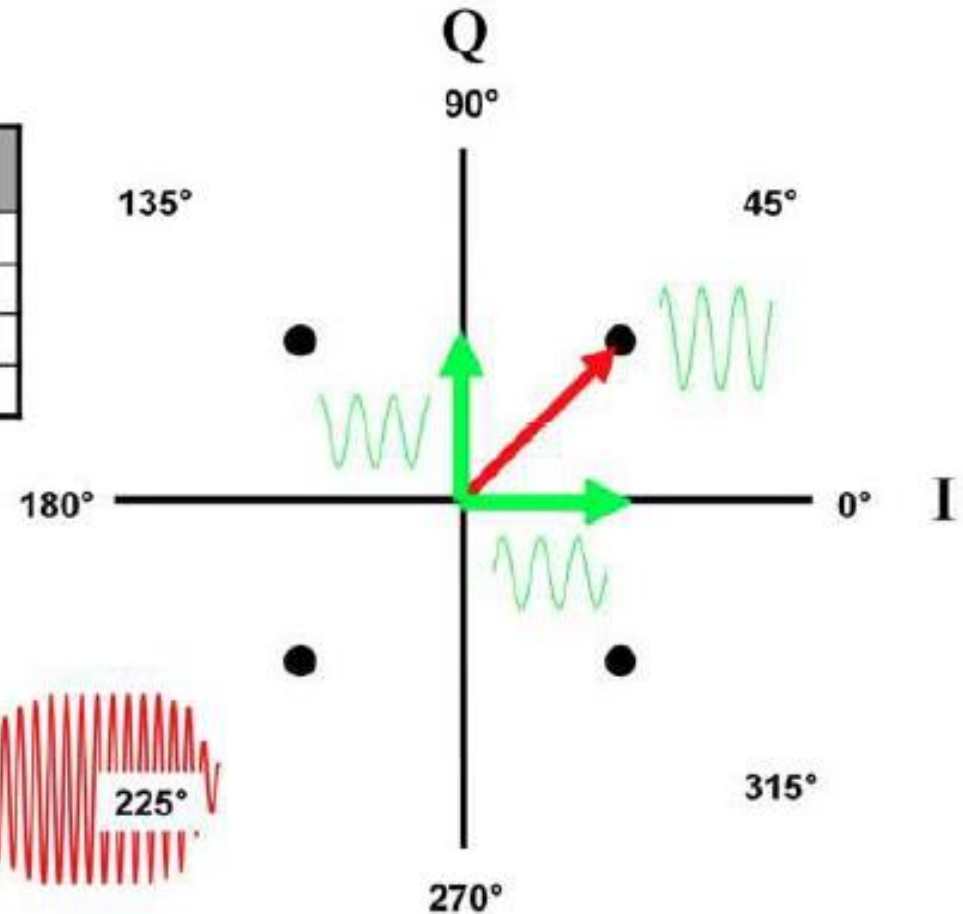


↑
180° phase shift
(135° to 315°)

QPSK konstalacija



Symbol Transmitted	Carrier Phase	Carrier Amplitude
00	225°	1.0
01	135°	1.0
10	315°	1.0
11	45°	1.0



90° phase shift
(315° to 45°)

16-QAM, quadrature amplitude modulation



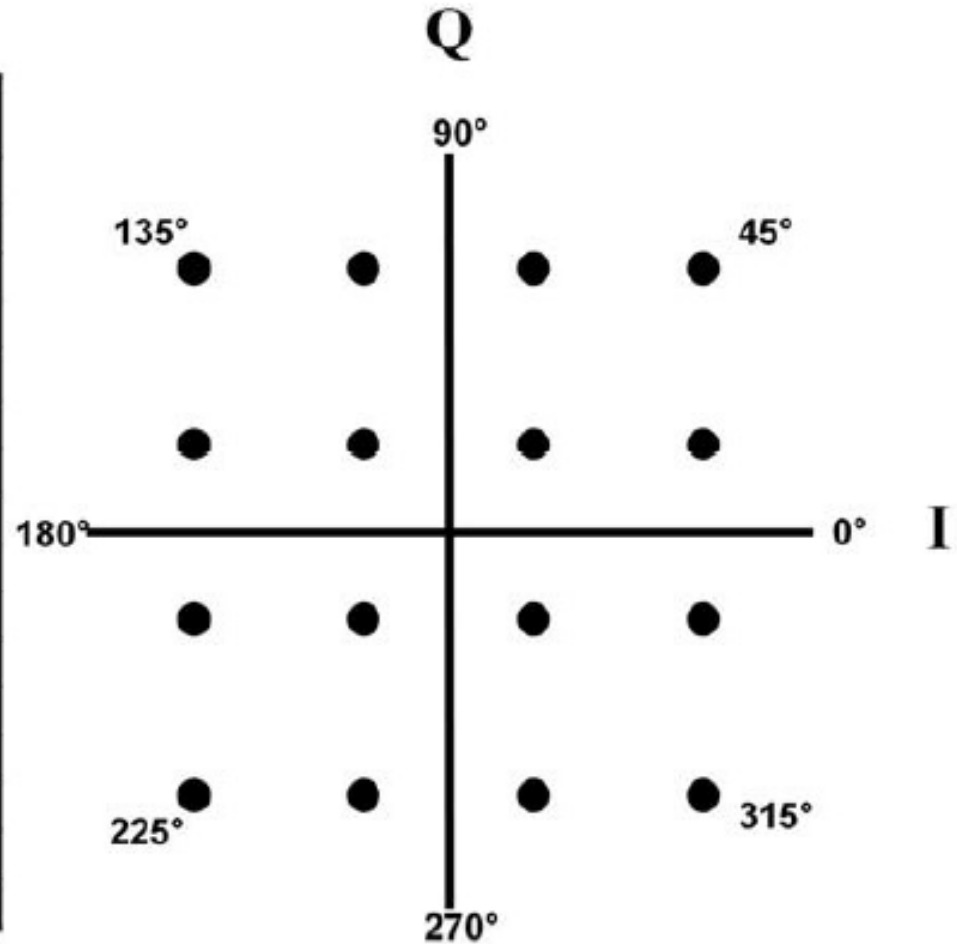
- 16-QAM: 16-stanja = 2^4
- 4 I i 4 Q vrednosti, 4 bita po simbolu
- Efikasnost teorijskog propusnog opsega 4b/s/Hz
- Podaci se raspodeljuju u 2 kanala, I i Q
- Po 2 bita se istovremeno prosleđuju svakom kanalu
- Svaki kanal koristi amplitudsku modulaciju
- Rezultantni signal ima 2-opsega bez nosioca
- Vektorski zbir dva nosioca sa varijacijom amplitude i faze

U RF domenu, vizuelizuje se sa 16 različitih kombinacija amplitude i faze za predstavljanje 16 različitih simbola koji mogu da budu emitovani

16-QAM konstalacija



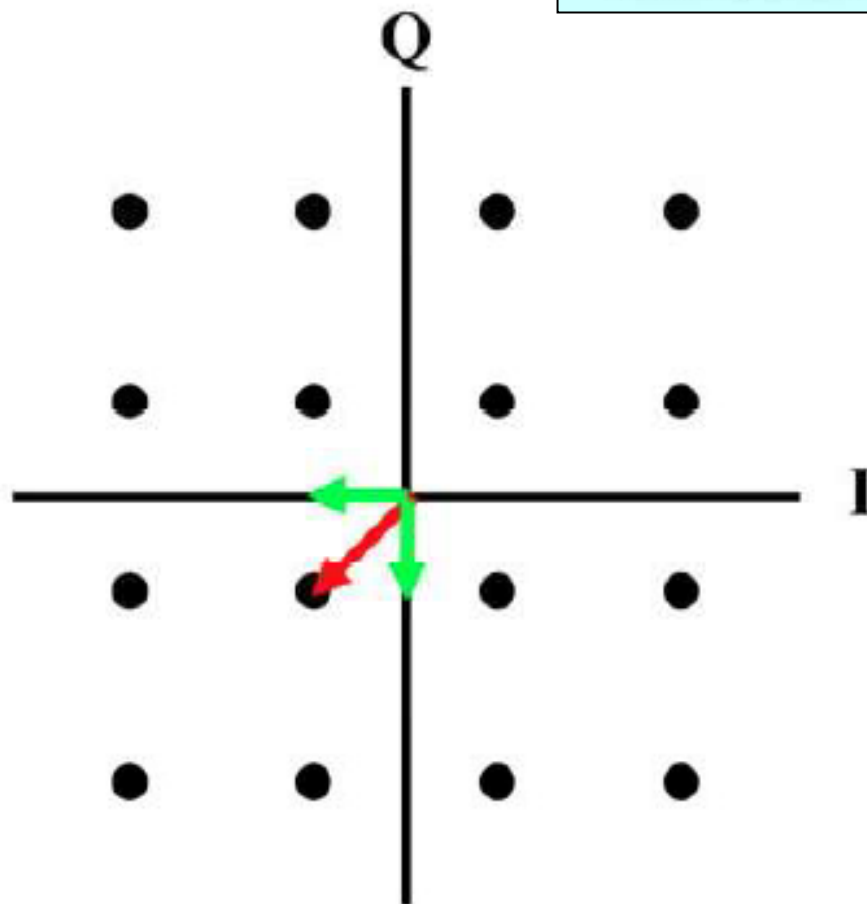
Symbol Transmitted	Carrier Phase	Carrier Amplitude
0000	225°	0.33
0001	255°	0.75
0010	195°	0.75
0011	225°	1.0
0100	135°	0.33
0101	105°	0.75
0110	165°	0.75
0111	135°	1.0
1000	315°	0.33
1001	285°	0.75
1010	345°	0.75
1011	315°	1.0
1100	45°	0.33
1101	75°	0.75
1110	15°	0.75
1111	45°	1.0



16-QAM konstalacija



Symbol Transmitted	Carrier Phase	Carrier Amplitude
0000	225°	0.33
0001	255°	0.75
0010	195°	0.75
0011	225°	1.0
0100	135°	0.33
0101	105°	0.75
0110	165°	0.75
0111	135°	1.0
1000	315°	0.33
1001	285°	0.75
1010	345°	0.75
1011	315°	1.0
1100	45°	0.33
1101	75°	0.75
1110	15°	0.75
1111	45°	1.0

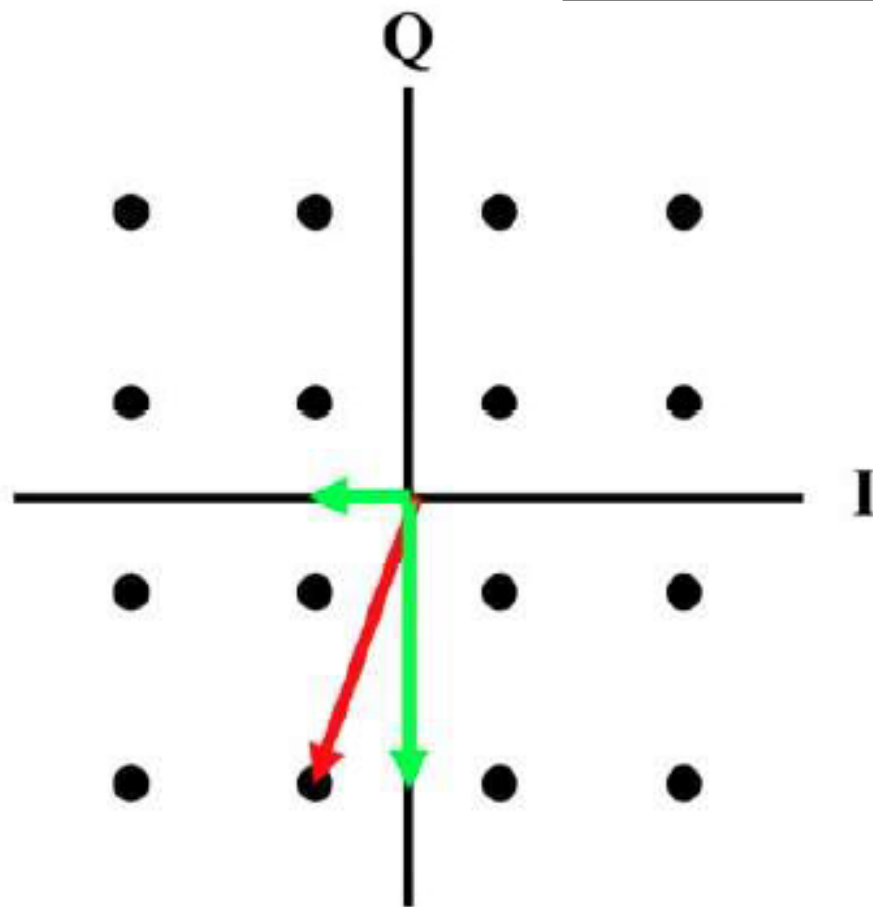


Simbol 0000 se predstavlja modulisanim signalom faze 225° i normalizovane amplitude 0.33
4 najudaljenija simbola su normalizovana na amplitudu 1

16-QAM konstalacija



Symbol Transmitted	Carrier Phase	Carrier Amplitude
0000	225°	0.33
0001	255°	0.75
0010	195°	0.75
0011	225°	1.0
0100	135°	0.33
0101	105°	0.75
0110	165°	0.75
0111	135°	1.0
1000	315°	0.33
1001	285°	0.75
1010	345°	0.75
1011	315°	1.0
1100	45°	0.33
1101	75°	0.75
1110	15°	0.75
1111	45°	1.0

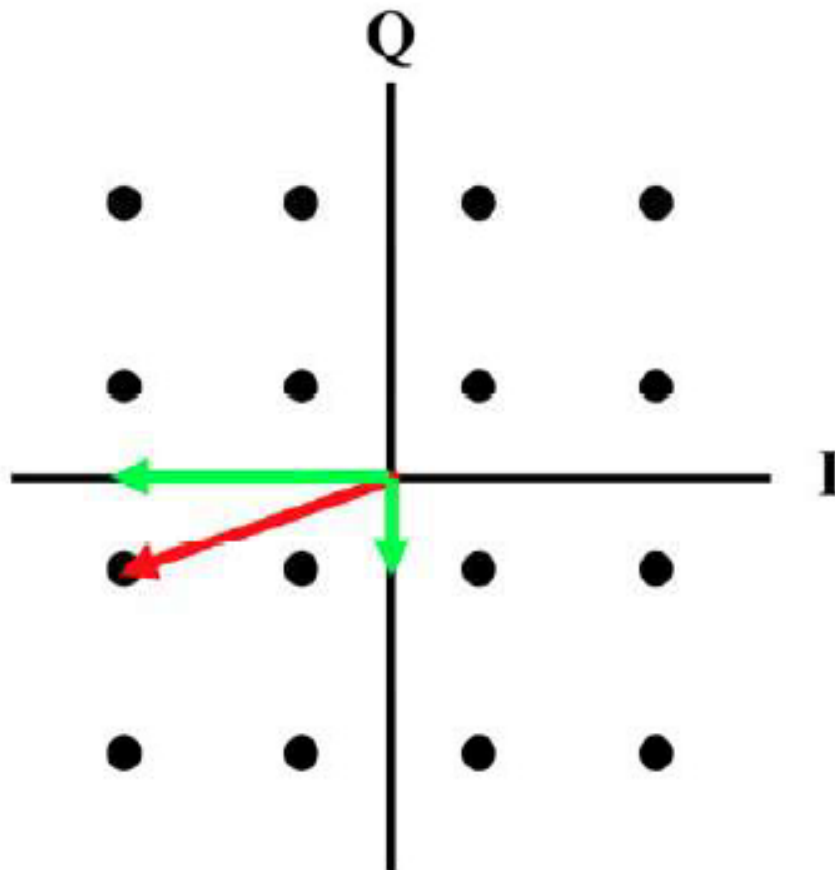


Simbol 0001 se predstavlja modulisanim signalom faze 255° i normalizovane amplitude 0.75

16-QAM konstalacija



Symbol Transmitted	Carrier Phase	Carrier Amplitude
0000	225°	0.33
0001	255°	0.75
0010	195°	0.75
0011	225°	1.0
0100	135°	0.33
0101	105°	0.75
0110	165°	0.75
0111	135°	1.0
1000	315°	0.33
1001	285°	0.75
1010	345°	0.75
1011	315°	1.0
1100	45°	0.33
1101	75°	0.75
1110	15°	0.75
1111	45°	1.0

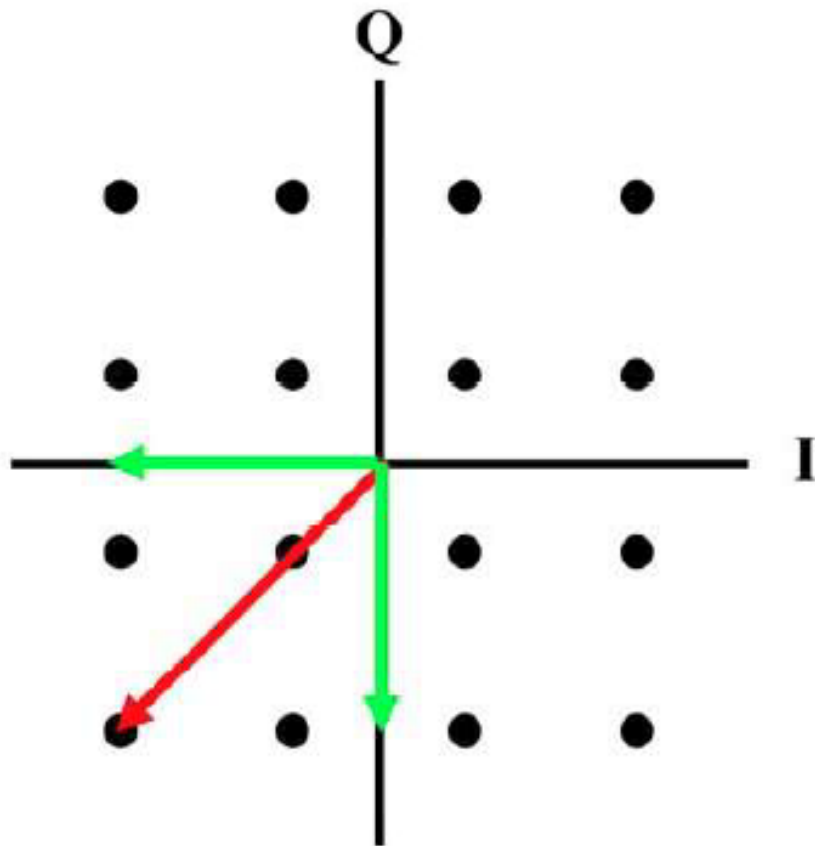


Simbol 0010 se predstavlja moduliranim signalom faze 195° i normalizovane amplitude 0.75

16-QAM konstalacija



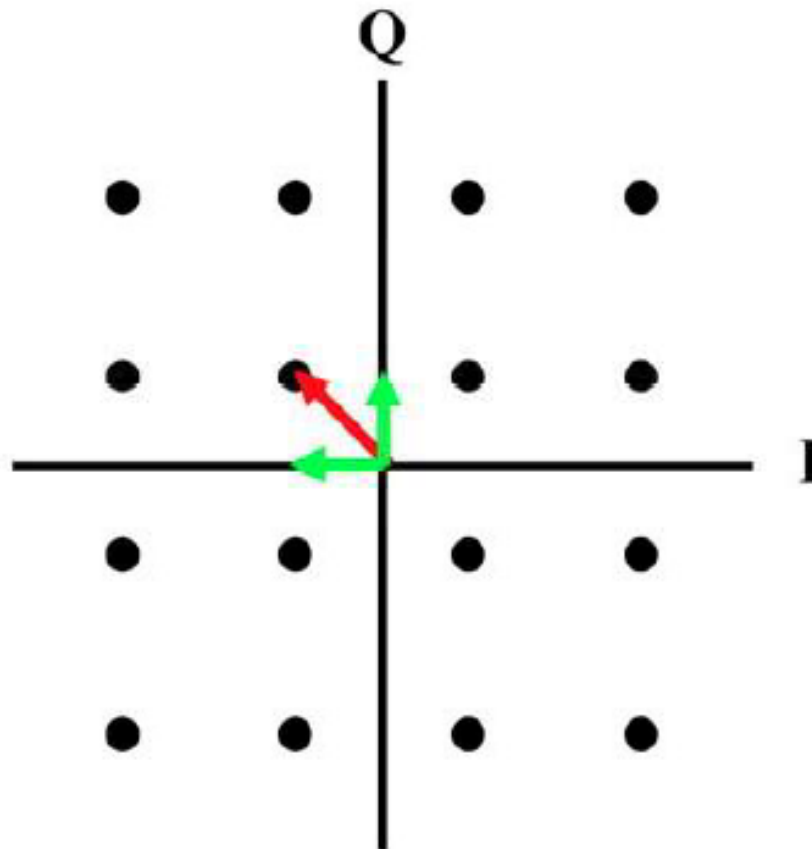
Symbol Transmitted	Carrier Phase	Carrier Amplitude
0000	225°	0.33
0001	255°	0.75
0010	195°	0.75
0011	225°	1.0
0100	135°	0.33
0101	105°	0.75
0110	165°	0.75
0111	135°	1.0
1000	315°	0.33
1001	285°	0.75
1010	345°	0.75
1011	315°	1.0
1100	45°	0.33
1101	75°	0.75
1110	15°	0.75
1111	45°	1.0



Simbol 0011 se predstavlja moduliranim signalom faze 225° i normalizovane amplitude 1

16-QAM konstalacija

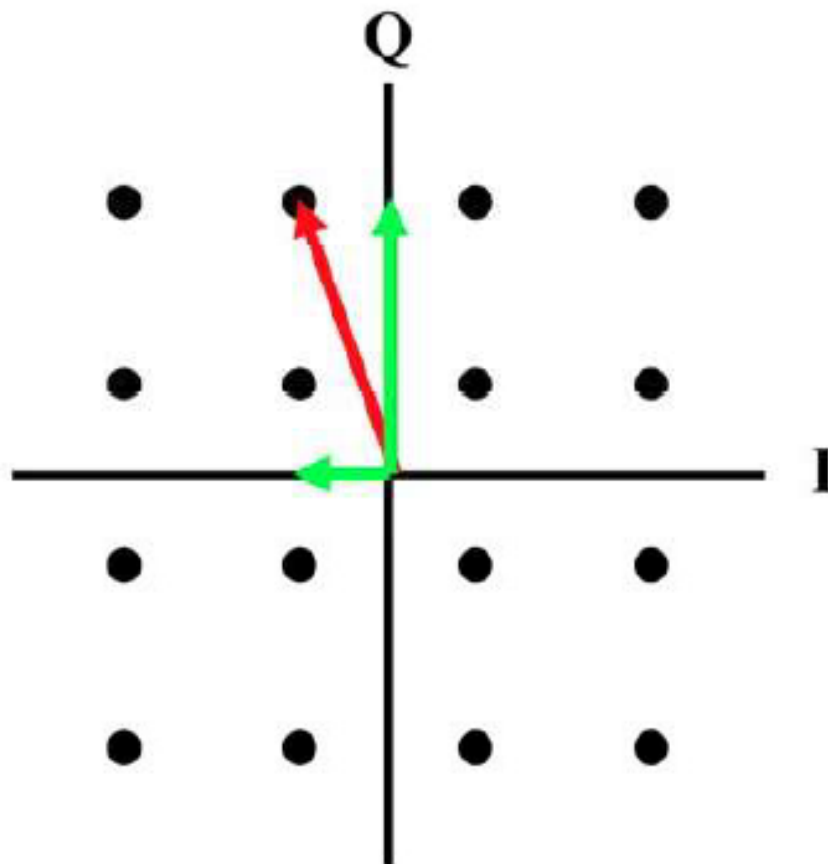
Symbol Transmitted	Carrier Phase	Carrier Amplitude
0000	225°	0.33
0001	255°	0.75
0010	195°	0.75
0011	225°	1.0
0100	135°	0.33
0101	105°	0.75
0110	165°	0.75
0111	135°	1.0
1000	315°	0.33
1001	285°	0.75
1010	345°	0.75
1011	315°	1.0
1100	45°	0.33
1101	75°	0.75
1110	15°	0.75
1111	45°	1.0



Simbol 0100 se predstavlja moduliranim signalom faze 135° i normalizovane amplitude 0.33

16-QAM konstalacija

Symbol Transmitted	Carrier Phase	Carrier Amplitude
0000	225°	0.33
0001	255°	0.75
0010	195°	0.75
0011	225°	1.0
0100	135°	0.33
0101	105°	0.75
0110	165°	0.75
0111	135°	1.0
1000	315°	0.33
1001	285°	0.75
1010	345°	0.75
1011	315°	1.0
1100	45°	0.33
1101	75°	0.75
1110	15°	0.75
1111	45°	1.0

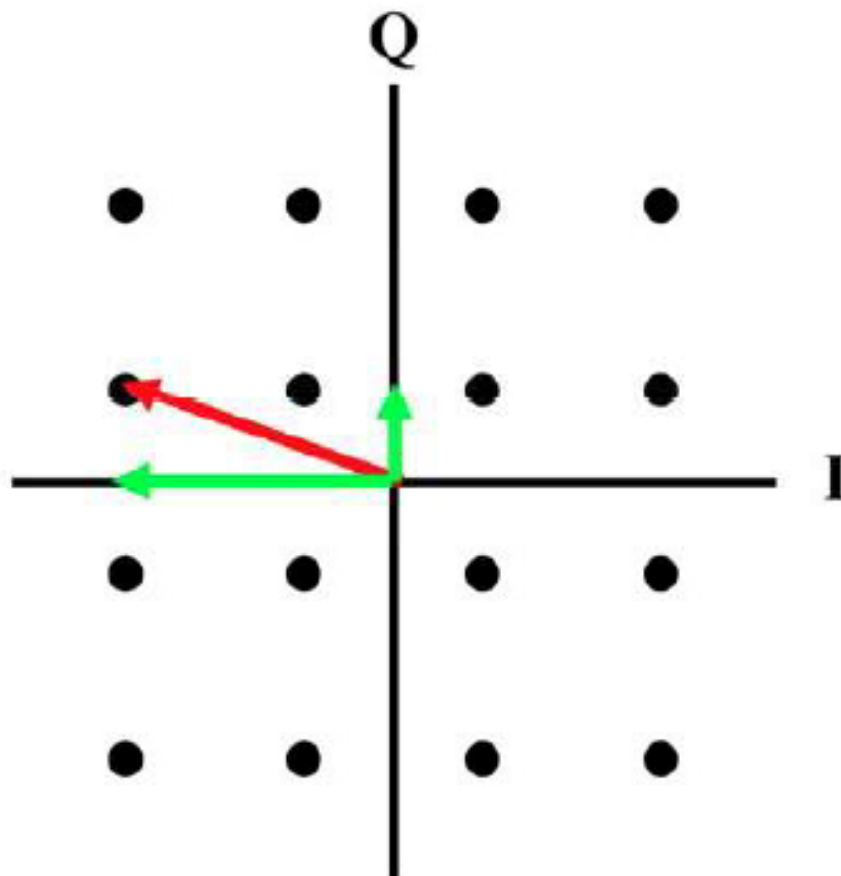


Simbol 0101 se predstavlja modulisanim signalom faze 105° i normalizovane amplitude 0.75

16-QAM konstalacija



Symbol Transmitted	Carrier Phase	Carrier Amplitude
0000	225°	0.33
0001	255°	0.75
0010	195°	0.75
0011	225°	1.0
0100	135°	0.33
0101	105°	0.75
0110	165°	0.75
0111	135°	1.0
1000	315°	0.33
1001	285°	0.75
1010	345°	0.75
1011	315°	1.0
1100	45°	0.33
1101	75°	0.75
1110	15°	0.75
1111	45°	1.0

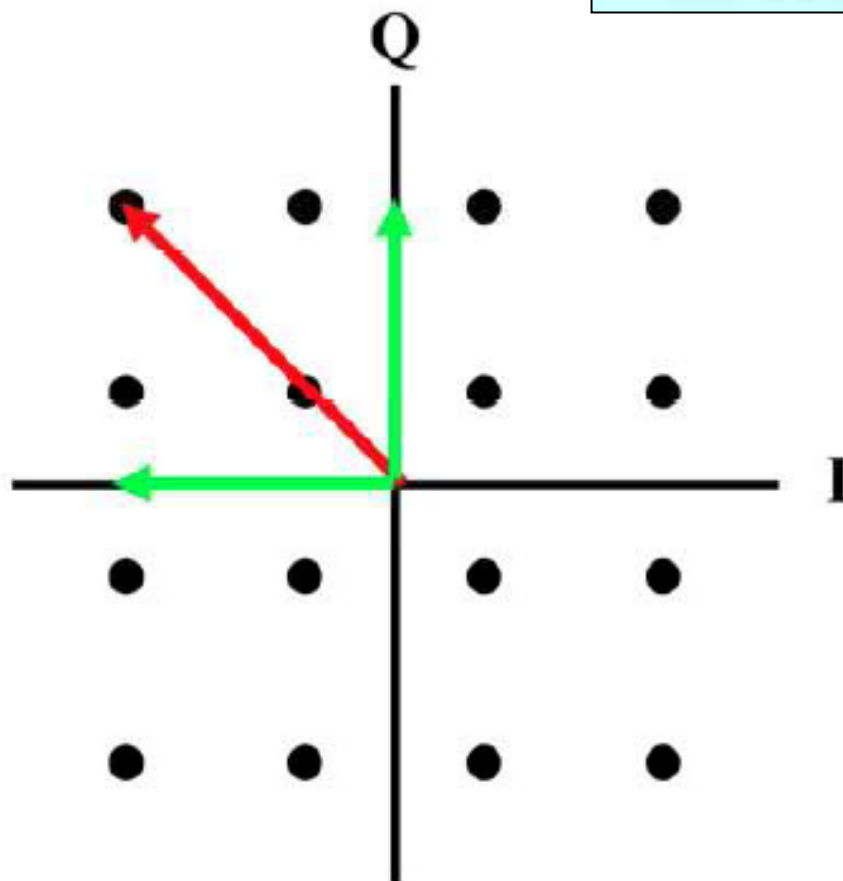


Simbol 0110 se predstavlja modulisanim signalom faze 165° i normalizovane amplitude 0.75

16-QAM konstalacija

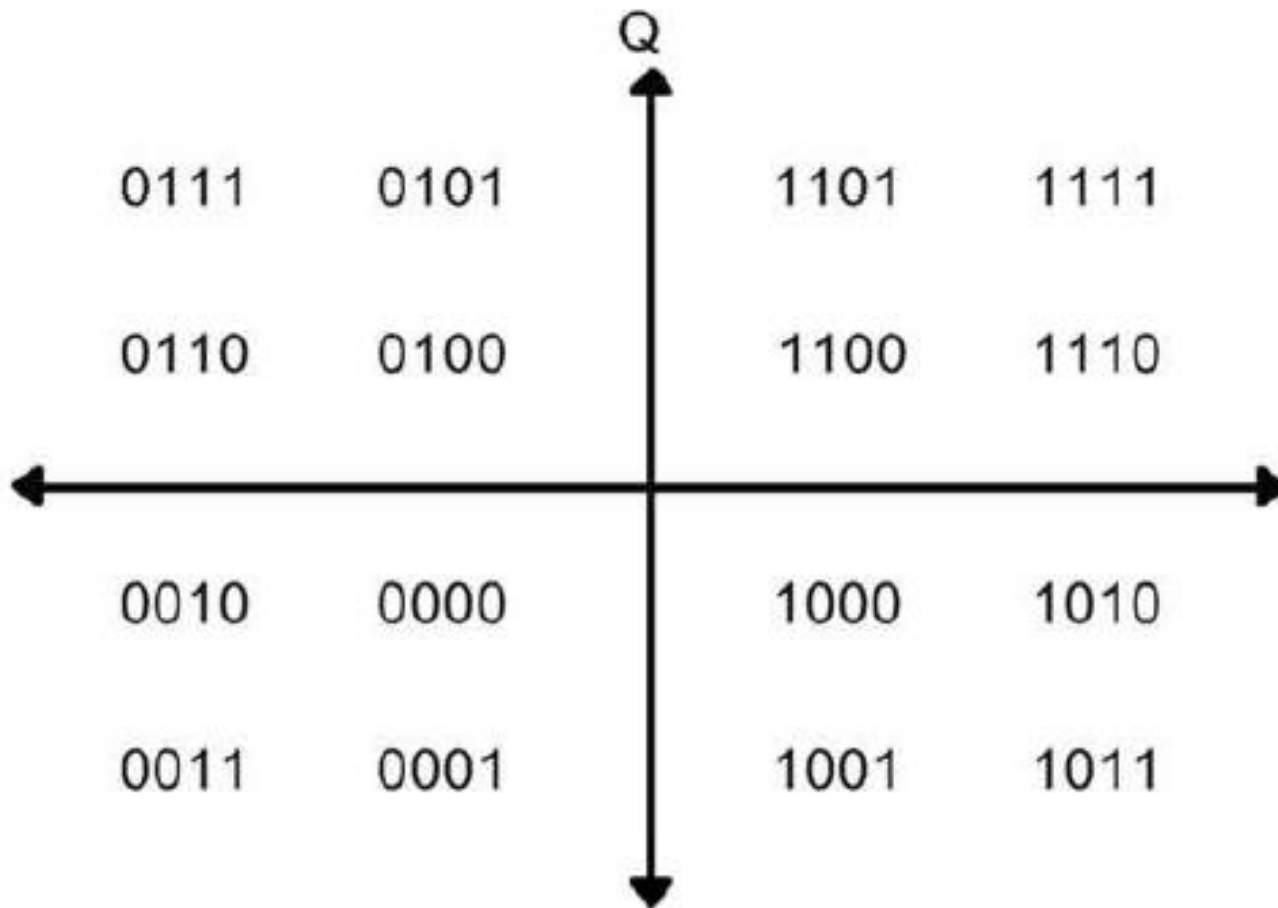


Symbol Transmitted	Carrier Phase	Carrier Amplitude
0000	225°	0.33
0001	255°	0.75
0010	195°	0.75
0011	225°	1.0
0100	135°	0.33
0101	105°	0.75
0110	165°	0.75
0111	135°	1.0
1000	315°	0.33
1001	285°	0.75
1010	345°	0.75
1011	315°	1.0
1100	45°	0.33
1101	75°	0.75
1110	15°	0.75
1111	45°	1.0



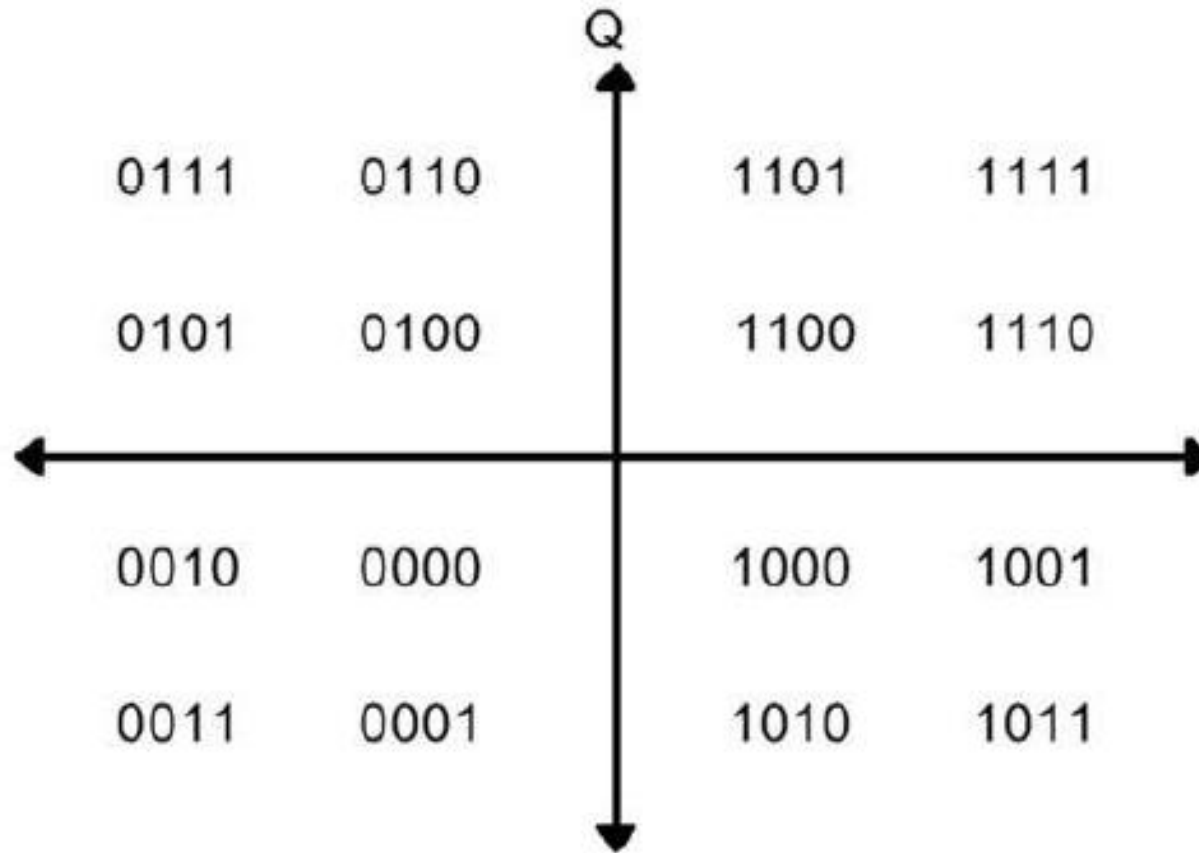
Simbol 0111 se predstavlja modulisanim signalom faze 135° i normalizovane amplitude 1

16-QAM mapiranje simbola



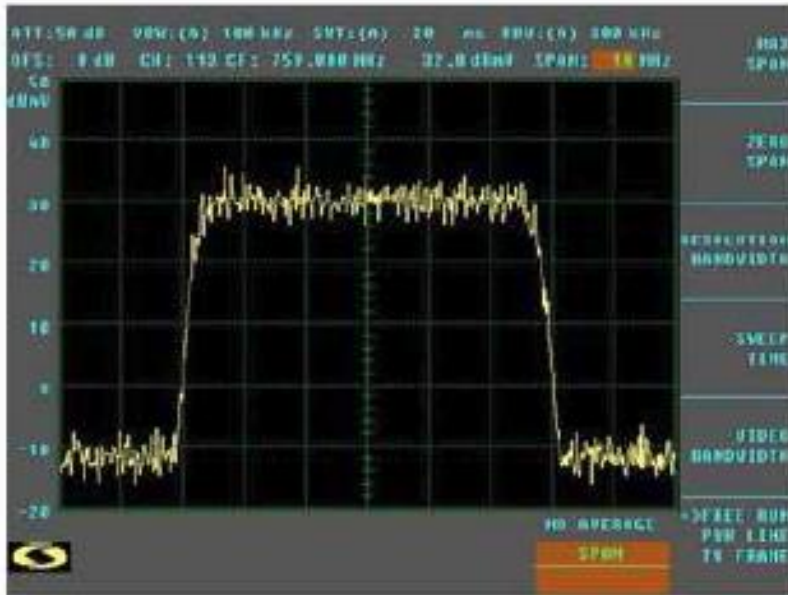
Gray-Coding, simbol gore, dole, levo, desno razlikuju se za 1 bit

16-QAM mapiranje simbola

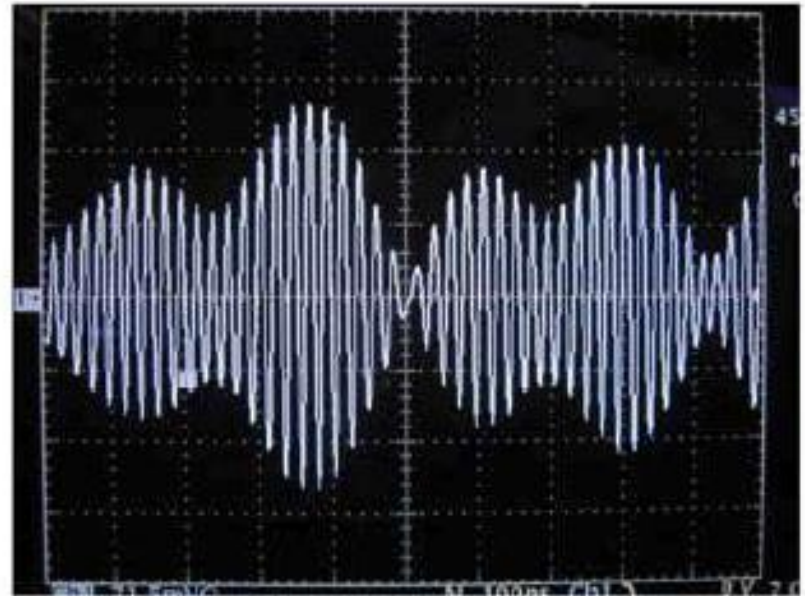


Differential-Coded Symbol Mapping
Razlika dva susedna simbola

64-QAM modulisani signal



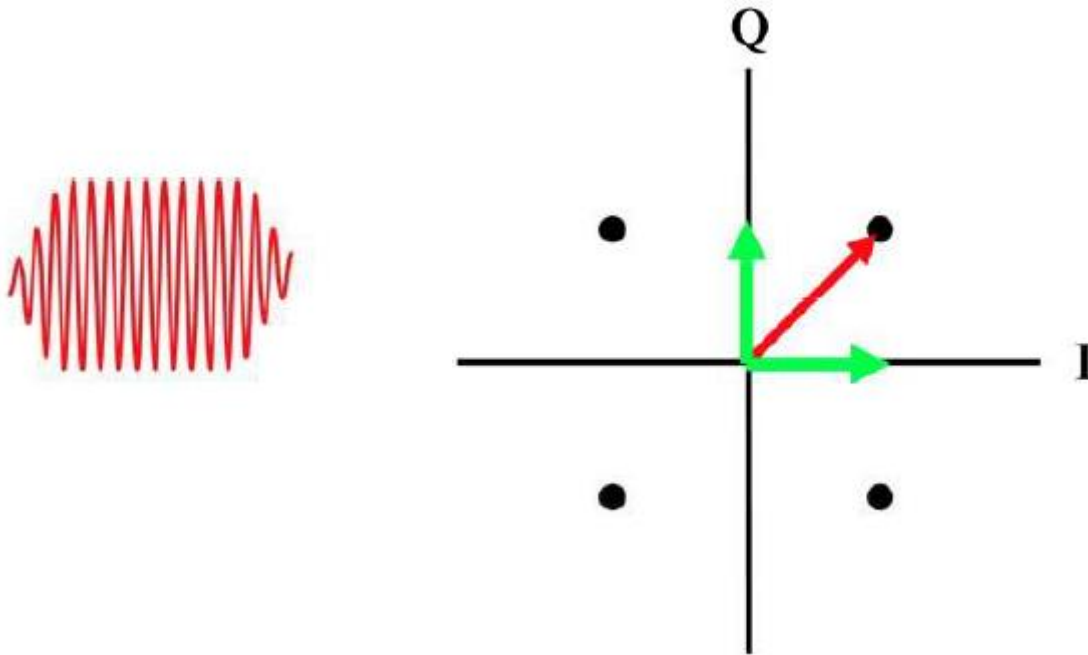
=



Analizator spektra
64-QAM signala u
frekvencijskom domenu

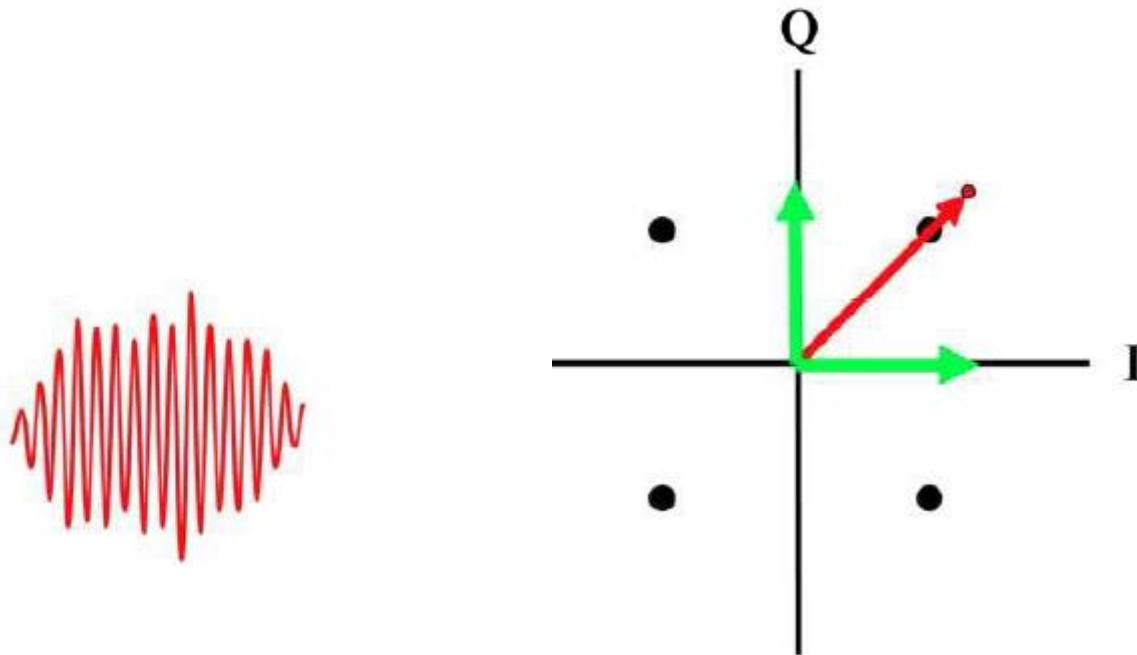
Osciloskop
64-QAM signala
u vremenskom domenu

QPSK primer odstupanja od konstalacije



Amplituda i faza predstavljaju simbol 11
Na strani predajnika

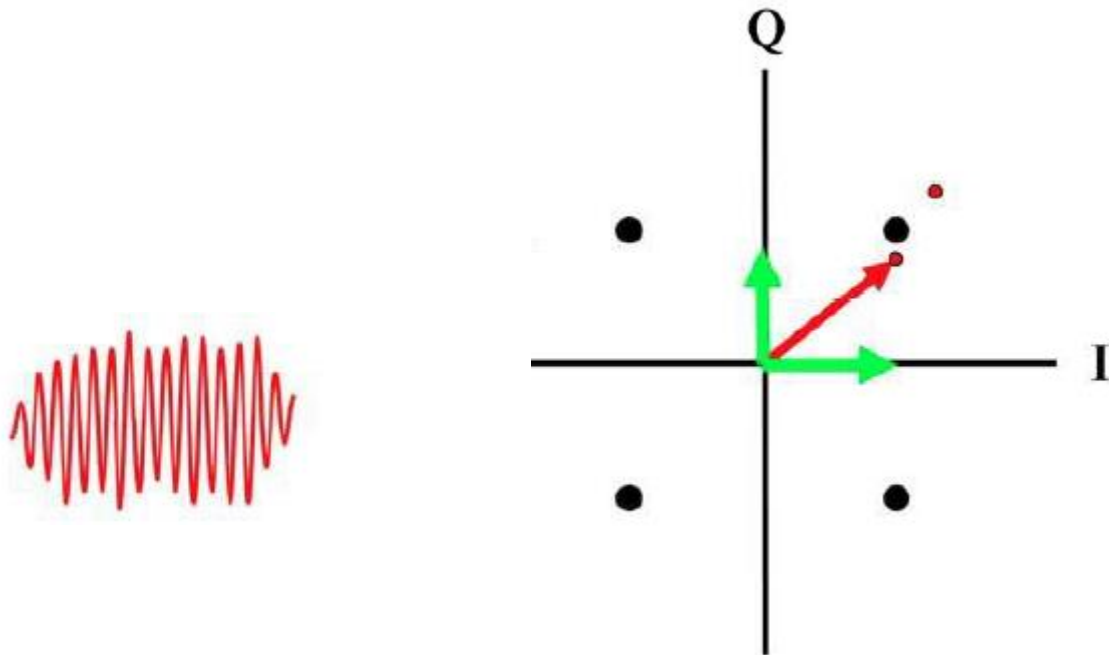
QPSK primer odstupanja od konstalacije



Na strani prijemnika

Odstupanje zbog šuma za simbol 11

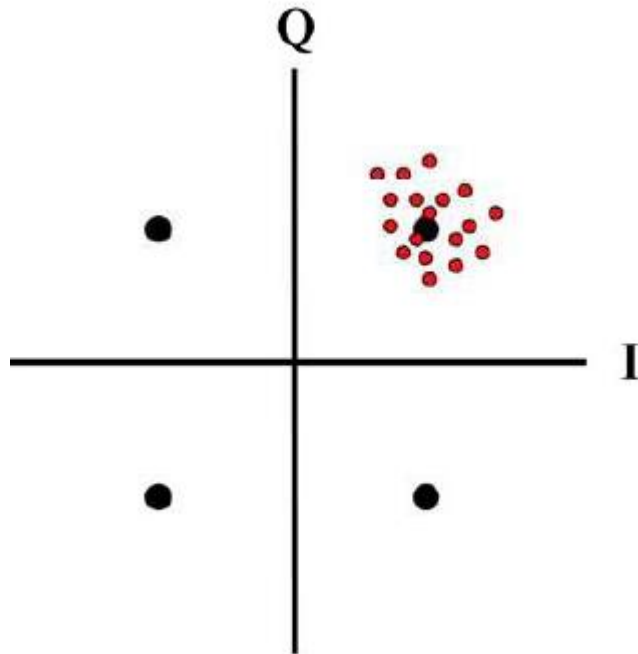
QPSK primer odstupanja od konstalacije



Na strani prijemnika

Odstupanje zbog šuma za simbol 11

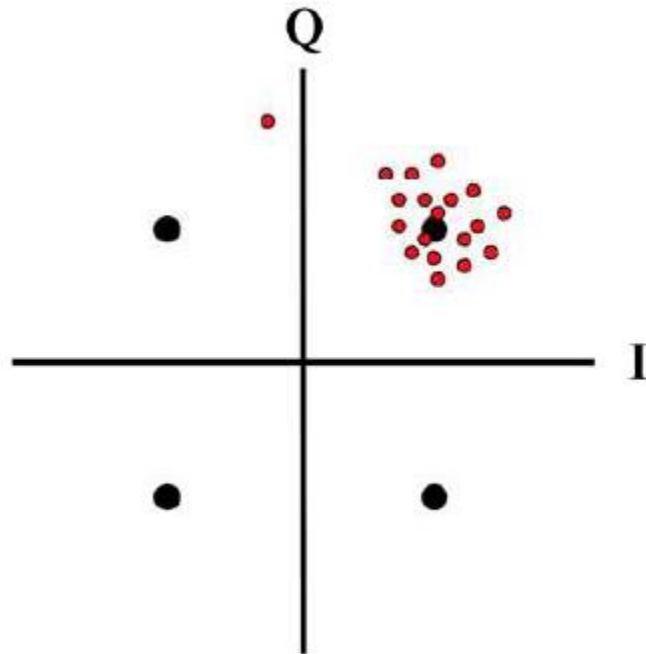
QPSK primer odstupanja od konstalacije



Na strani prijemnika

Odstupanje zbog šuma za simbol 11

QPSK primer odstupanja od konstalacije



Na strani prijemnika

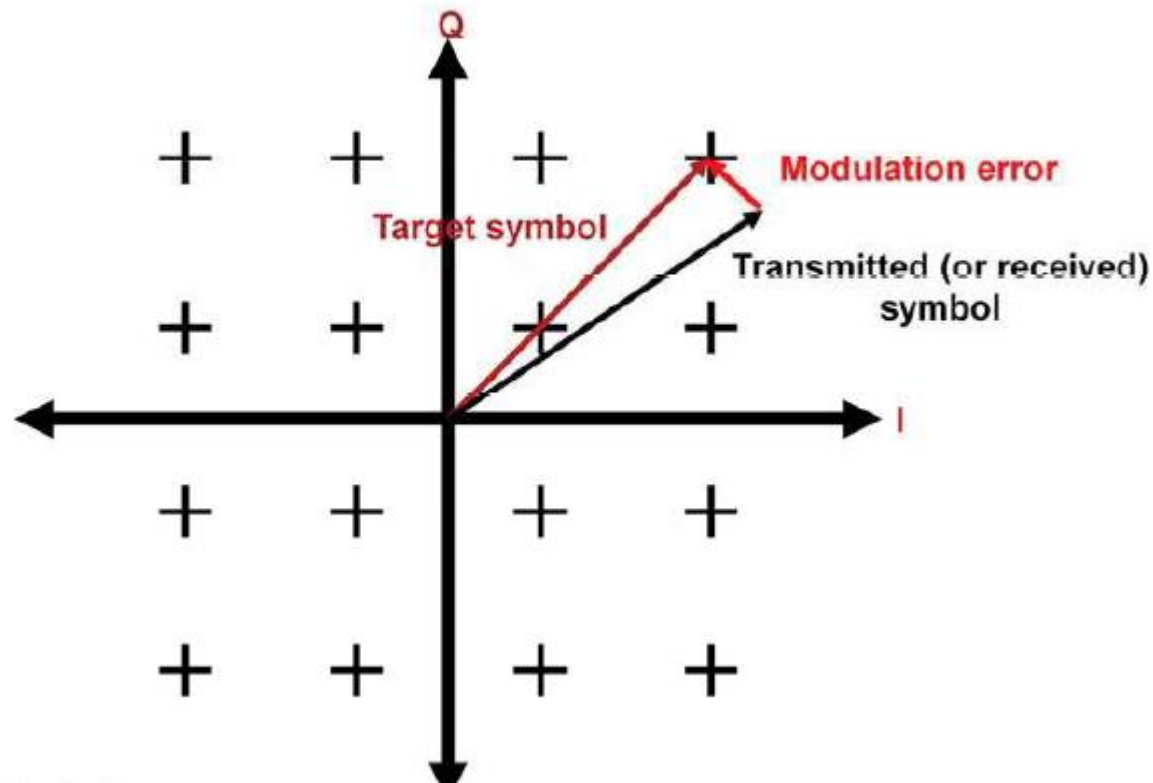
Odstupanje zbog šuma za simbol 11

Jedna tačka je pogrešno primljena

16-QAM, Modulaciona greška



$$\text{Modulation error} = \text{Transmitted symbol} - \text{Target symbol}$$



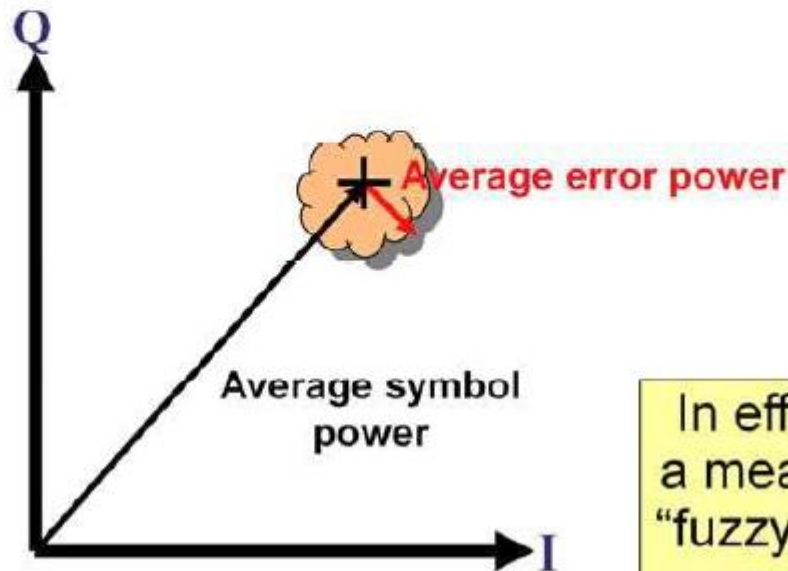
Modulaciona greška je vektor razlike između ciljnog simbola i poslatog simbola - vektora.

vektor poslatog simbola – vektor ciljnog simbola

Modulation Error Ratio

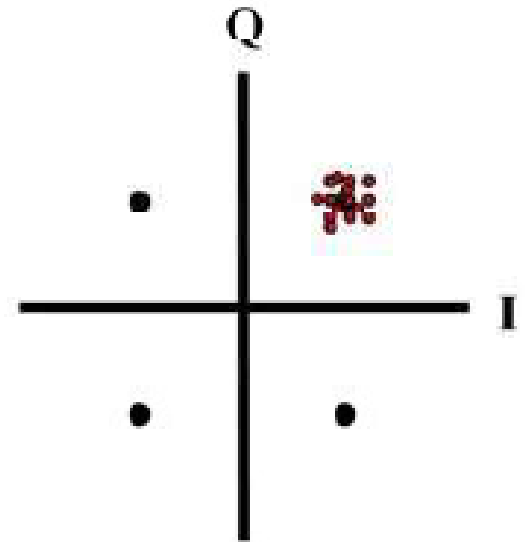
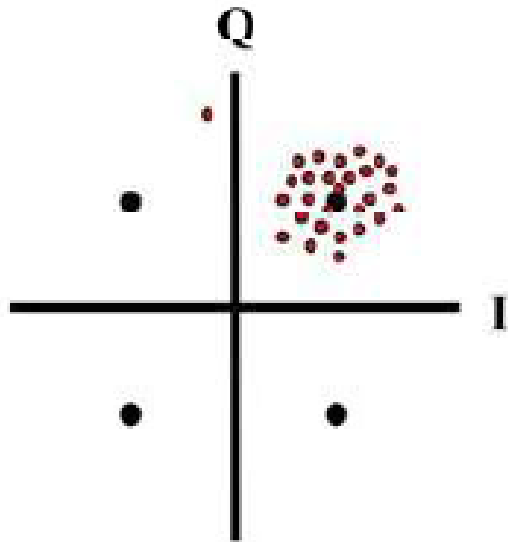
$$MER = 10 \log_{10} \left[\frac{\sum_{j=1}^N (I_j^2 + Q_j^2)}{\sum_{j=1}^N (\delta I_j^2 + \delta Q_j^2)} \right]$$

$MER = 10 \log(\text{average symbol power} / \text{average error power})$



In effect, MER is a measure of how “fuzzy” the symbol points in a constellation are.

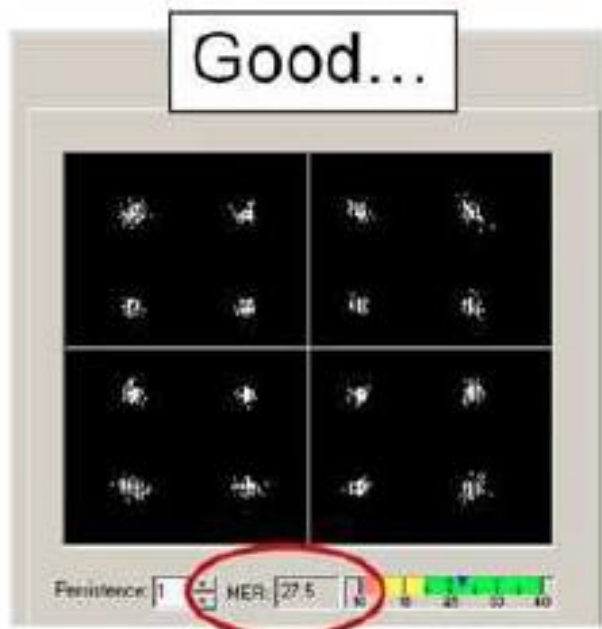
QAM, MER primeri



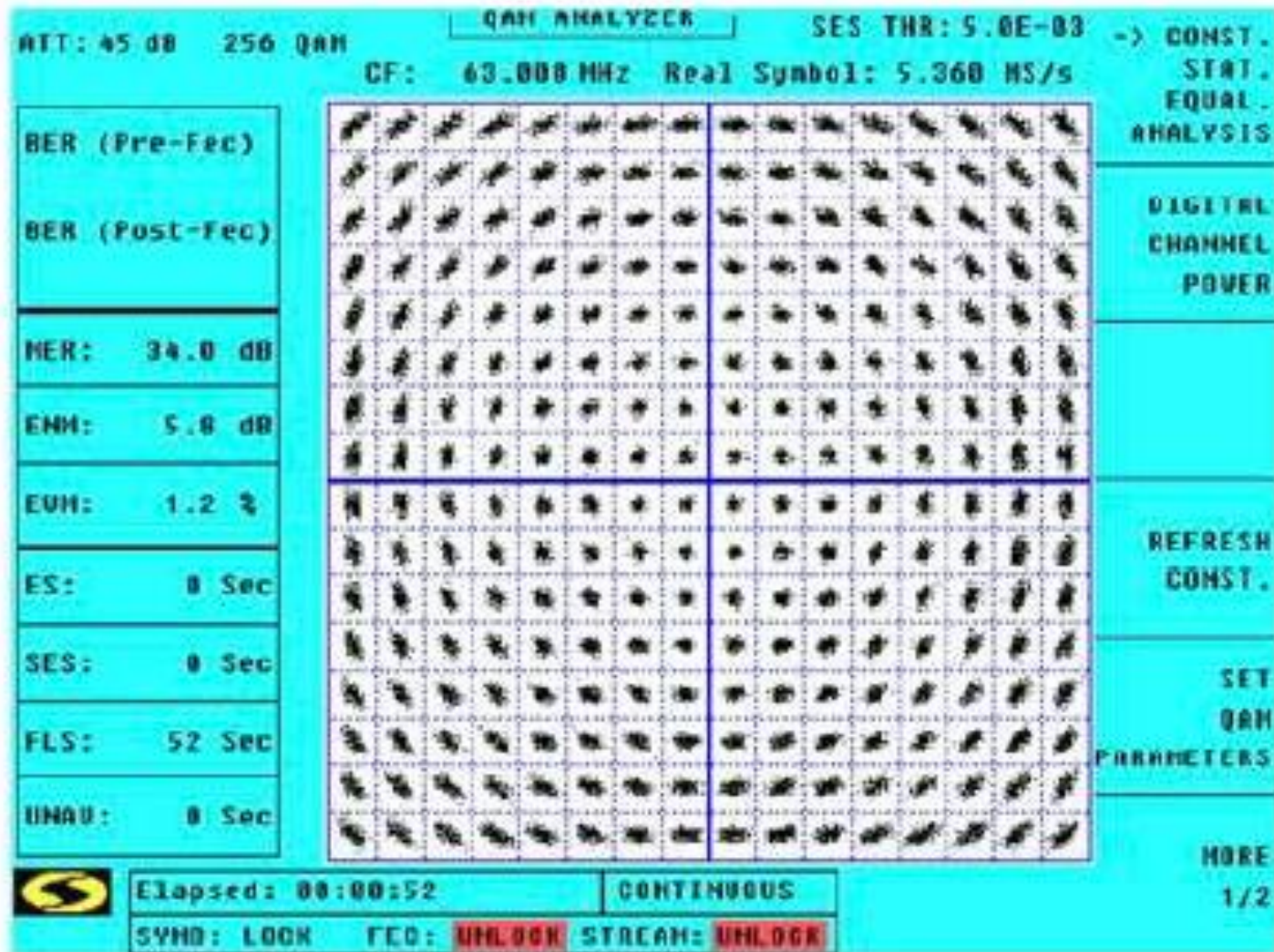
MER primeri merenja



Modulation Format	Lower E_s/N_0 Threshold	Upper E_s/N_0 Threshold
QPSK	7–10 dB	40–45 dB
16 QAM	15–18 dB	40–45 dB
64 QAM	22–24 dB	40–45 dB
256 QAM	28–30 dB	40–45 dB



MER primer faznog šuma



MER primer degradacije



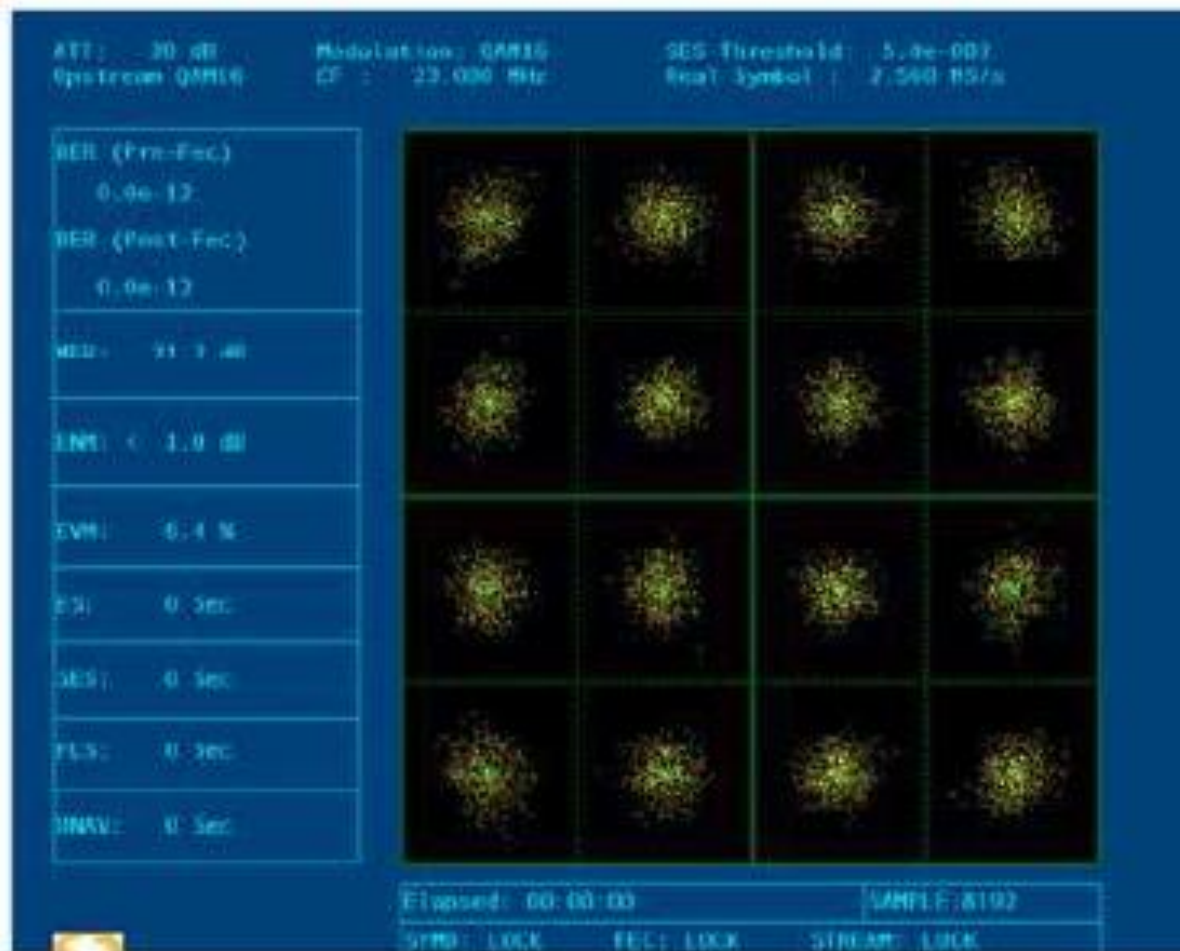
Nizak nivo nosioc-šum ratio

MER primer degradacije



Nelinearna izobličenja

MER primer degradacije



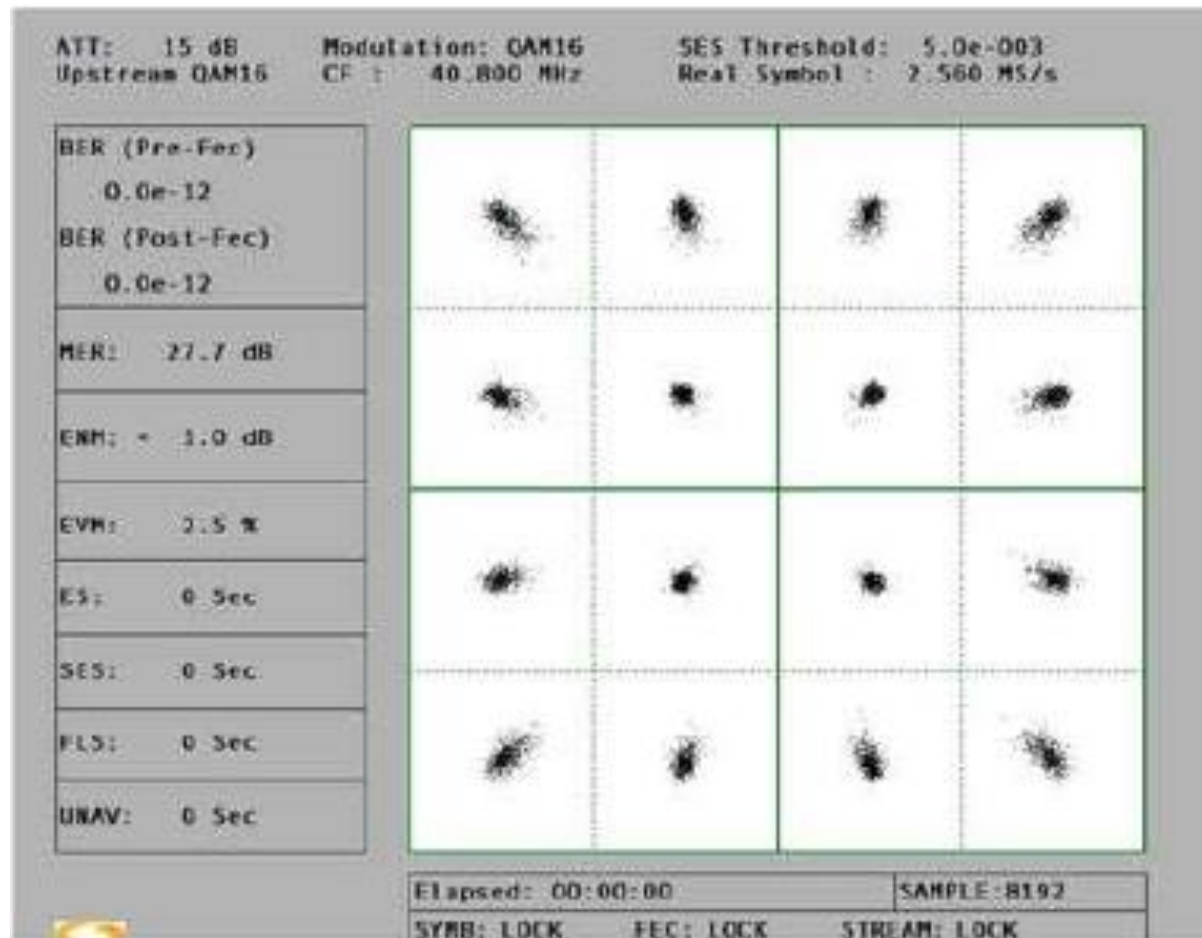
Linearna izobličenja, mikro-refleksija, amplitudski ripple, grupno kašnjenje

MER primer degradacije



Intermodulaciona izobličenja

MER primer degradacije



Laser clipping

MER primer degradacije

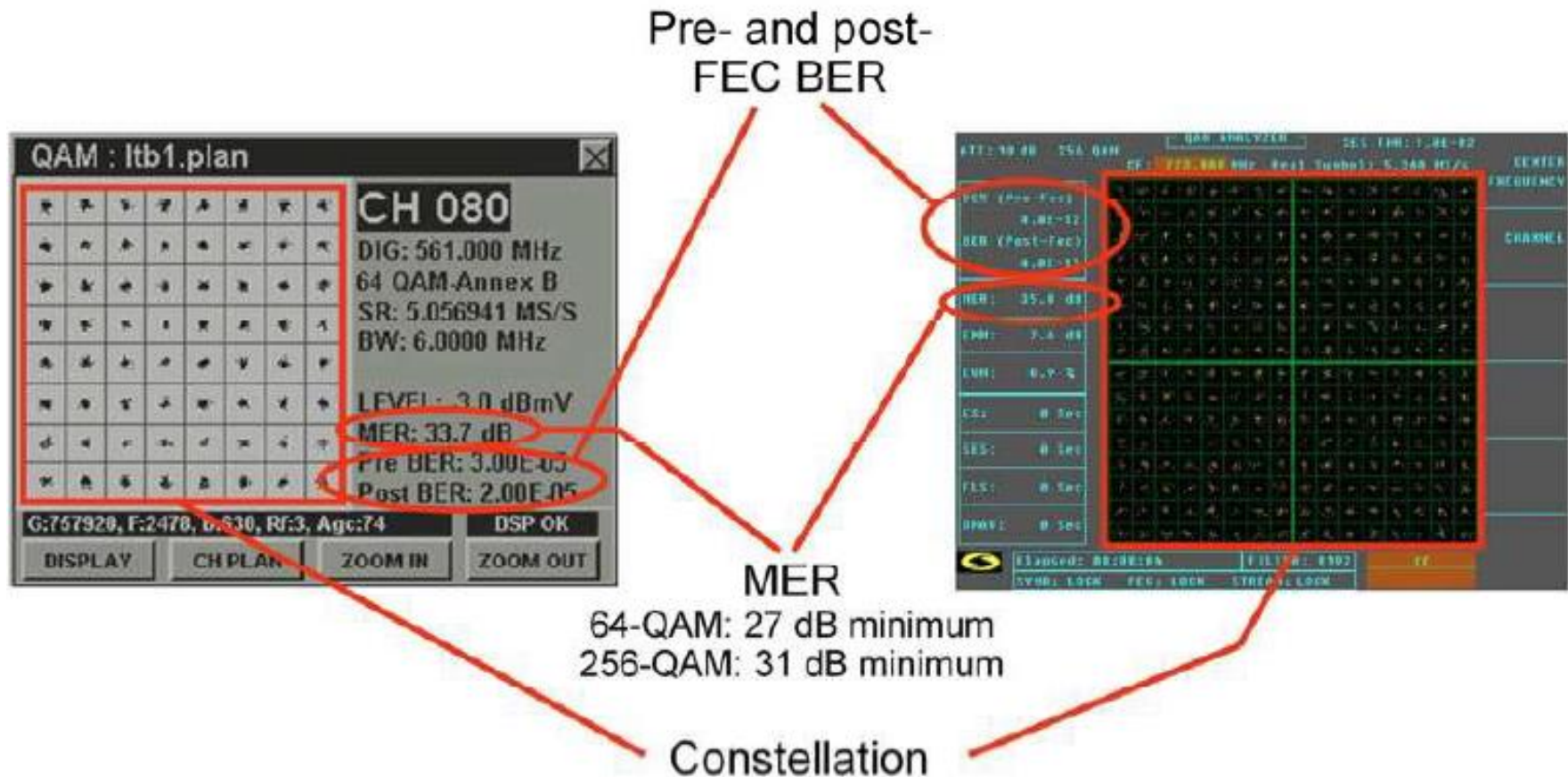


```
Cable3/0 Upstream 0 is up  
Frequency 25.392 MHz, Channel Width 3.200 MHz, QPSK Symbol Rate 2.560 Msp  
Spectrum Group is overridden  
BroadCom SNR_estimate for good packets 26.8480 dB  
Nominal Input Power Level 0 dBmV, Tx Timing Offset 2035
```

The CMTS's reported upstream
"SNR" actually is MER

Kolizija podataka i nepravilan modulacioni profil
CMTS's izveštaj "upstream SNR" (MER) mogu da
uzrokuju gubitak paketa

Downstream Performance: QAM Analyzer



Primer: downstream 64-QAM (levo) i 256-QAM (desno) digitalnih modulacionih signala

Pre BER, Post BER primeri



Pre BER: 3.00E-05
Post BER: 2.00E-05

In this example, digital channel power, MER and the constellation are fine, but pre- and post-FEC BER indicate a problem—perhaps sweep transmitter interference, downstream laser clipping, an upconverter problem in the headend, or a loose connection.

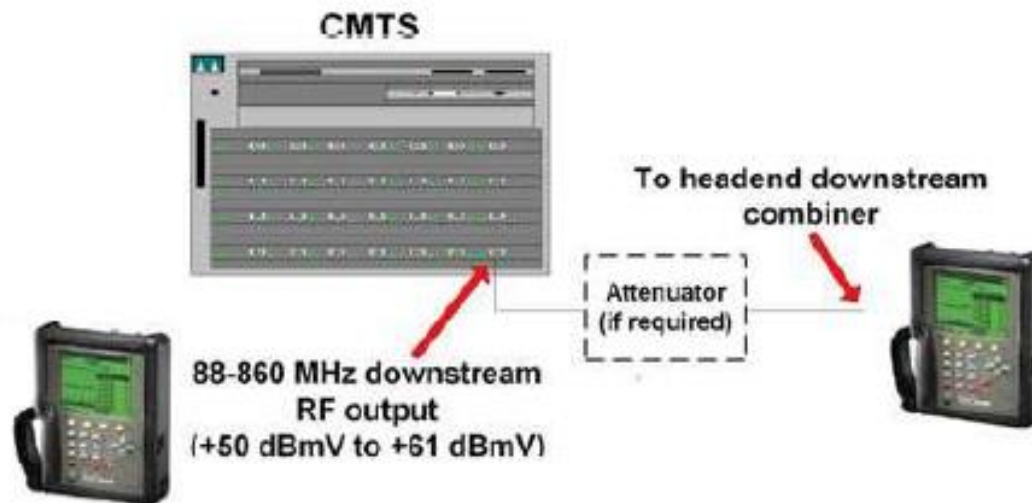
Troubleshooting—Integrated Upconverter

- Verify correct average power level

Integrated upconverter RF output should be set in the DOCSIS-specified +50 to +61 dBmV range

Typical levels are +55 to +58 dBmV

- Also check BER, MER and constellation



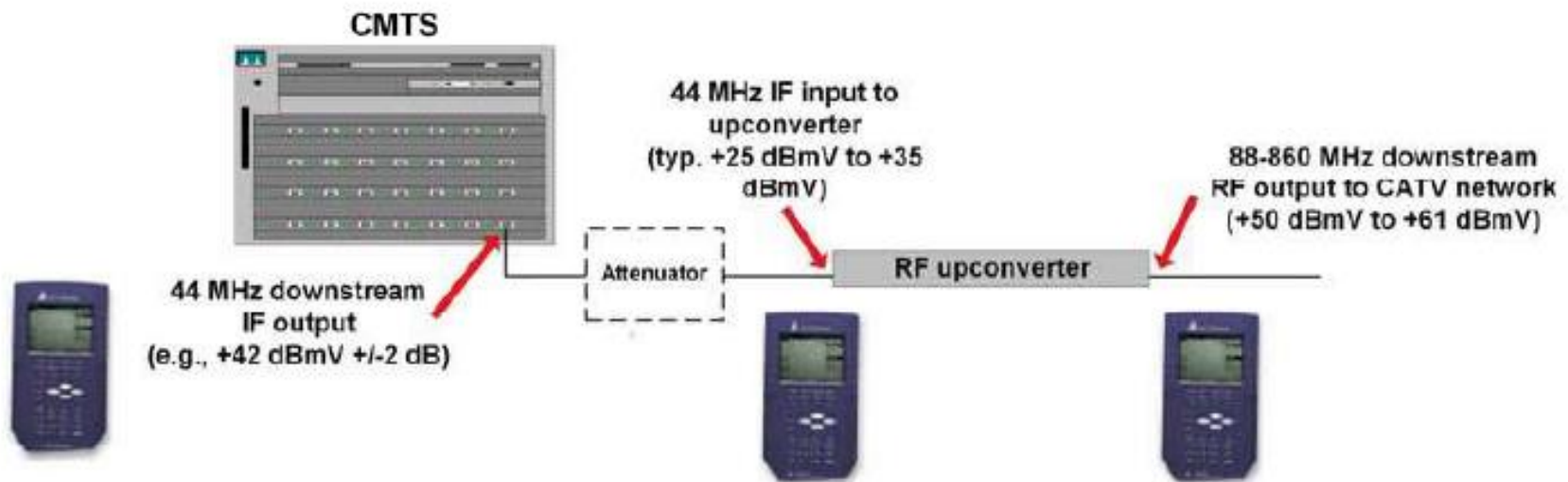
Troubleshooting—External Upconverter

- Verify correct average power level, BER, MER and constellation

CMTS downstream IF output

External upconverter IF input

External upconverter RF output



Combiner Output and Fiber Link



- Check signal levels and BER at downstream laser input and node output

Bit errors at downstream laser input but **not** at CMTS or upconverter output may indicate sweep transmitter interference, loose connections or combiner problems

Bit errors at node output but **not** at laser input are most likely caused by downstream laser clipping



Out in the Field...



- If everything checks out OK at the node, go to an affected subscriber's premises.
- Measure downstream RF levels, MER and BER, and evaluate the constellation for impairments. Look at the adaptive equalizer graph, in-channel frequency response and group delay. If your QAM analyzer supports it, repeat these measurements in the upstream.
- Measure upstream transmit level and packet loss
- Use the "divide-and-conquer" technique to locate the problem



What's Good?



- BER: Ideally, there should be no measurable bit errors shown on the QAM analyzer, anywhere in the system!

DOCSIS assumes a worst-case post-FEC BER at the cable modem input of 1×10^{-8} (1.0E-08) at specified RF input levels and carrier-to-noise ratios

- MER: The higher the better!

Good engineering practice says to keep unequalized MER 3 to 6 dB above the unequalized MER “failure threshold” for the modulation type in use

Many cable operators use the following unequalized MER values as minimum acceptable operational values: QPSK ~18 dB; 16-QAM ~24 dB; 64-QAM ~27 dB; and 256-QAM ~31 dB

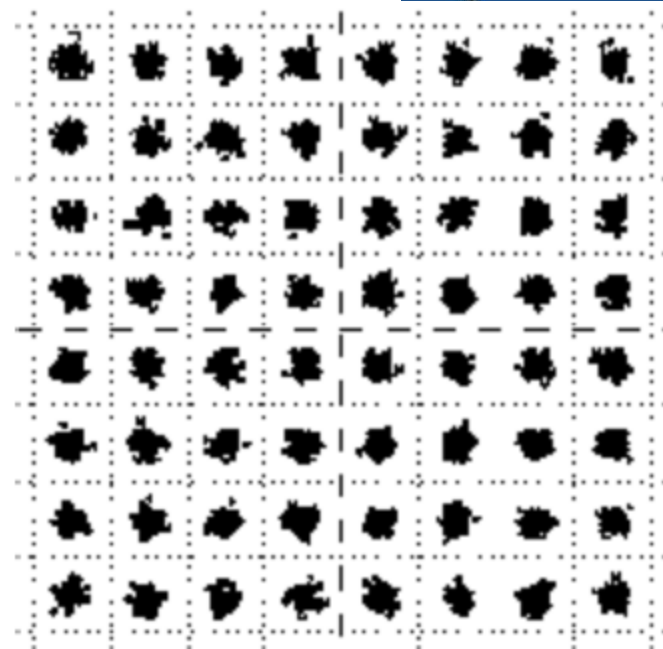
The Takeaway?



- BER and MER are not the same thing!
- BER is an estimation of the ratio of the number of errored bits to the total number of bits, typically expressed in scientific notation.
- MER is, in effect, a measure of the “fuzziness” of a data constellation’s symbol landings, and is expressed in dB. MER is somewhat analogous to baseband signal-to-noise ratio.
- Both BER and MER should be measured. The two together tell a more complete story than either by itself.

Мерење квалитета модулационог сигнала са графичким приказом (Constellation Diagram), MER

- DVB-T се анализирају хиљаде COFDM подносилаца. Опсег анализираних подносилаца се може бирати. Приказујући све констелационе дијаграме (подносиоци број 0 до 6817 или 0 до 1705) наслагане једне преко других добијамо могућност анализе квалитета модулације.



Констелациони
дијаграм за DVB-T

Мерење квалитета модулационог сигнала са графичким приказом (Constelation Diagram), MER



- Модулацијска грешка (MER) је мера од збира свих сметњи насталих на преносној линији. Као и однос сигнал/шум, обично је наведен у dB. Ако је само ефекат шума присутан, MER и S/N су једнаки.
- Резултат свих интерферентних утицаја на дигитални ТВ сигнал у широкопојасном преносу је да констелативне тачке показују одступања у односу на своје номиналне позиције у средишту зоне одлучивања. Ако су одступања превелика, границе зоне одлучивања се превазилазе и дешавају се битске грешке. Међутим, одступања од центра поља може се посматрати као дејство произвољног ометача.

Мерење квалитета модулационог сигнала са графичким приказом (Constellation Diagram), MER



- То је управо циљ једног вештачки уведеног параметара као што је MER - код мерења MER, претпоставља се да су стварни погоци у констелационом дијаграму померени од центра дејством ометача.
- Ометачима се додељују вектори грешака, уперени од центра зоне до тачке стварног места на констелационом дијаграму.
- Дужине свих ових вектора грешке се мере и формира се средња квадратна грешка или максимална вршна вредност грешке у временском прозору.

Мерење квалитета модулационог сигнала са графичким приказом (Constelation Diagram), MER

Средња и максимална (peak) вредност MER рачунају се као



$$MER_{RMS} = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} (|error_vector|)^2}}{U_{RMS}} \cdot 100\%$$

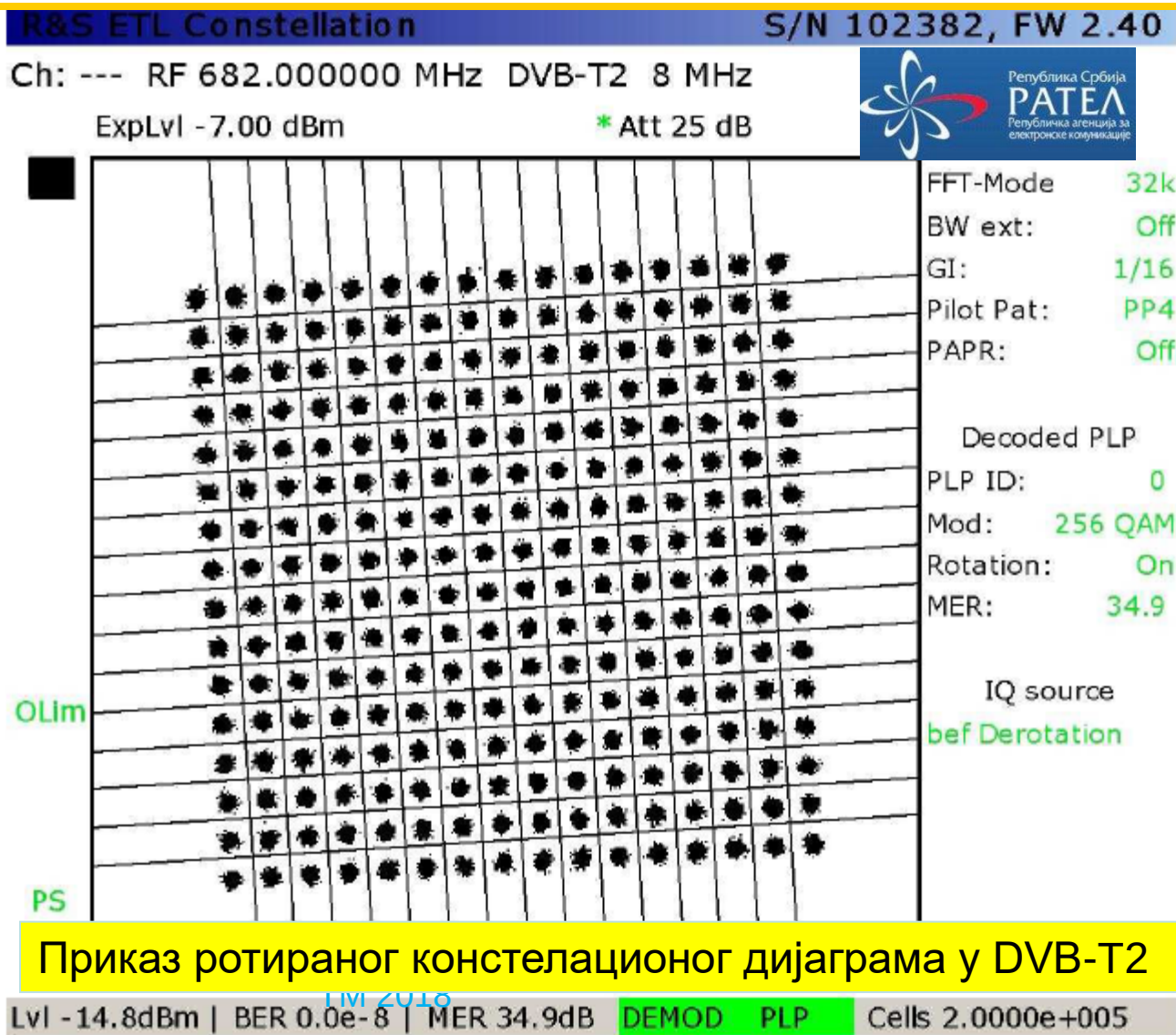
$$MER_{PEAK} = \frac{\max(|error_vector|)}{U_{RMS}} \cdot 100\%$$

у децибелима

$$MER_{dB} = 20 \cdot \lg\left(\frac{MER[\%]}{100}\right); \quad [dB]$$

Мерење квалитета модулационог сигнала са графичким приказом (Constellation Diagram), MER

ТВ DVB-T2
предајник ради и
са QAM256. Да
би се правилно
оценио квалитет
предајника
(линеарна, фазна
и фреквенцијска
изобличења) кроз
све напонске и
фазне нивое за
сваки носилац
понаособ снима
се констелациони
дијаграм коме је
дозвољена
ротација

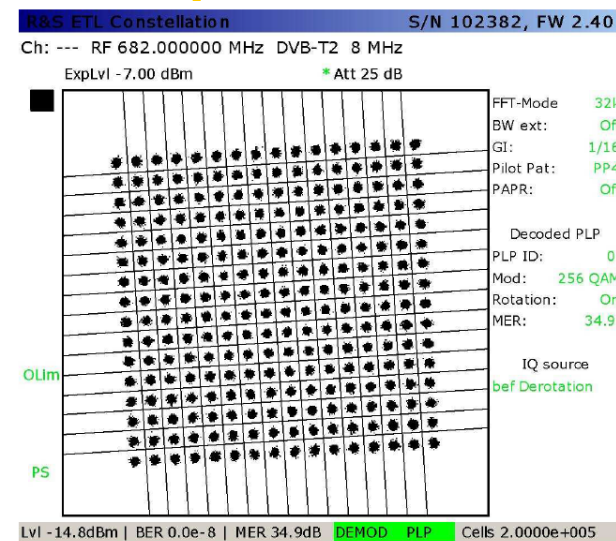


Приказ ротираног констелационог дијаграма у DVB-T2

Мерење квалитета модулационог сигнала са графичким приказом (Constellation Diagram), MER



- Мерење се обавља мерним пријемником
- Нумерички резултат се приказује за средњу вредност MER и не сме да буде мањи од:
 - За предајнике >34.0 dB
 - За репетиторе >27.0 dB
- Резултат мерења се уписује у Извештај у рубрику „MER“ изражен у dB са једним децималним местом.
- Констелациони дијаграм са параметрима сетовања предајника је обавезан прилог уз мерни протокол



Profesor dr Miroslav Lutovac
mlutovac@viser.edu.rs

Ova prezentacija je nekomercijalna.

Slajdovi mogu da sadrže materijale preuzete sa Interneta, stručne i naučne građe, koji su zaštićeni Zakonom o autorskim i srodnim pravima.

Ova prezentacija se može koristiti samo privremeno tokom usmenog izlaganja nastavnika u cilju informisanja i upućivanja studenata na dalji stručni, istraživački i naučni rad i u druge svrhe se ne sme koristiti –

Član 44 - Dozvoljeno je bez dozvole autora i bez plaćanja autorske naknade za nekomercijalne svrhe nastave:

(1) javno izvođenje ili predstavljanje objavljenih dela u obliku neposrednog poučavanja na nastavi;

- ZAKON O AUTORSKOM I SRODNIM PRAVIMA

("Sl. glasnik RS", br. 104/2009 i 99/2011)