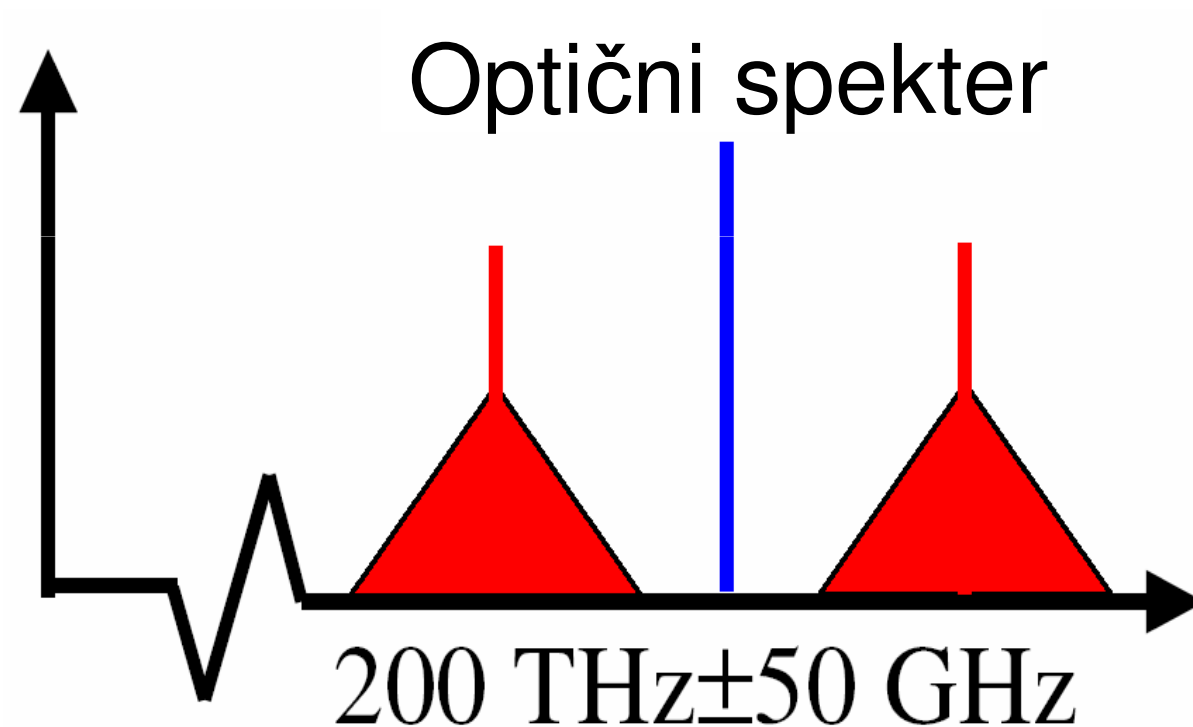


# Radio po vlaknu (ROF)



Mobitel d.d.,  
izobraževanje

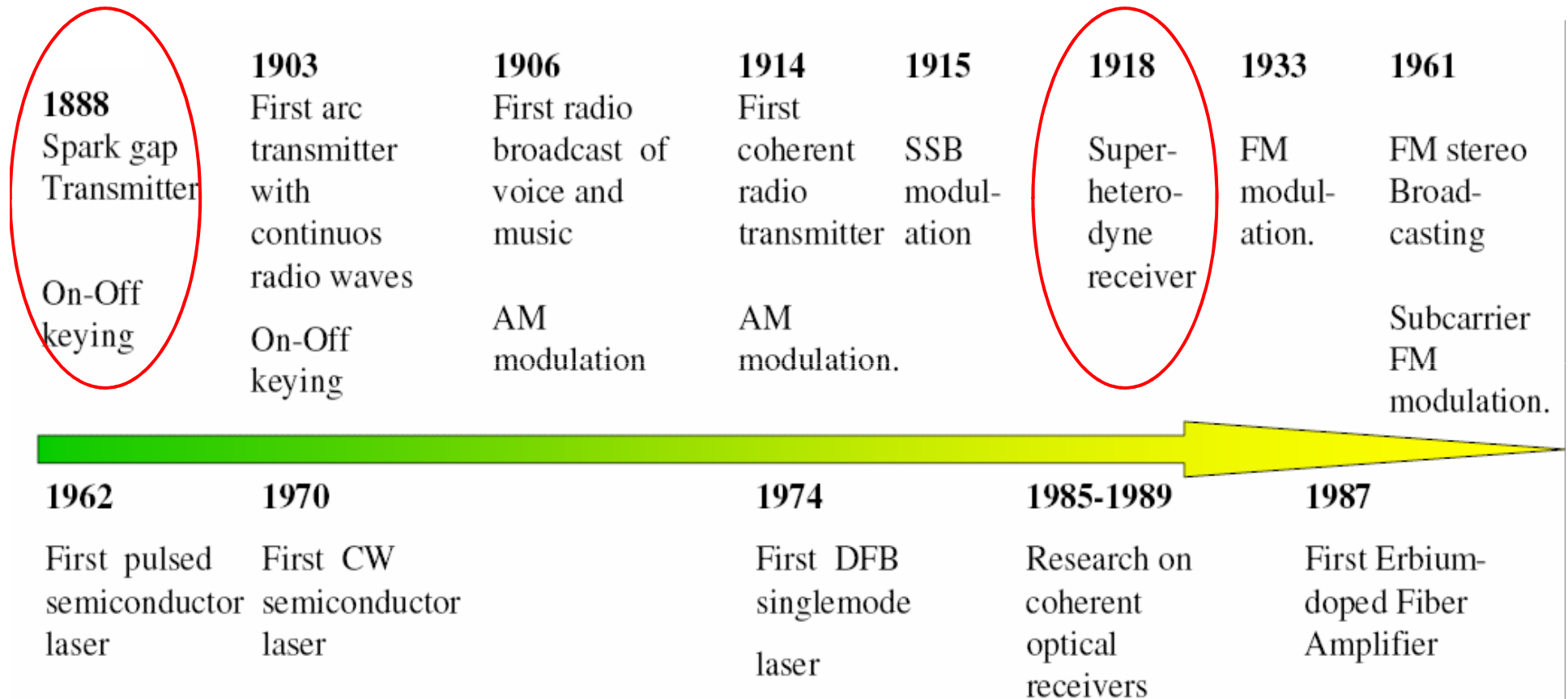
3.12. 2010,  
predavanje 21

Prof. dr. Jožko  
Budin

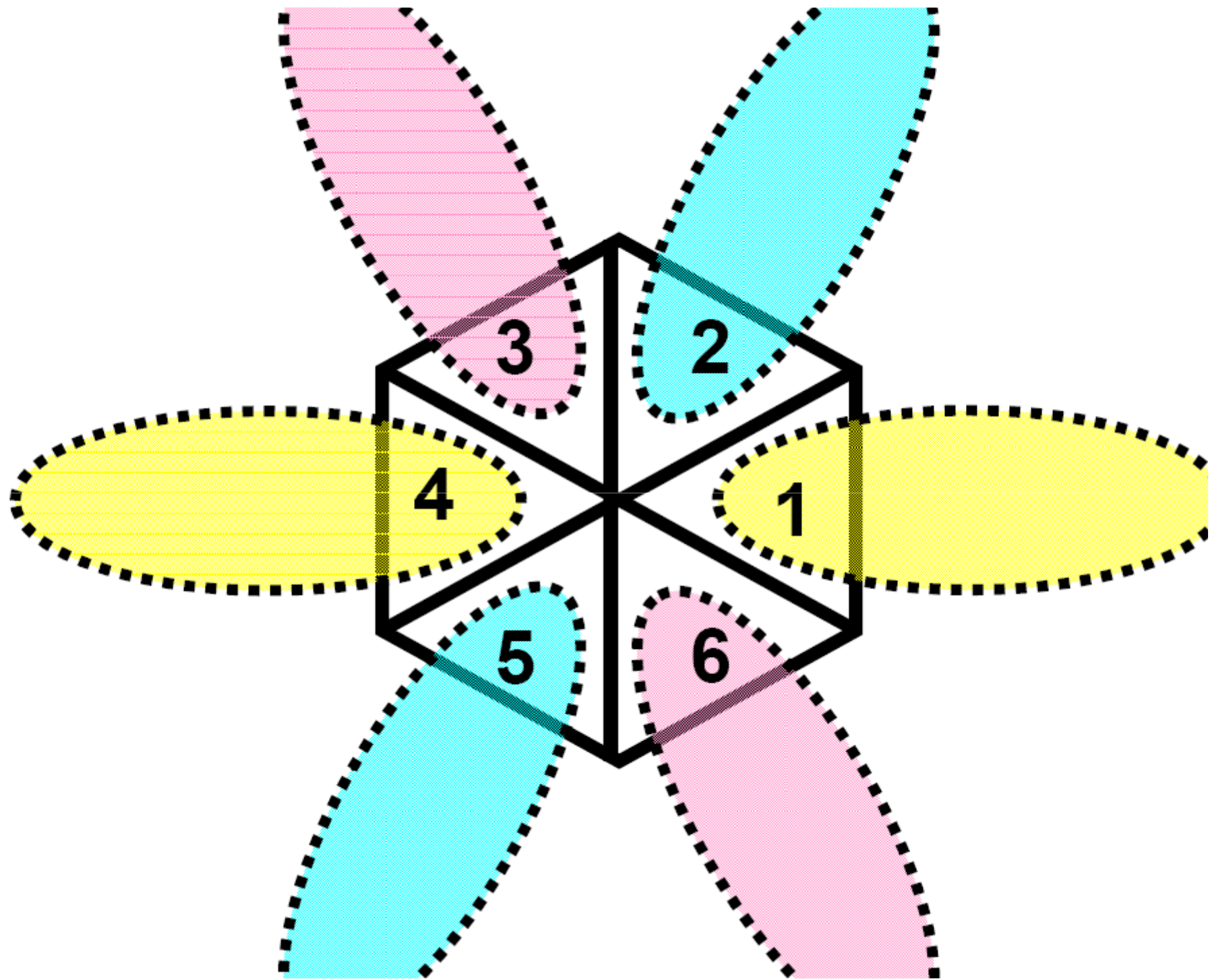
# Vsebina

1. Kje in zakaj uporabljamo ROF
2. IF in RF ROF
3. Učinek kromatske disperzije
4. Optični enobočni prenos
5. Naprave
6. SCM ROF
7. WDM ROF
8. Optična generacija mikrovalov

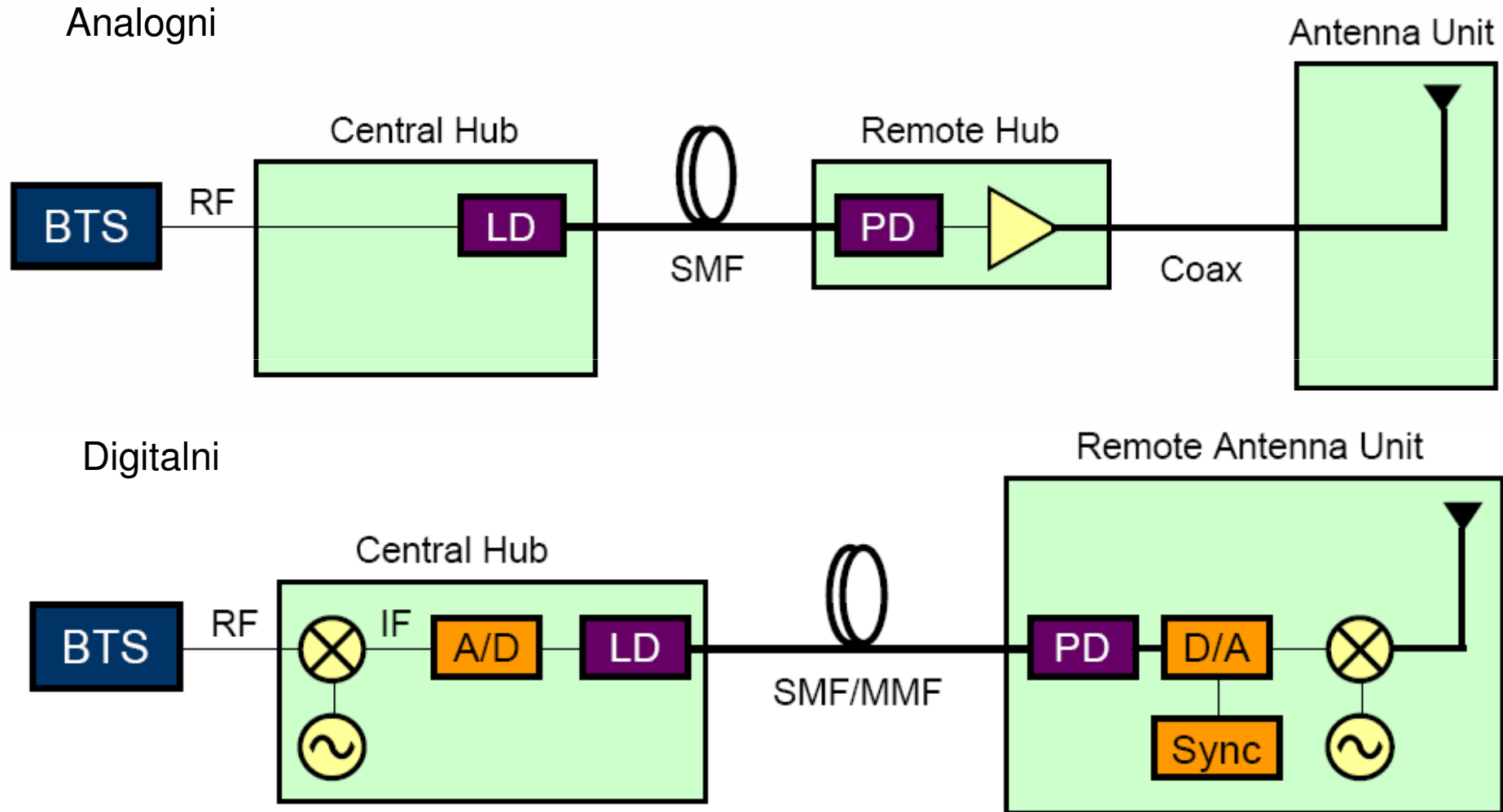
# Razvoj radia in fotonike



Mnogi danes delujoči sistemi optičnih komunikacij še vedno uporabljajo najpreprostejšo tehniko OOK – NRZ, katere začetki segajo v leto 1888!

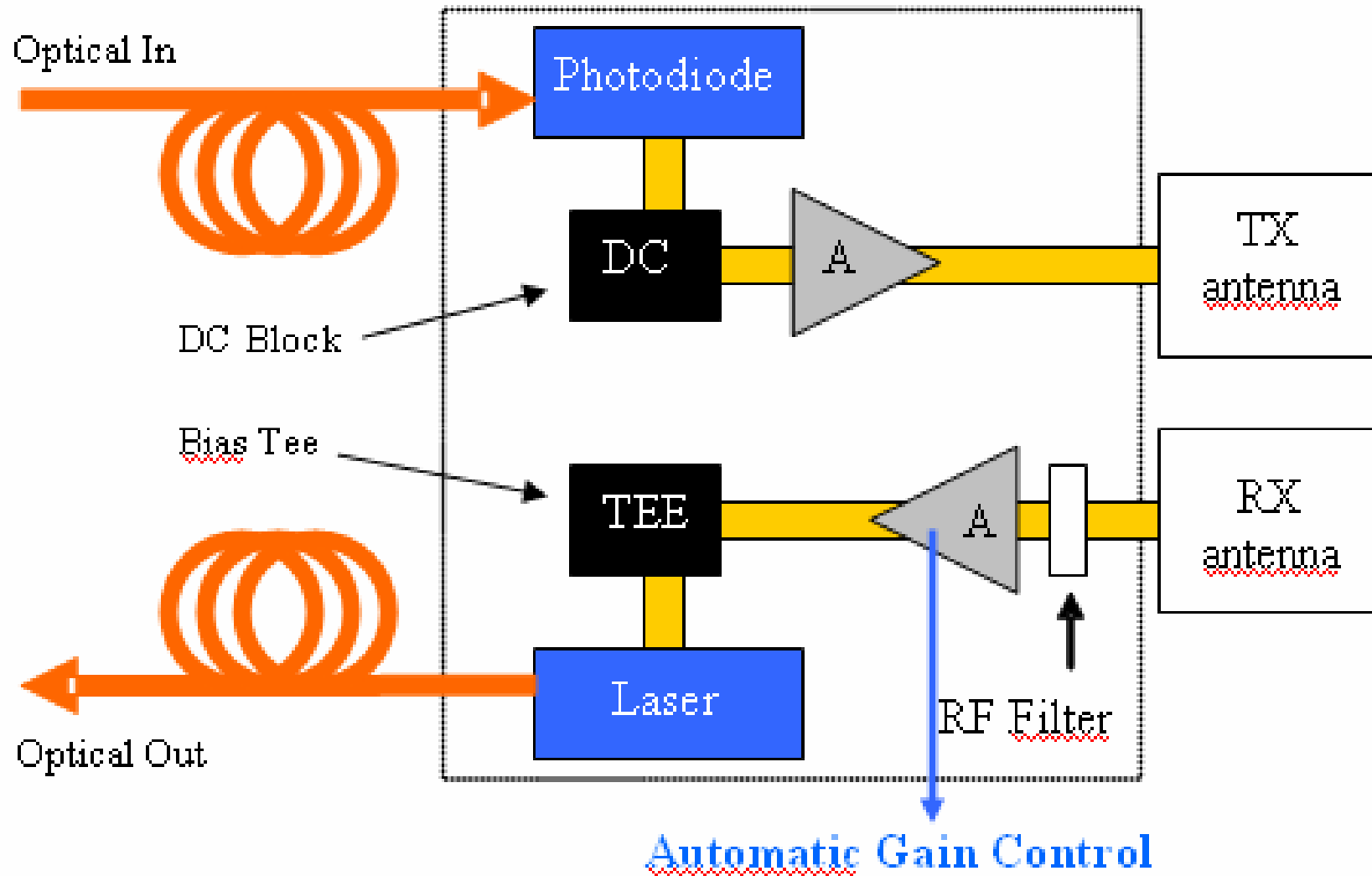


# Analogni in digitalni prenos radia

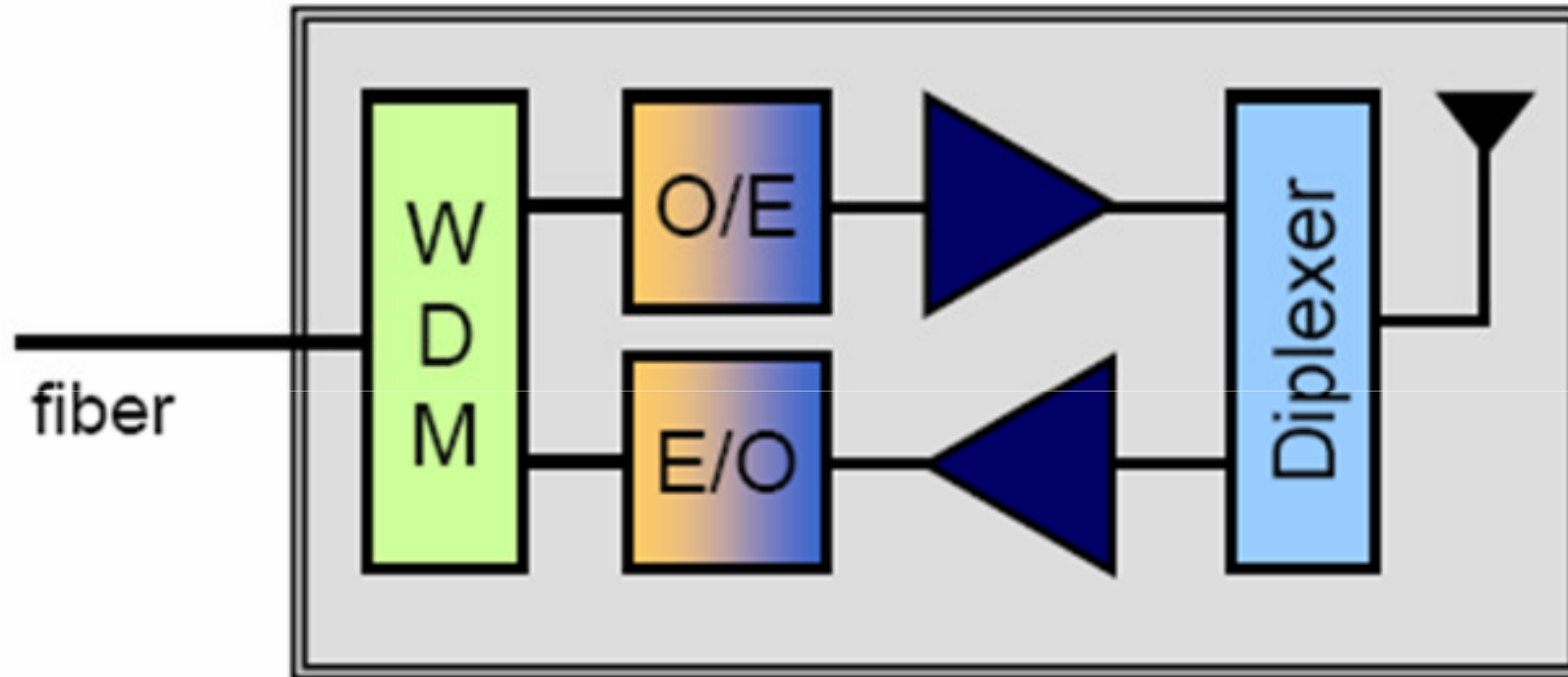


# ROF dotok in odtok

6



# Bazna postaja

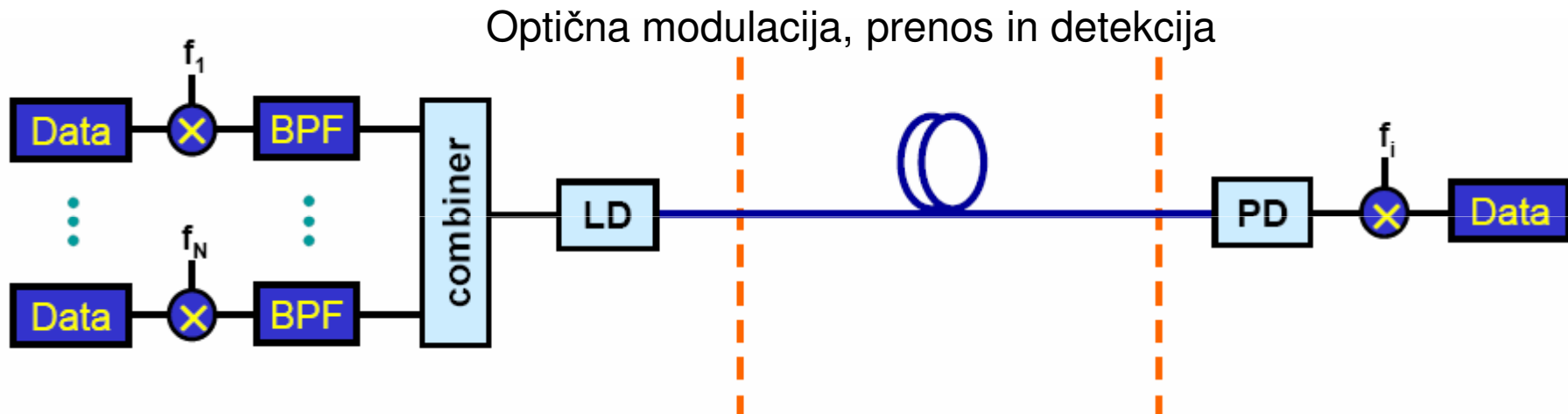


# Radijsko razvrščanje in optični prenos <sup>8</sup>

- SCM Sub-Carrier Multiplexing

Razvrščanje SCM po radijskih podnosilnikih

Konverzija na radijsko frekvenco

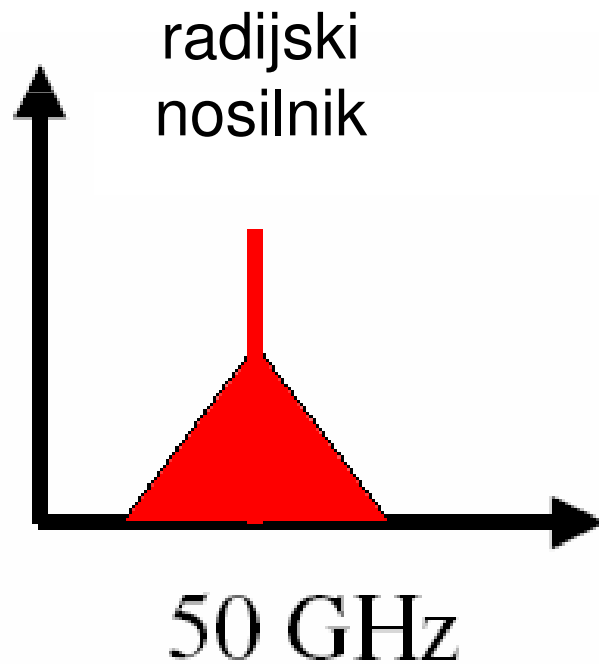


Lasersko diodo moduliramo s sestavljenim radijskim signalom, ki smo ga razvrstili na radijskih podnosilnikih. Na ta način lahko prenašamo veliko količino informacije oz. veliko število radijskih in TV programov hkrati.

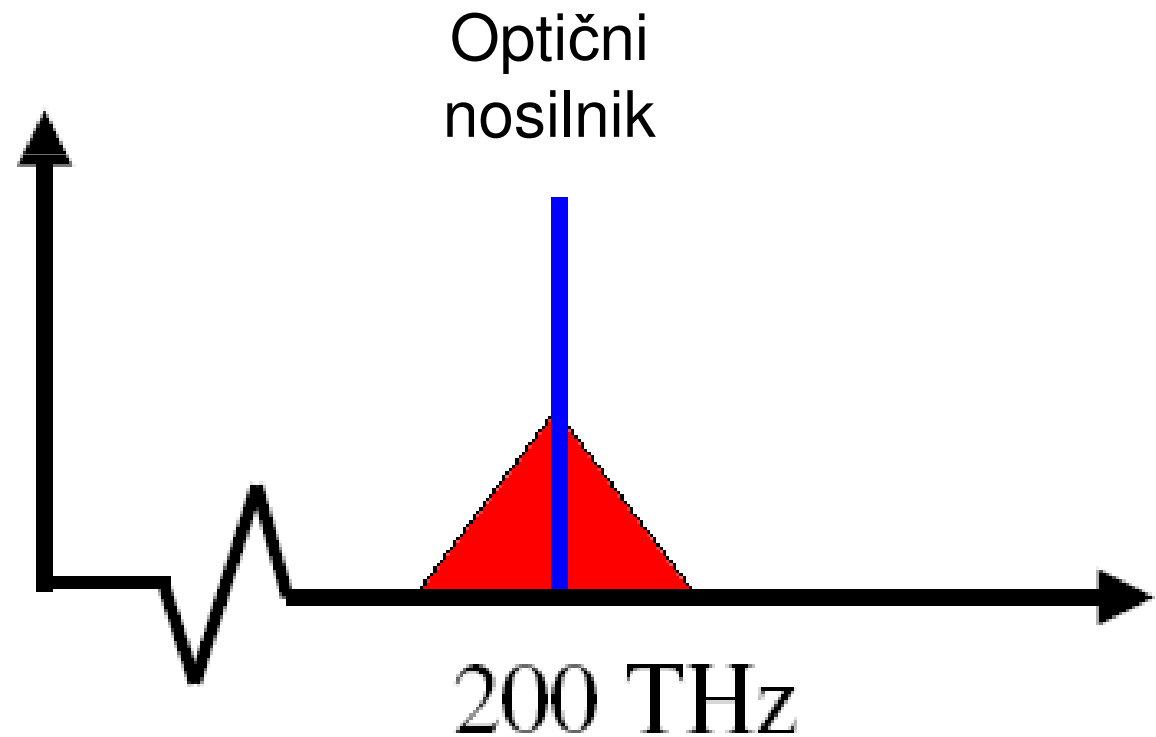


# ROF: radijski in optični nosilnik

Radijski spekter

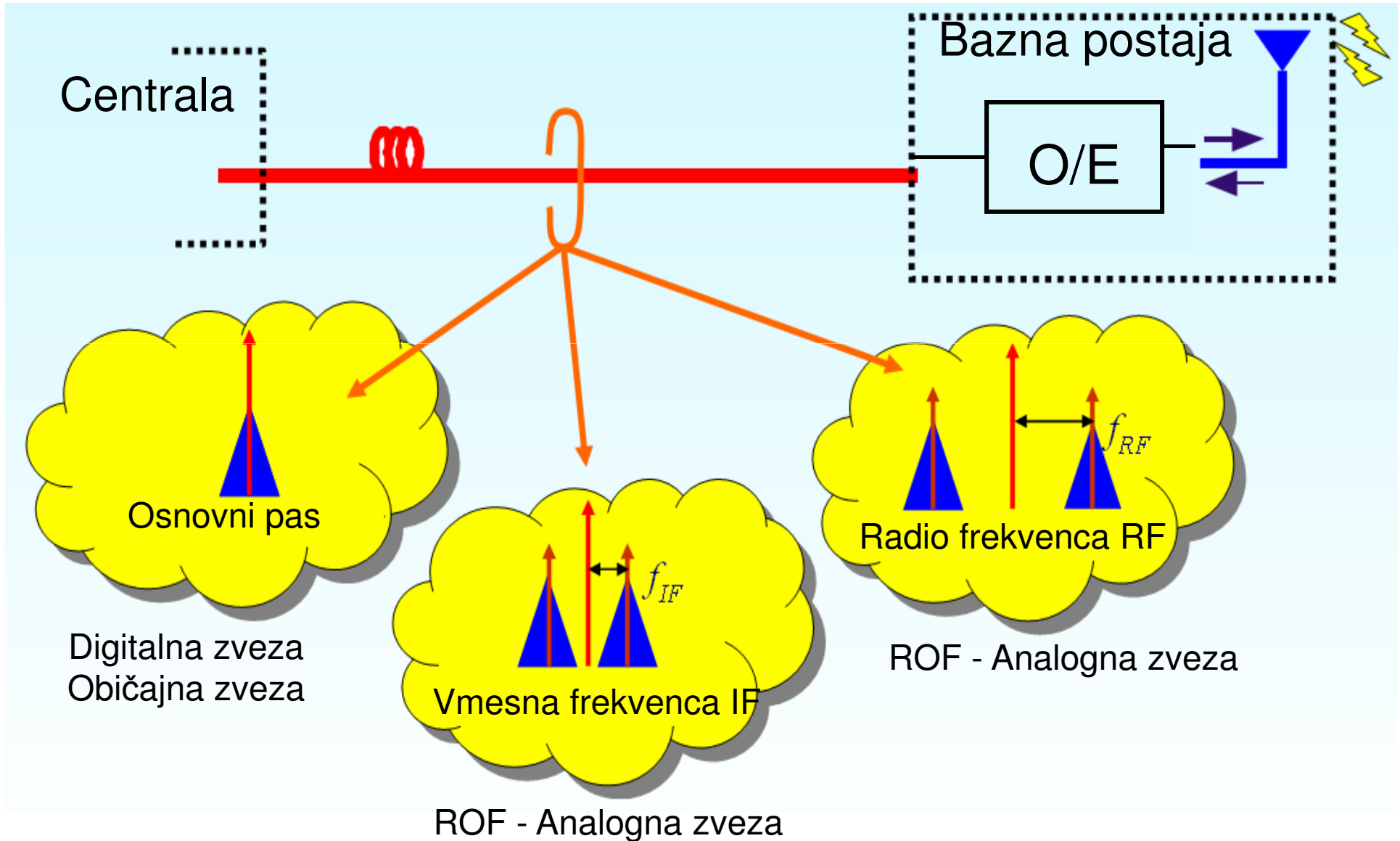


Optični spekter



# Vrste ROFa

1. Osnovni pas po vlaknu      2. IF po vlaknu      3. RF po vlaknu



# IF-ROF in RF-ROF

## 1. Električni nosilnik na vmesni frekvenci IF

Frekvenca  $f_{IF}$  električnega podnosilnika je mnogo nižja od končne radijske frekvence  $f_{RF}$  bazne postaje. Vmesno frekvenco pri prenosu po vlaknu uporabljamo zato, da so učinki disperzije vlakna manjši in doseg zveze večji. V bazni postaji z mešanjem detektiranega signala z lokalnim oscilatorjem dvignemo frekvenco na  $f_{RF}$ .

## 2. Električni nosilnik na končni frekvenci RF

Prenos po vlaknu poteka na končni radijski frekvenci, če disperzija vlakna pri frekvenci  $f_{RF}$  ne zmanjšuje dosega zveze. Frekvenčna konverzija ni potrebna, zato je bazna postaja preprostejša.

## 3. Prenos signala osnovnega pasu

Običajna optična zveza.

# Radio po vlaknu (ROF)

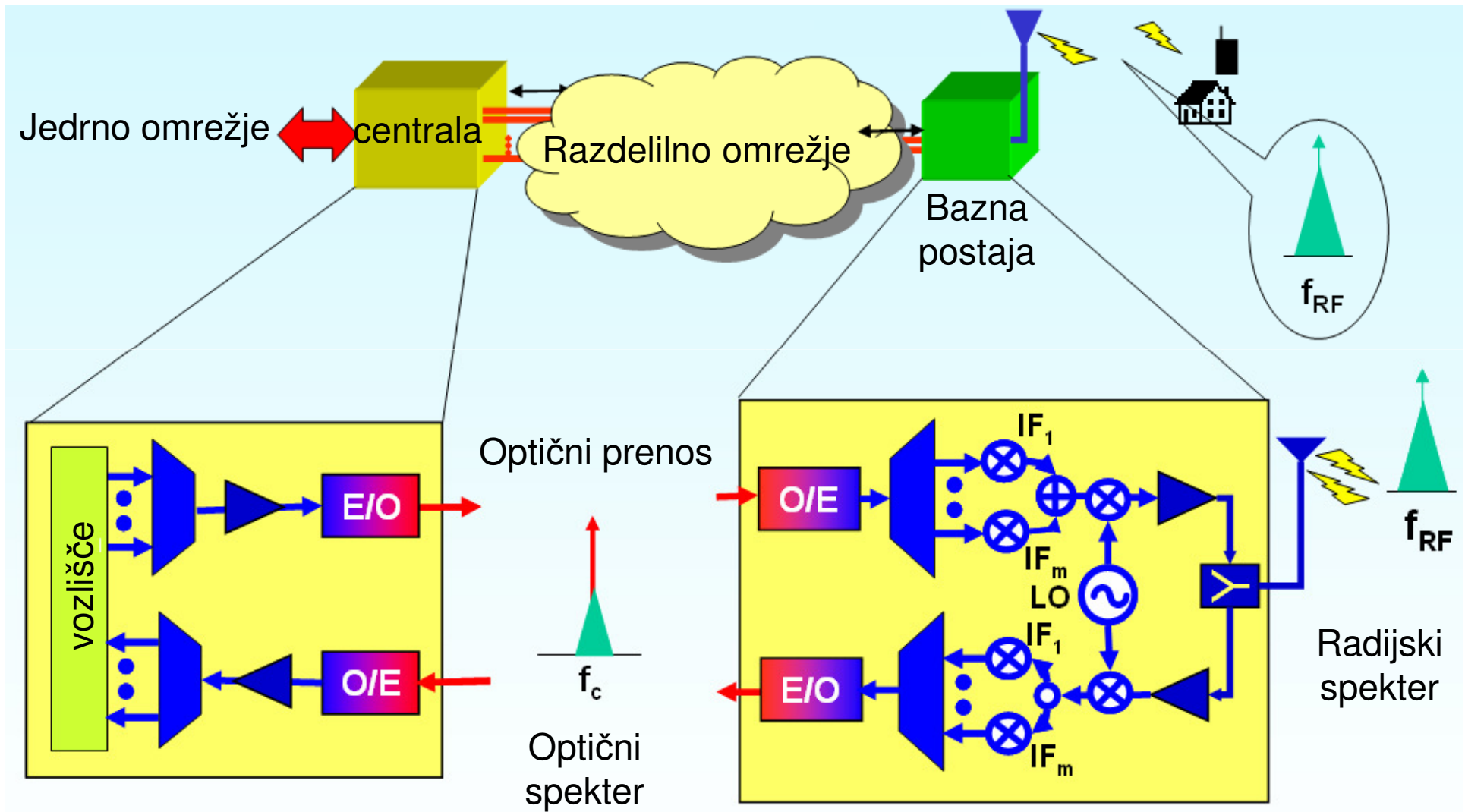
## Kaj je Radio po vlaknu?

- Svetlobo moduliramo z radijskim signalom (npr. CATV, WiMax) in jo po vlaknu prenašamo do radijske bazne postaje, kjer izluščimo radijski signal z demodulacijo in ga preko antene prenašamo do radijskih uporabnikov.
- **Primer RF:** Z radijskim signalom končne frekvence RF (npr.  $> 10$  GHz) v centrali moduliramo optični vir in optični signal v bazni postaji detektiramo, detektiran radijski signal ojačimo in vodimo v anteno. V tem primeru frekvenčna konverzija radijskega signala ni potrebna.
- **Primer IF:** Z radijskim signalom vmesne frekvence  $< 10$  GHz moduliramo optični vir. Optični signal v bazni postaji detektiramo, detektiran signal vmesne frekvence ojačimo, ga konvertiramo v radijsko frekvenco RF in vodimo v anteno.
- ROF je preprosta dostopovna tehnika, ki zadovolji namenu prenosa in je cenovno dostopnejša v raznovrstnih aplikacijah.
- ROF ima zvezo navzdol (dotok) in zvezo navzgor (odtok).

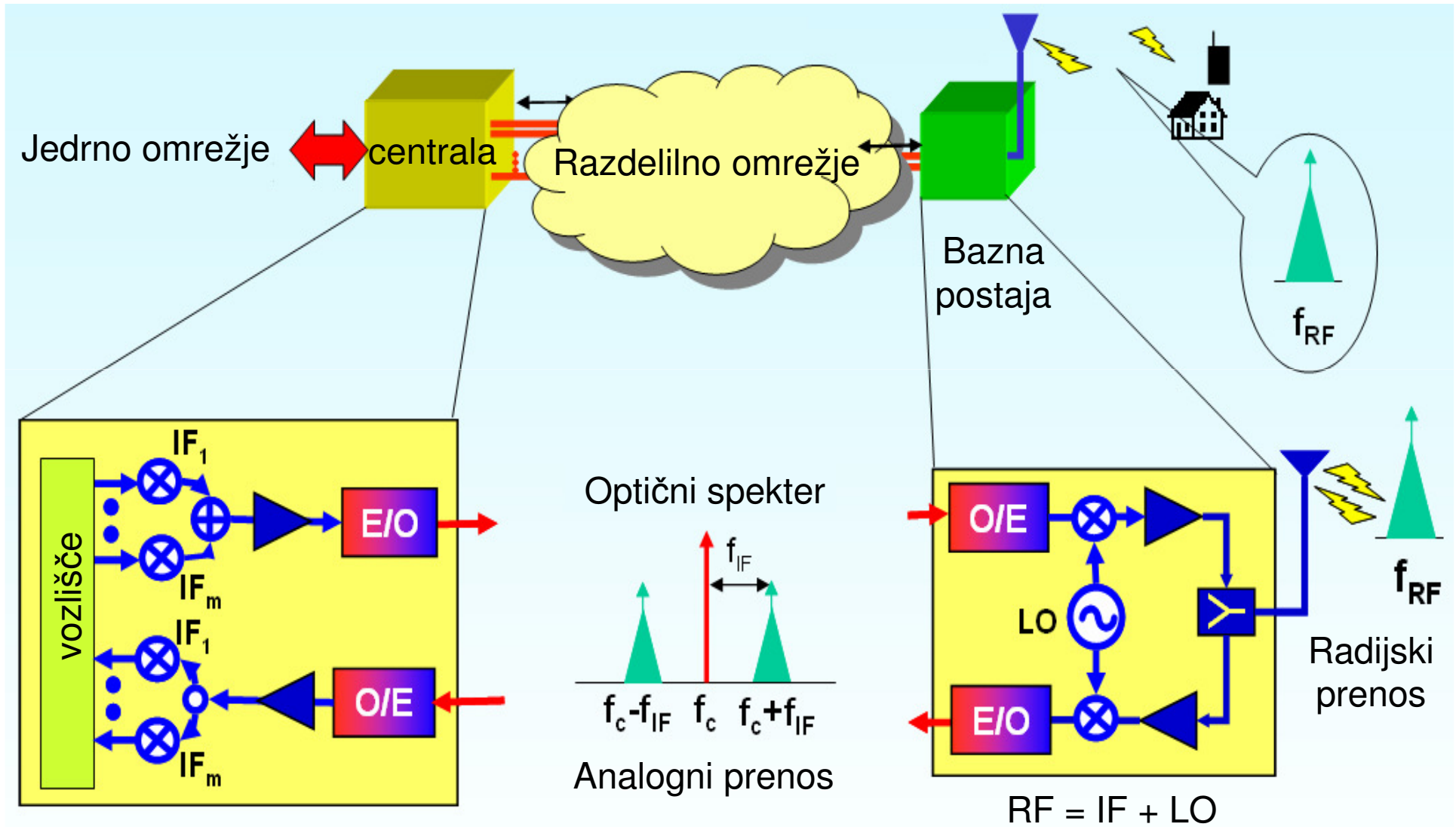
# Značilnosti ROFa

- Modulacija radijskega podnosilnika s prenašanim podatkovnim signalom je praviloma digitalna. Uporablja preprost digitalni format npr. QPSK ali podobno.
- Optični signal uporablja intenzitetno modulacijo (IM) in direktno detekcijo (DD). Novejši digitalni formati in druge novejša tehnologije niso izključeni.
- Razmislek o uporabi koherentne detekcije je aktualen.

# Osnovni pas po vlaknu

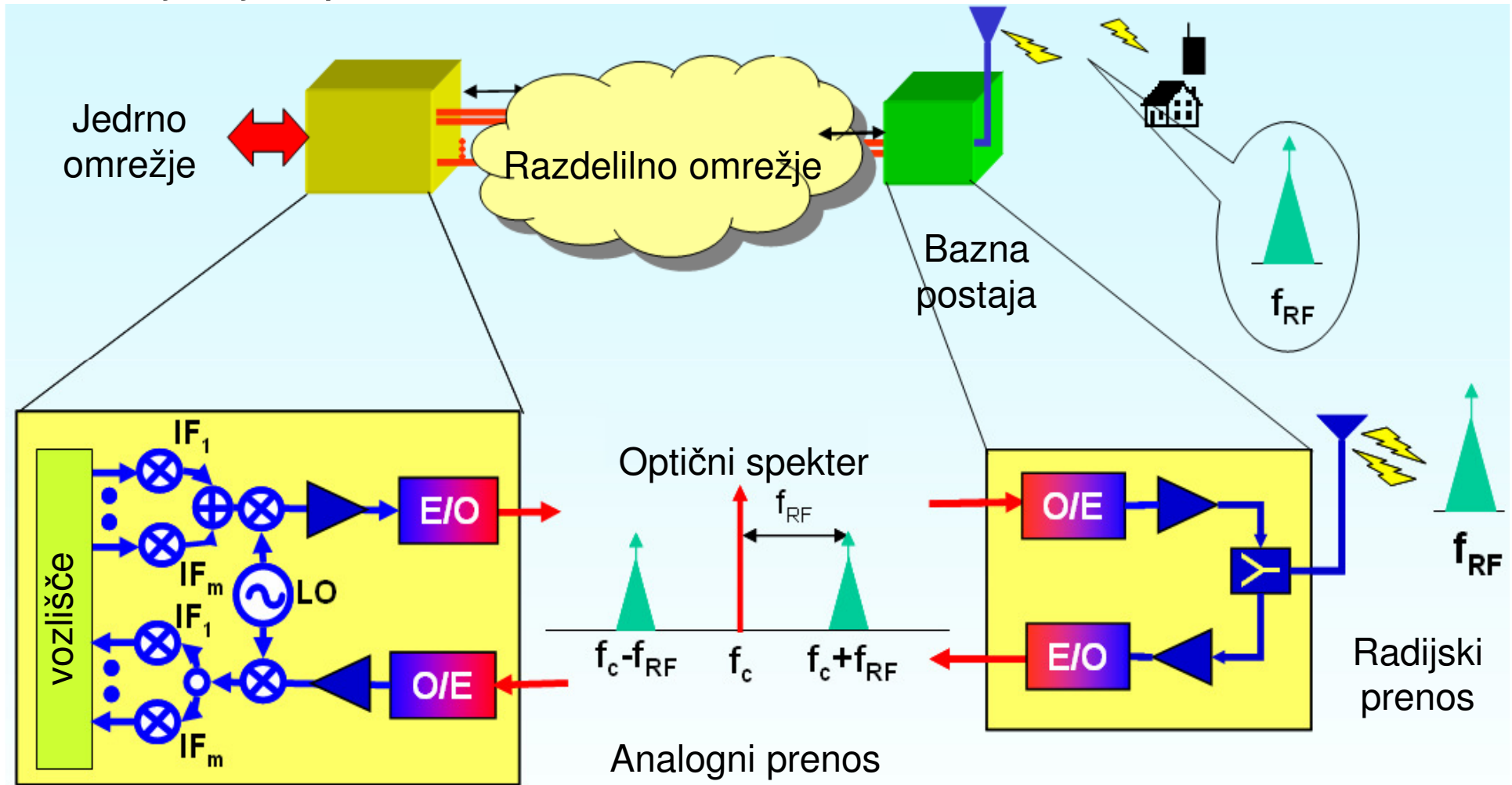


# Medfrekvenca (IF) po vlaknu



# Radio (RF) po vlaknu

- Najbolj neposredna zveza:





# Odvisnost moči od kromatske disperzije<sup>17</sup>

Na izhodu iz modsuliranega laserja ima optični signal nosilno komponento in dve bočni komponenti, ki imata različno fazno zakasnitev:

$$E_T = A_0 \{ J_0(m) \cos(\omega_0 t + \phi_0) - J_1(m) \cos[(\omega_0 + \omega_{RF})t + \phi_1] - J_1(m) \cos[(\omega_0 - \omega_{RF})t + \phi_2] \};$$

Barvna disperzija v vlaknu povzroča, da se vsaka izmed bočnih frekvenc širi z različno fazno zakasnitvijo glede na nosilno komponento spektra. Zakasnitev je odvisna od dolžine vlakna  $L$ , modulacijske frekvence  $f_{RF}$  in koeficienta disperzije vlakna  $D$  v ps/km/nm. Polje  $E_R$  na koncu vlakna je glede na polje  $E_T$  na začetku vlakna tolikšno:

$$E_R \cong E_T \exp \left\{ -\alpha L + j \left[ \beta(\omega_0) + \frac{\partial \beta}{\partial \omega} \Big|_{\omega_0} (\omega - \omega_0) + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 \beta}{\partial \omega^2} (\omega - \omega_0)^2 + \dots \right] L \right\}$$

Po demodulaciji na diodi PIN je izhodna moč radijskega signala sorazmerna:

$$P_{OUT} \propto \cos^2 \left( \frac{\phi_1 - \phi_2}{2} \right) = \cos \left[ \pi L c D \left( \frac{f_{RF}}{f_0} \right)^2 \right];$$

# Prehod na optični enobočni prenos

Direktna modulacija laserja daje signal z dvema bočnima komponentama (ODSB), kjer se bočni komponenti, ki prenašata informacijo, med seboj interferirata ter lahko prideta v protifazo in se izničita pri naslednji vrednosti RF

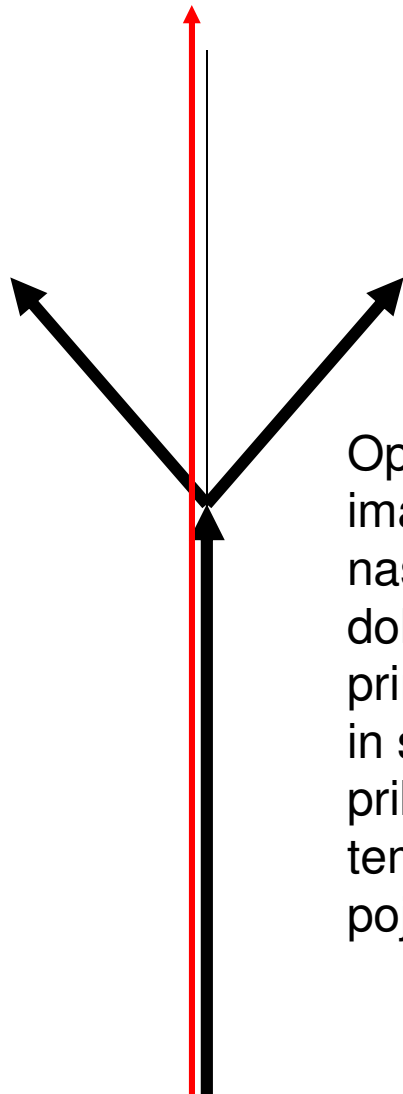
$$f_{TO} = f_0 \sqrt{N / 2LcD};$$

Da bi se temu izognili, uporabimo enobočni prenos (OSSB).

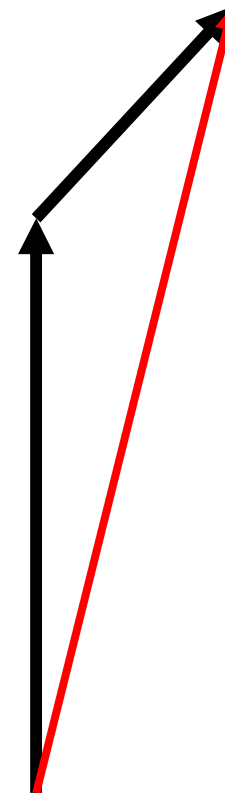
N je red izničenja.

# Dvobočni in enobočni prenos

Dvobočni prenos



Enobočni prenos

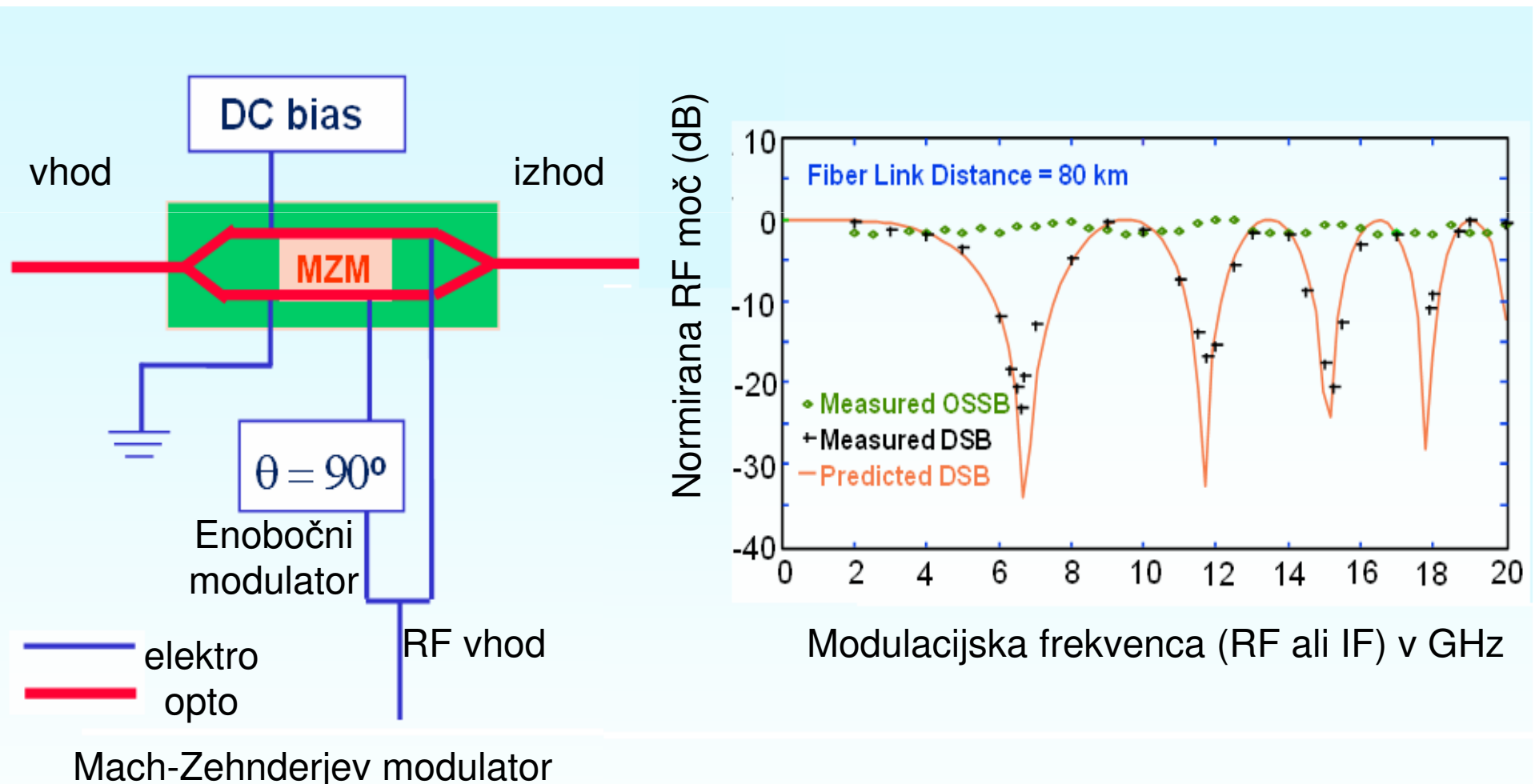


RF  
signali

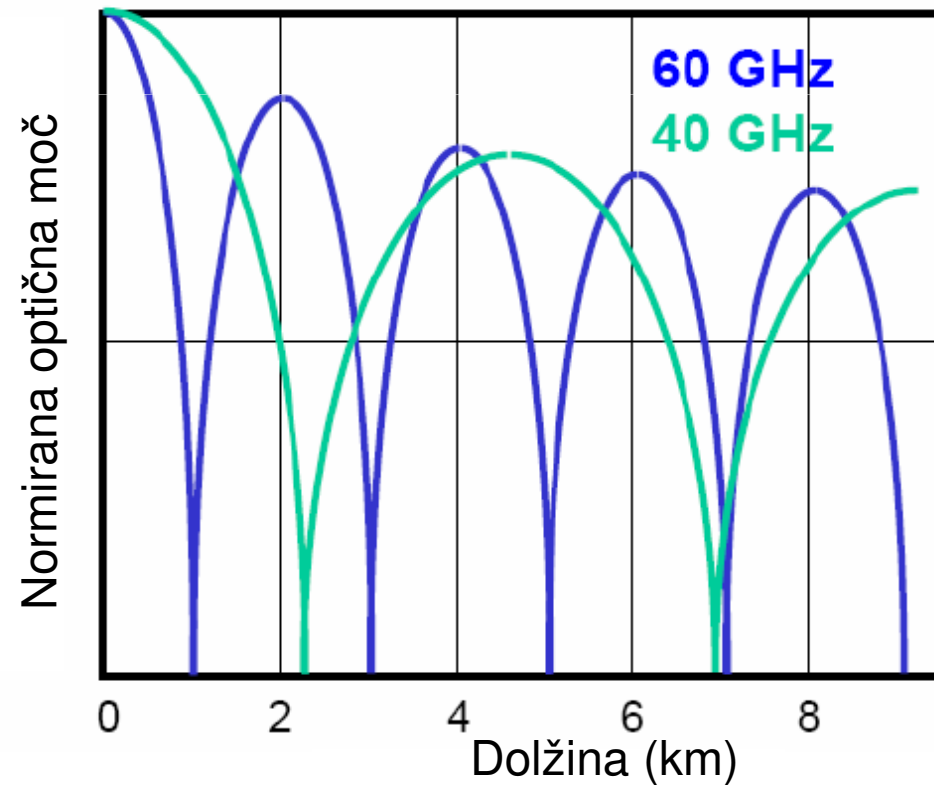
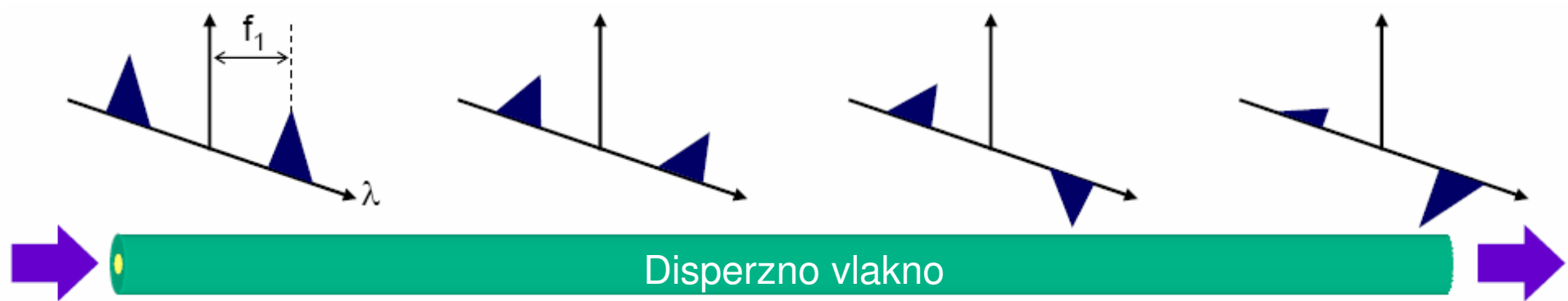
Optična bočna pasova spektra imata glede na srednjo frekvenco nasprotno fazno zakasnitev, ki se z dolžino vlakna povečuje. V kritičnem primeru postane fazni zasuk  $\pm \pi/2$  in se lahko bočna pasova med seboj približno izničita. RF signal se na tem mestu močno oslabi. Tega pojava pri enobočnem prenosu ni.

# ROF – Eno- in dvobočni prenos

- Dvobočni prenos (ODSB) je pri visoki RF lahko pomanjkljiv.
- Enobočni prenos (OSSB) kljub disperziji vlakna omogoča prenos po vlaknu na velike razdalje in pri visokih RF frekvencah:

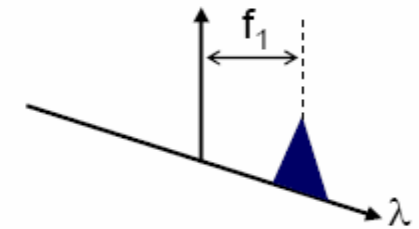
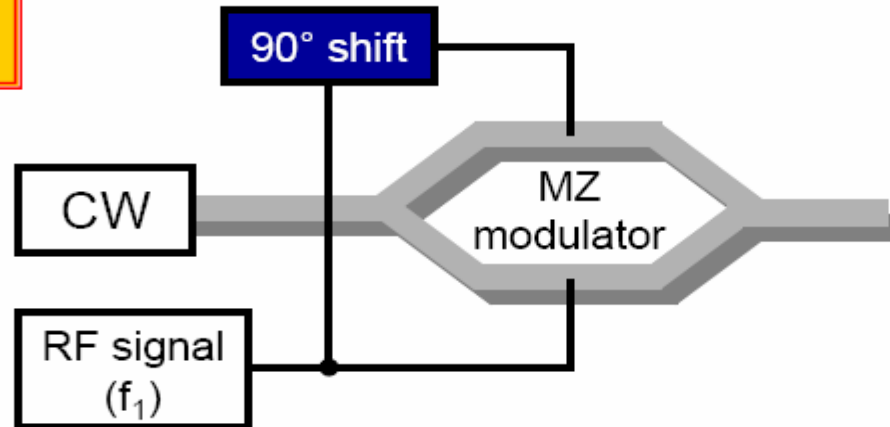


# Učinek disperzije pri dvobočnem prenosu <sup>21</sup>

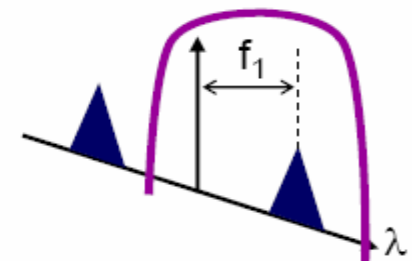
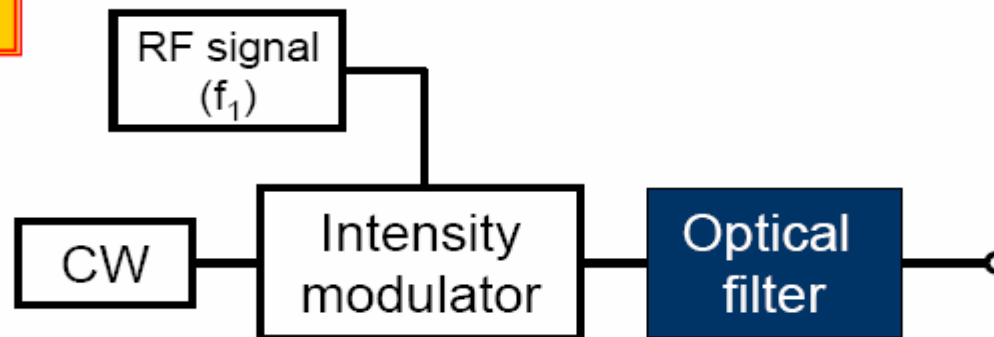


# Načina modulacije OSSB

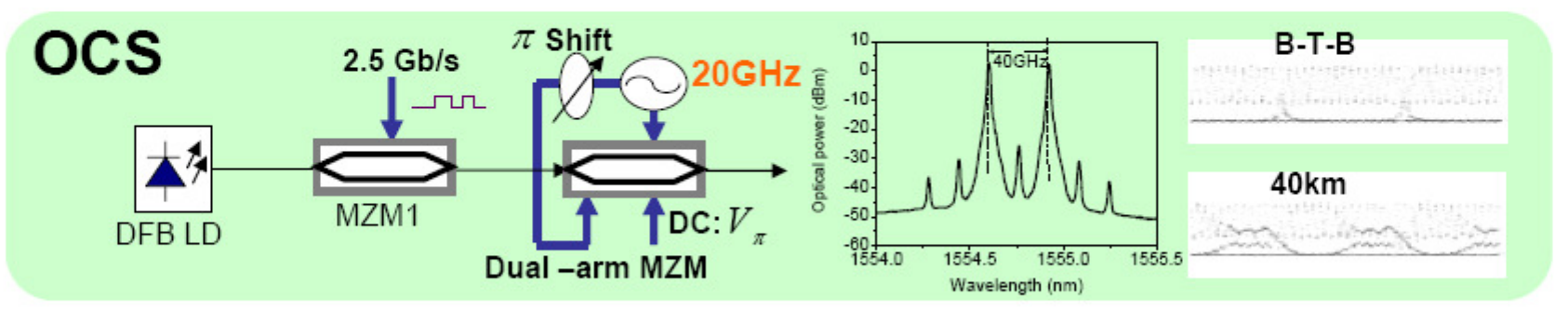
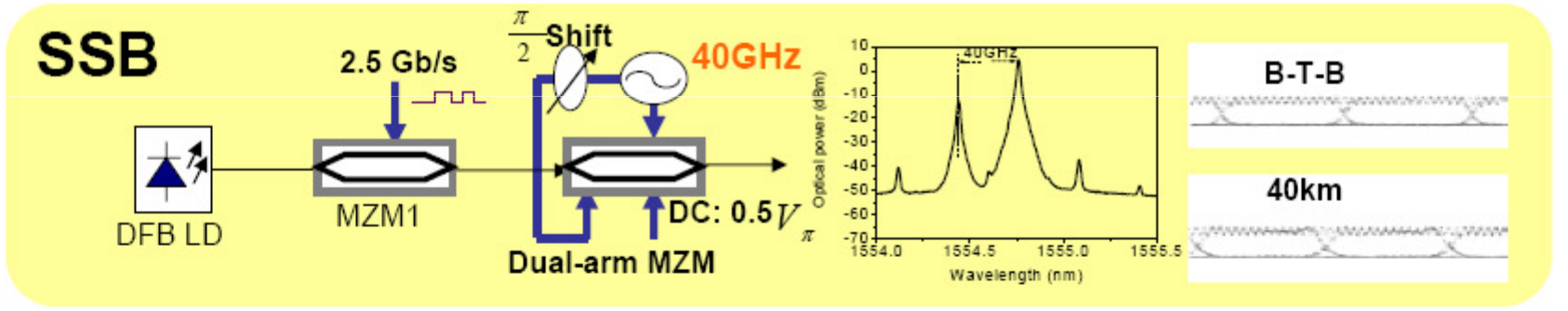
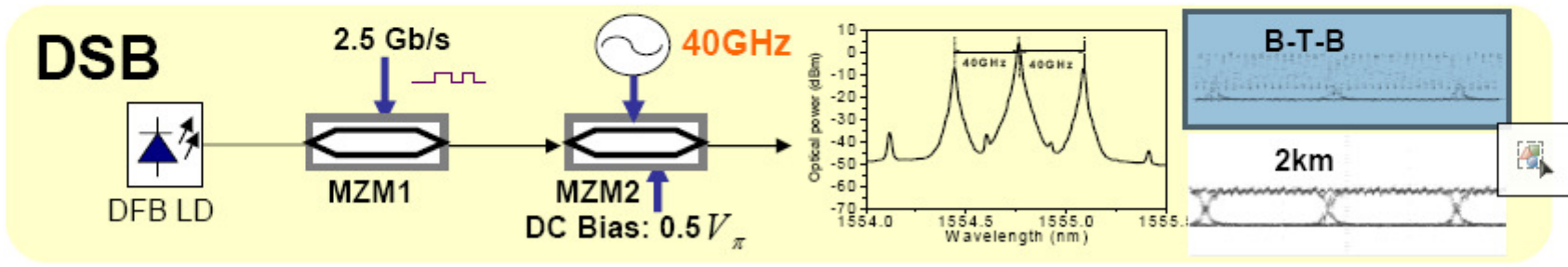
Hilbert Transform



Optical Filtering



# Up-Conversion Based on External Modulation

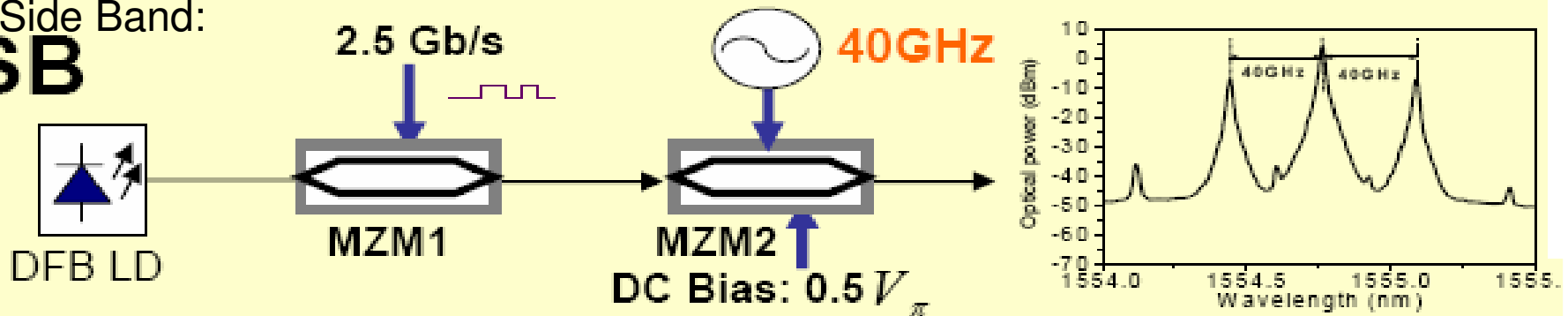


DSB: Double sideband; SSB: Single sideband; OCS: Optical carrier suppression

# Konverzija navzgor z zunanjo modulacijo

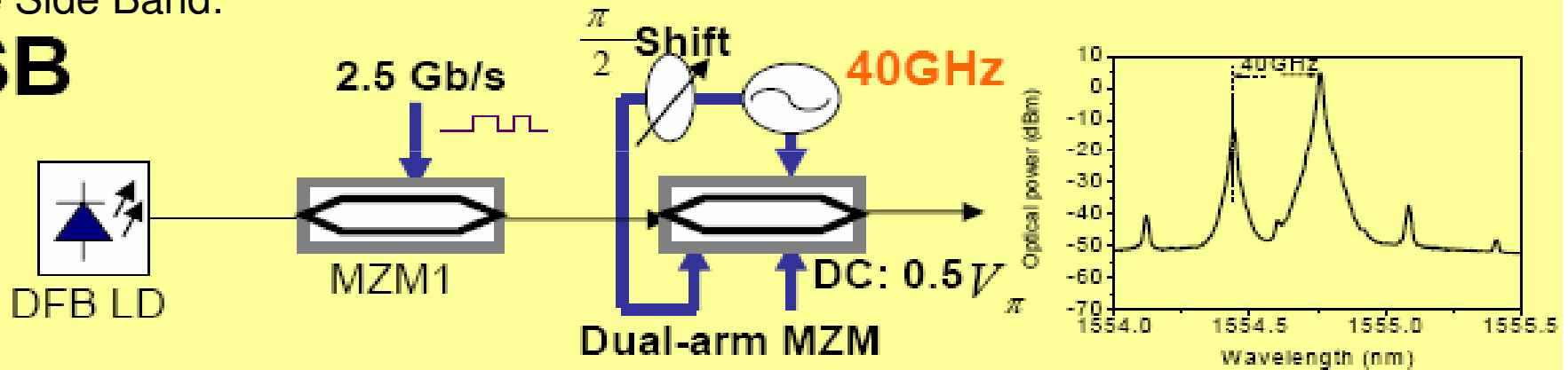
Dual Side Band:

## DSB



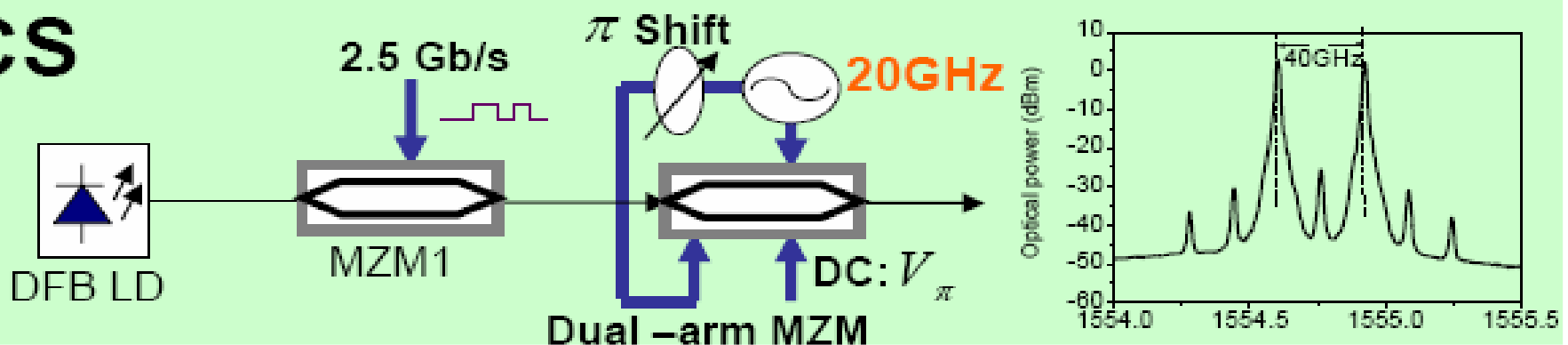
Single Side Band:

## SSB



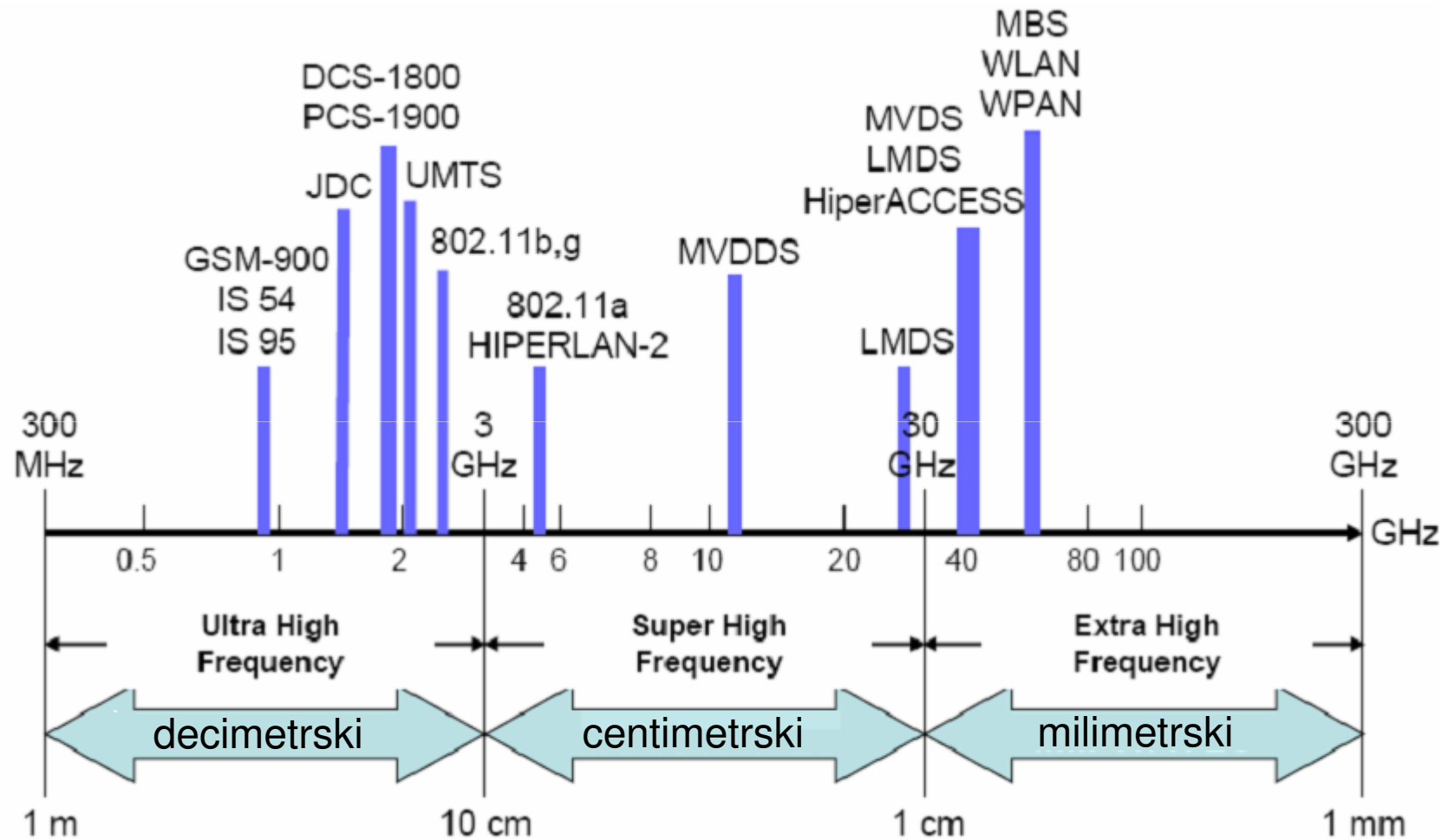
Optical carrier Supression:

## OCS

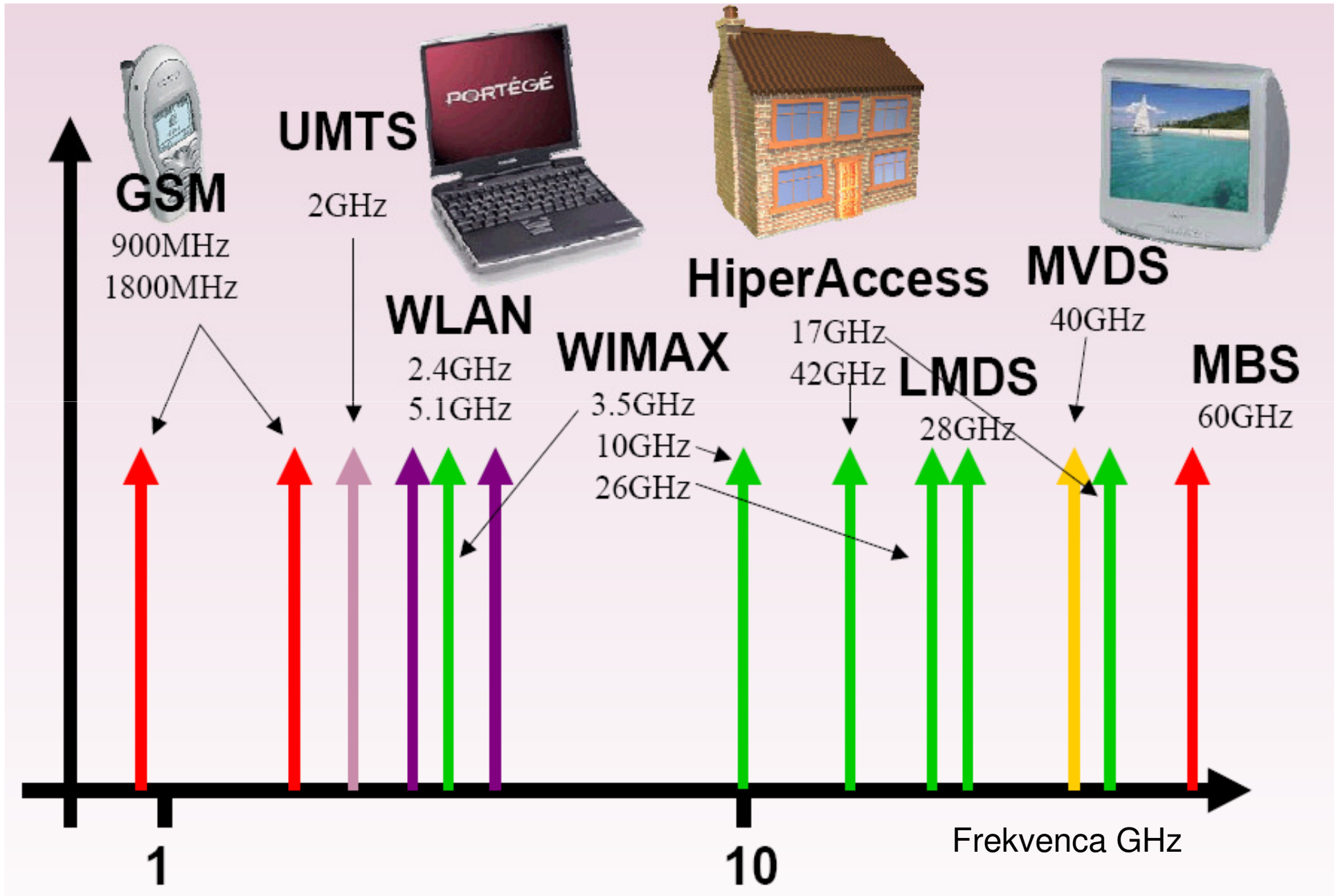




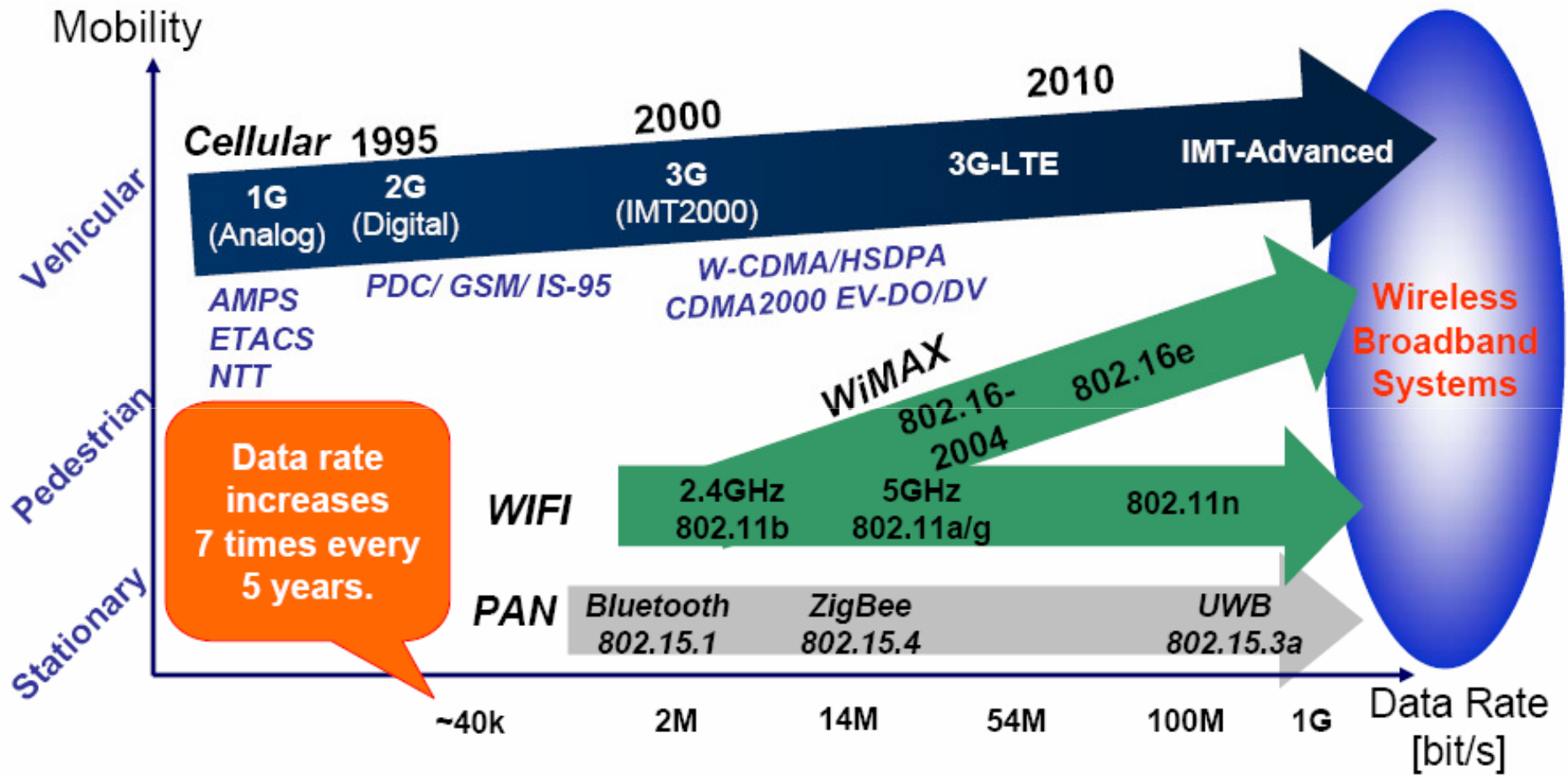
# Radijska področja in frekvence



# Radijske frekvence in storitve

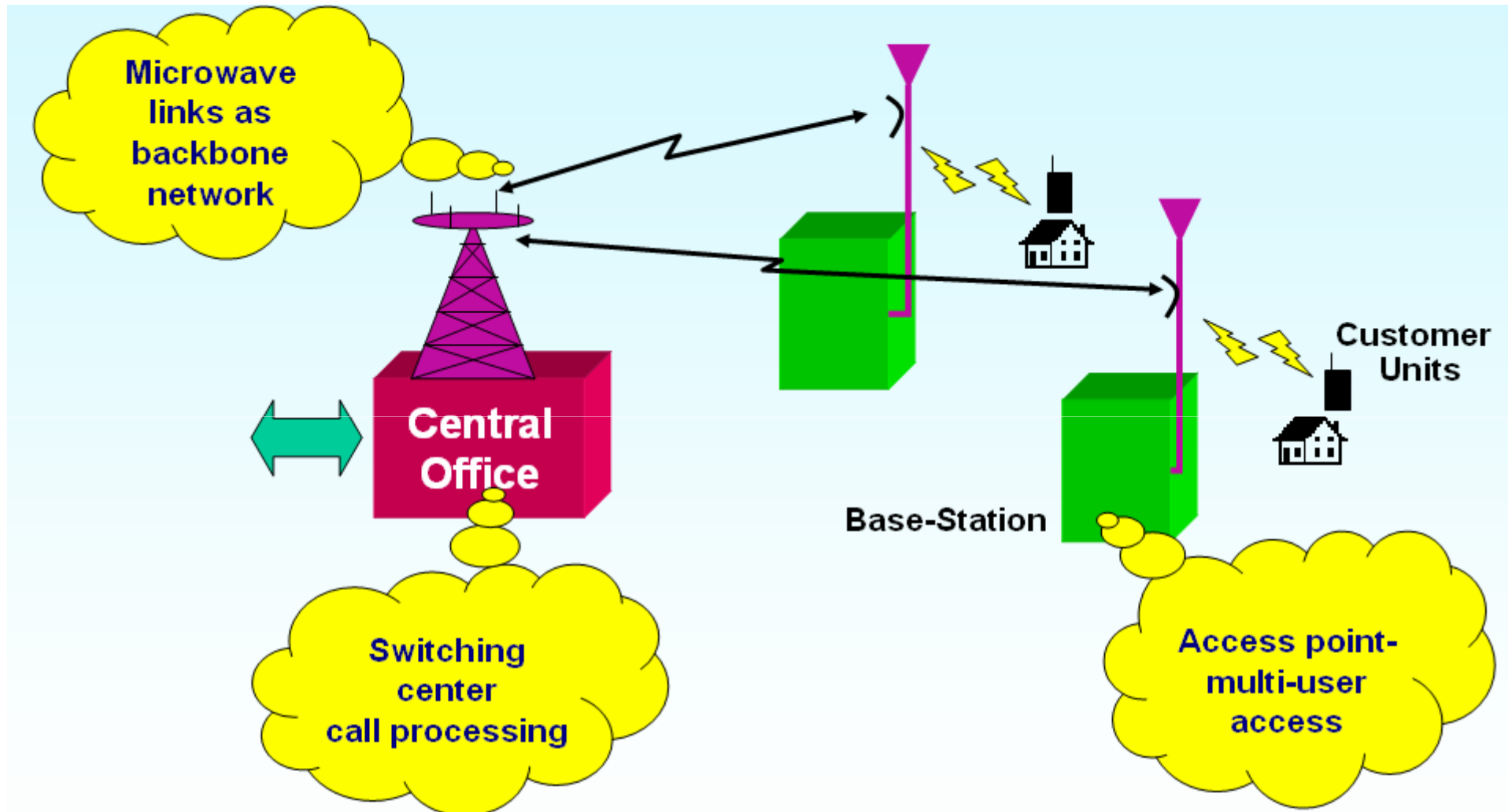


# Sistemi radijskega dostopa



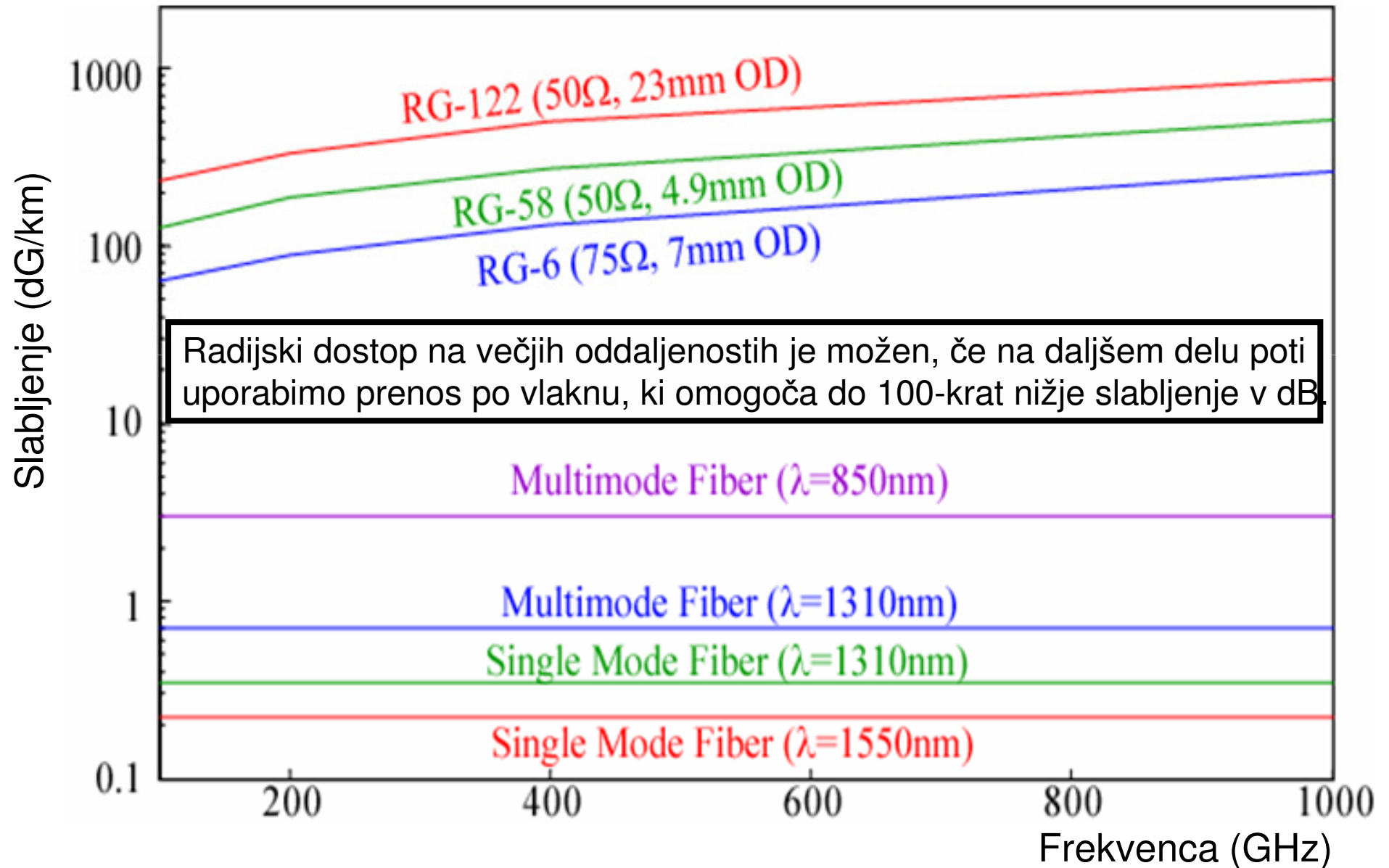
	~40k	2M	14M	54M	100M	1G	Data Rate [bit/s]
Spectral Efficiency (bit/s/Hz)	0.4	0.4	2.8	2.7	5	10	
Radio Access	TDMA QPSK	DS-CDMA MC-CDMA	Adaptive QAM	OFDM/QAM Adaptive Coding	MIMO Adaptive Array		

# Mikrovalovno omrežje



Mikrovalovne zveze imajo daleč premajhno kapaciteto, da bi lahko služile potrebam današnjih omrežij. Tudi sprejemajo motnje.

# Primerjava slabljenja kabla in vlakna



# ROF - primerjave

- analogna optična zveza za prenos analogno ali digitalno moduliranega radijskega signala do baznih postaj (radijska distribucija)

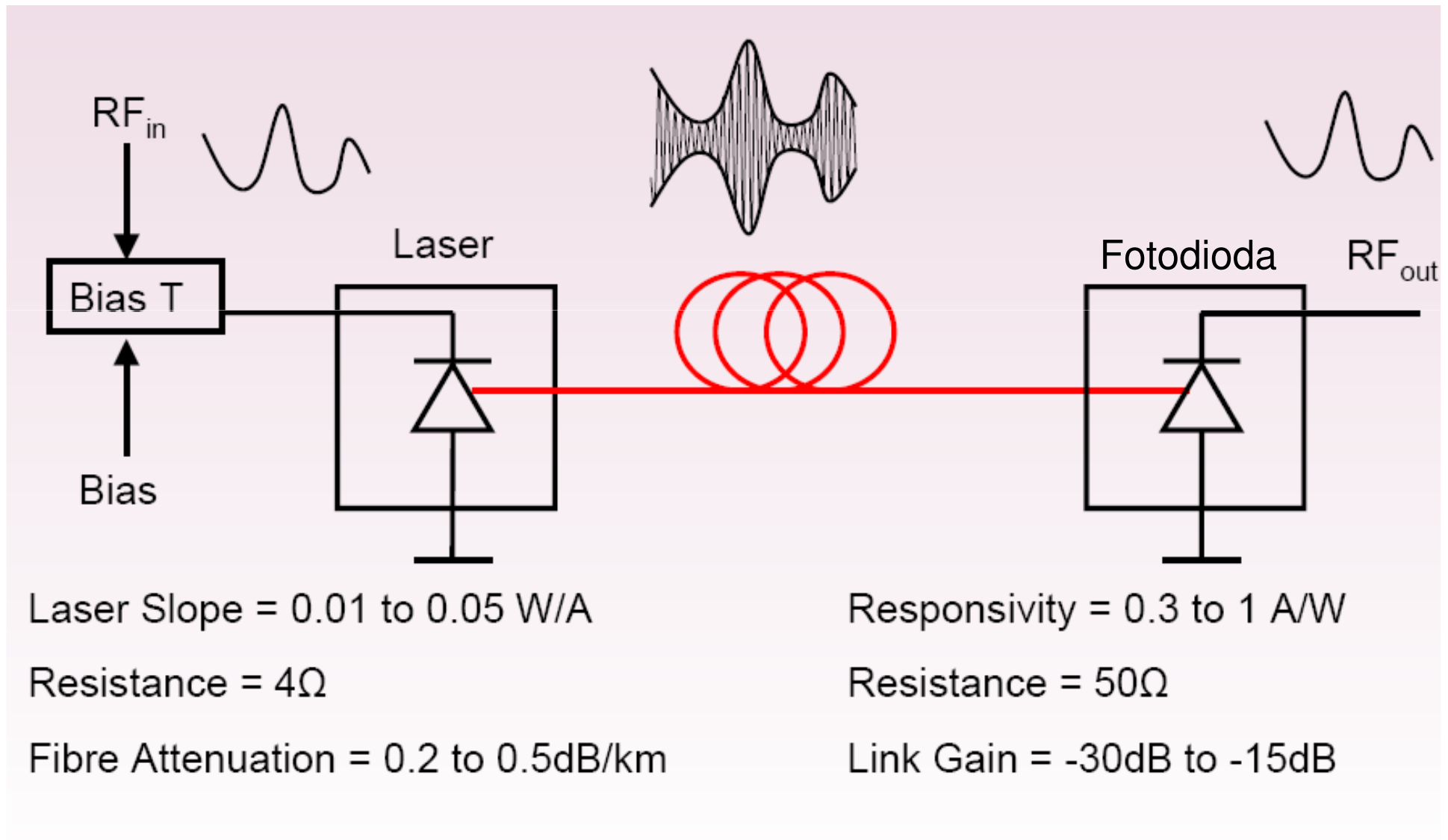
**Primerjava koaksialni vod – optično vlakno:  $L = 20$  km,  $f = 6$  GHz**

1. Koaksialni vod:  $d = 13$  mm,  $200$  kg/km,  $\alpha = 730$  dB/km
2. Optično vlakno:  $d = 1$  mm,  $2$  kg/km,  $\alpha = 0,5$  dB/km

- **Tehnologija:**
  - IF po vlaknu
  - RF po vlaknu
- **Spekter RF:**
  - 500 MHz do 60 GHz
- **Prednosti:**
  - doseganje večje razdalje
  - možnost postavitve velikega števila preprostih (tudi pasivnih) radijskih postaj
- **Modulacija:**
  - analogna
  - digitalna
- **Aplikacija:**
  - FWA (fiksni radio)
  - celične zveze (v notranjih prostorih)

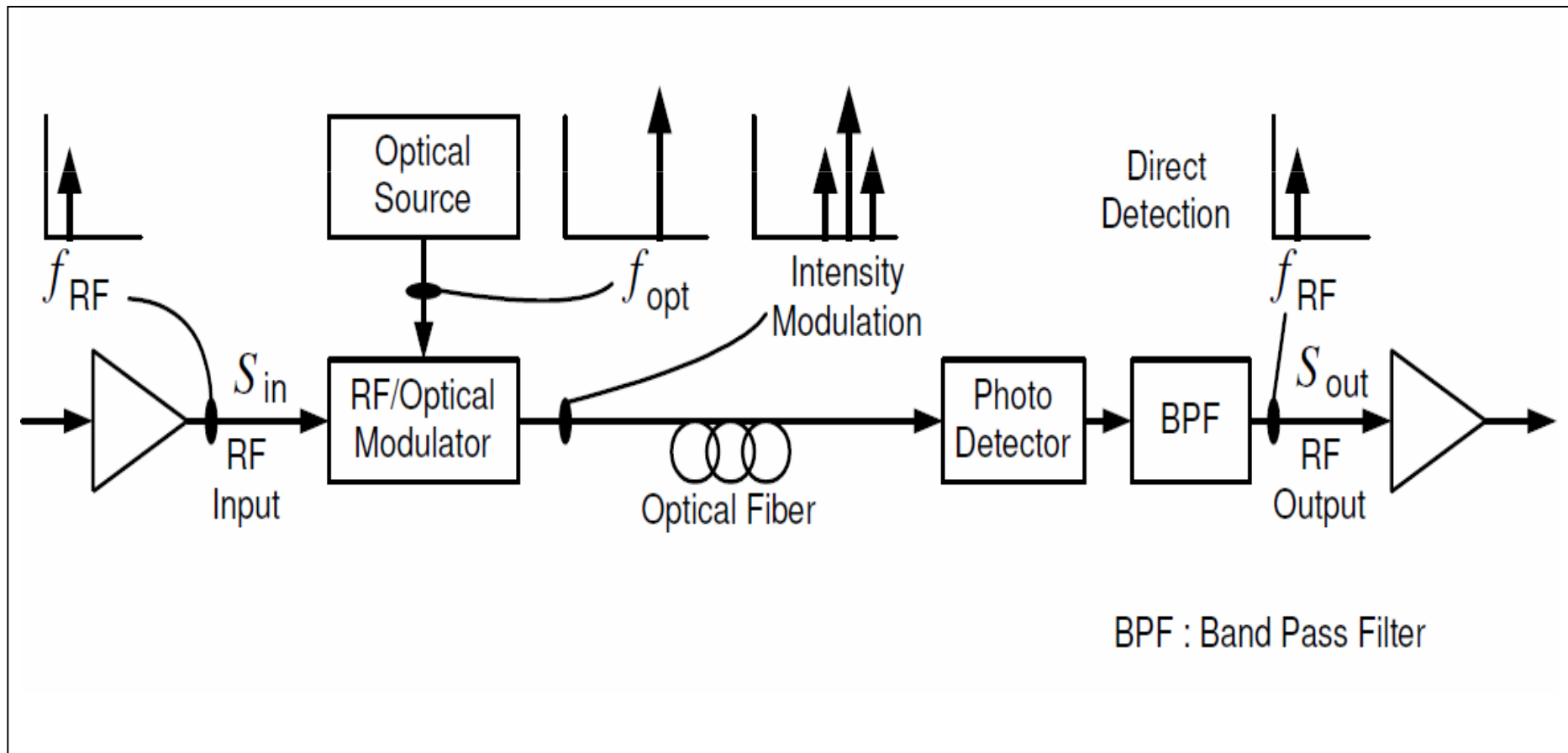
# Optična zveza

- Zveza z intenzitetno modulacijo laserja in direktno detekcijo na fotodiodi



# Optična analogna zveza

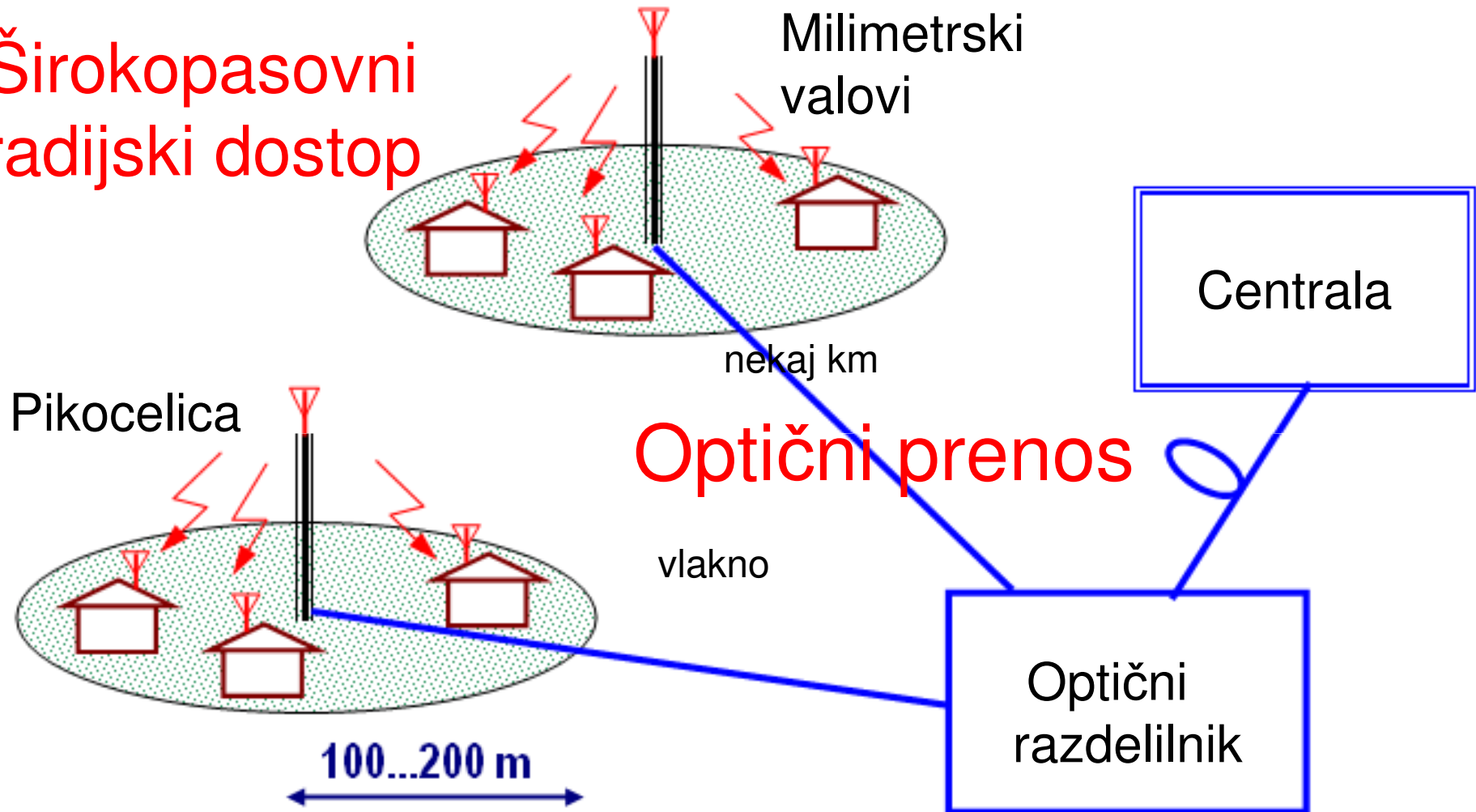
- Intenzitetna modulacija
- Direktna detekcija





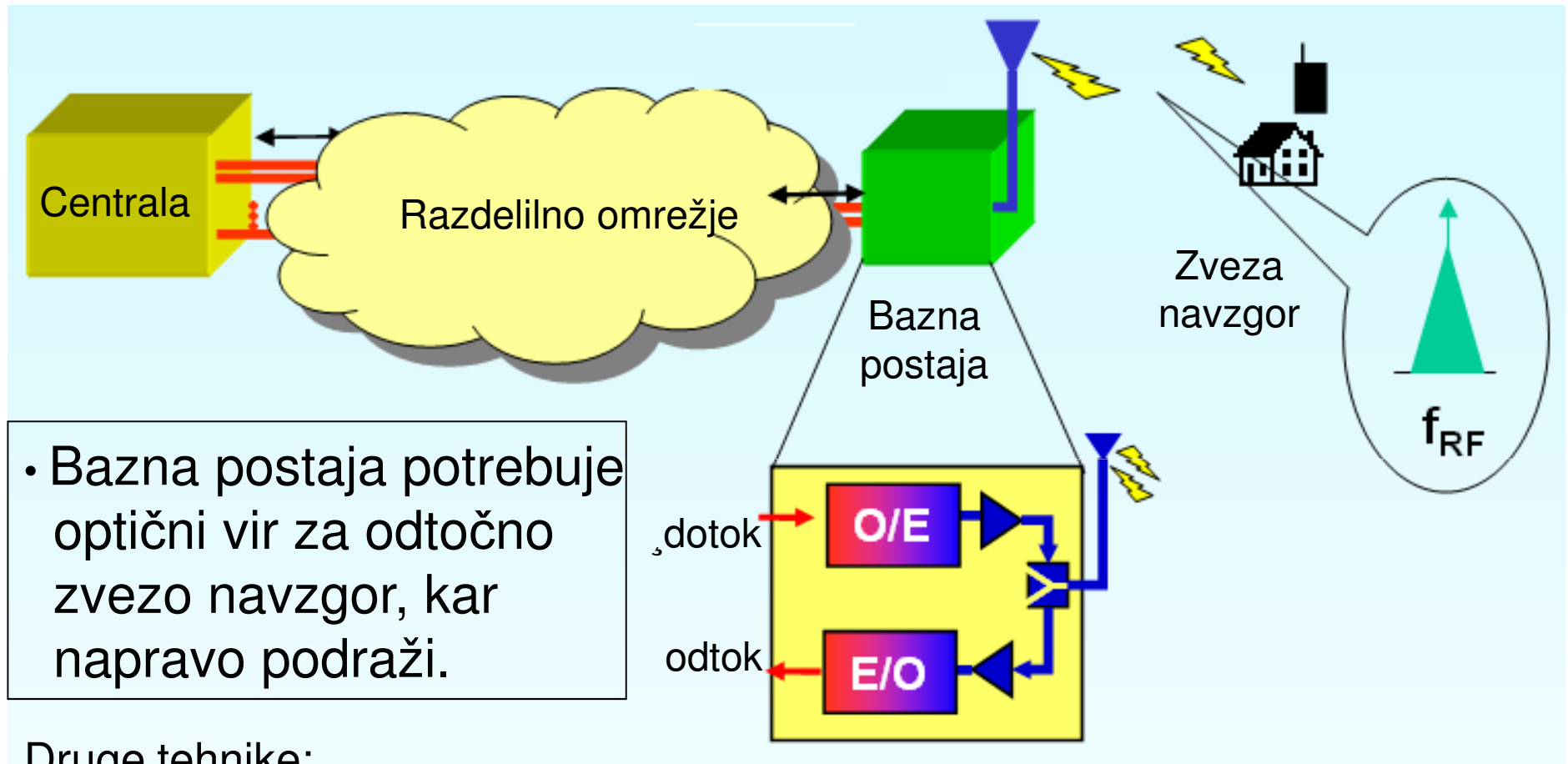
# ROF – radio po vlaknu

Širokopasovni  
radijski dostop



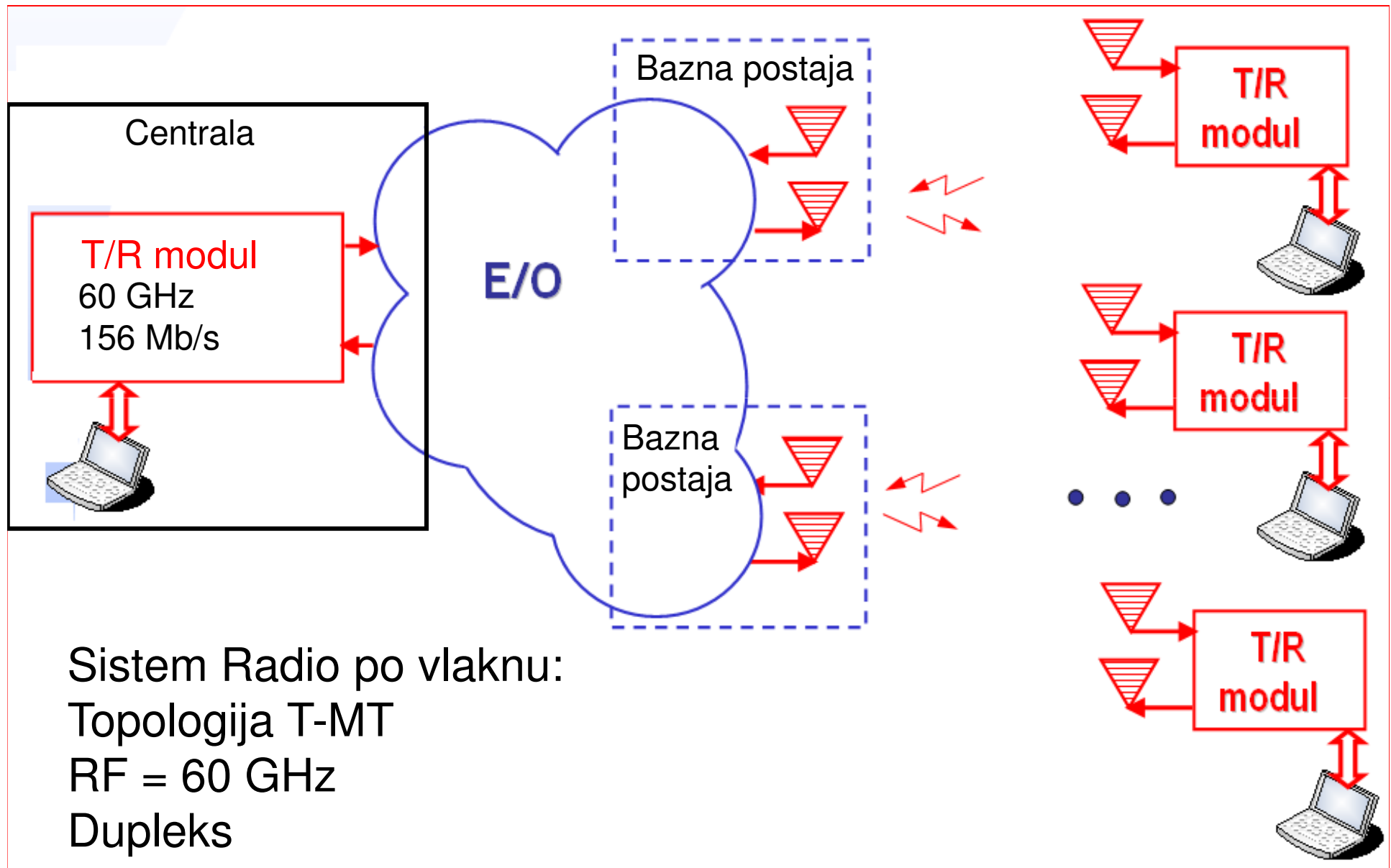
- Optično-radijska zveza do oddaljenega uporabnika kombinira nizko slabljenje vlakna in mobilnost UWB radijskega prenosa.

# ROF – zveza navzgor



- centrala oskrbuje bazno postajo s posebnim nosilnikom za zvezo navzgor.
- ponovna uporaba dotočne valovne dolžine za odtočno zvezo
- elektroabsorpcijski oddajnik/sprejemnik

# 60 GHz T-MT



# Kvantni in termični šum

## Quantum (Shot) Noise

$$\langle i_Q^2 \rangle = 2qI_p B M^2 F(M)$$

$F(M)$ : APD noise figure

$q$  = electron charge

$M$  = Avalanche Gain

$I_p$ : Mean detected current

$B$  = Bandwidth

## Thermal noise

$$\langle i_T^2 \rangle = 4K_B T B / R_L$$

Thermal noise

Depends on the load resistance

$R_L$  and constant

# Primerjava S/N

## 1. Direktna detekcija:

1.1 Dioda PIN

$$\frac{S}{N} = \frac{\left(\eta \frac{eP}{hf}\right)^2 R}{2e\left(\eta \frac{eP}{hf} + I_D\right) BR + 4kT_e B}$$

1.2 Dioda APD

$$\frac{S}{N} = \frac{\left(M \eta \frac{eP}{hf}\right)^2 R}{M^2 F(M) 2e\left(\eta \frac{eP}{hf} + I_D\right) BR + 4kT_e B}$$

1.3 EDFA, dioda PIN

$$\frac{S}{N} = \frac{\left(\eta \frac{eP}{hf}\right)^2 G^2 R}{2\left(2e\eta \frac{eP}{hf} \mu + \Delta f \mu^2\right) G^2 BR + 4kT_e B}$$

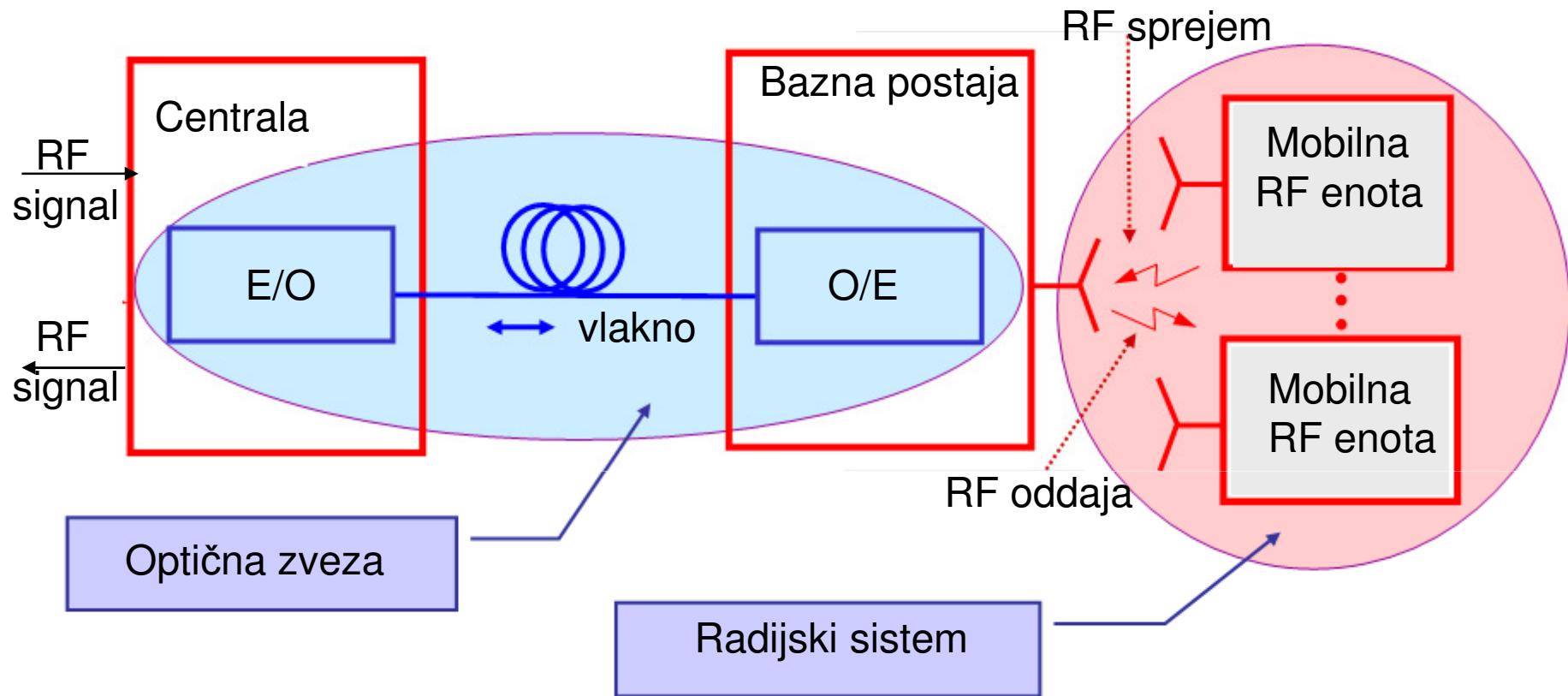
## 2. Koherentna detekcija:

2.1 Homodinski

$$\frac{S}{N} = \frac{2P_s P_l R \left(\frac{\eta e}{hf}\right)^2}{2eR\Delta f \left(\eta \frac{eP_l}{hf} \left(1 + \frac{P_s}{P_l}\right) + I_D\right) + 4kT_e \Delta f}$$

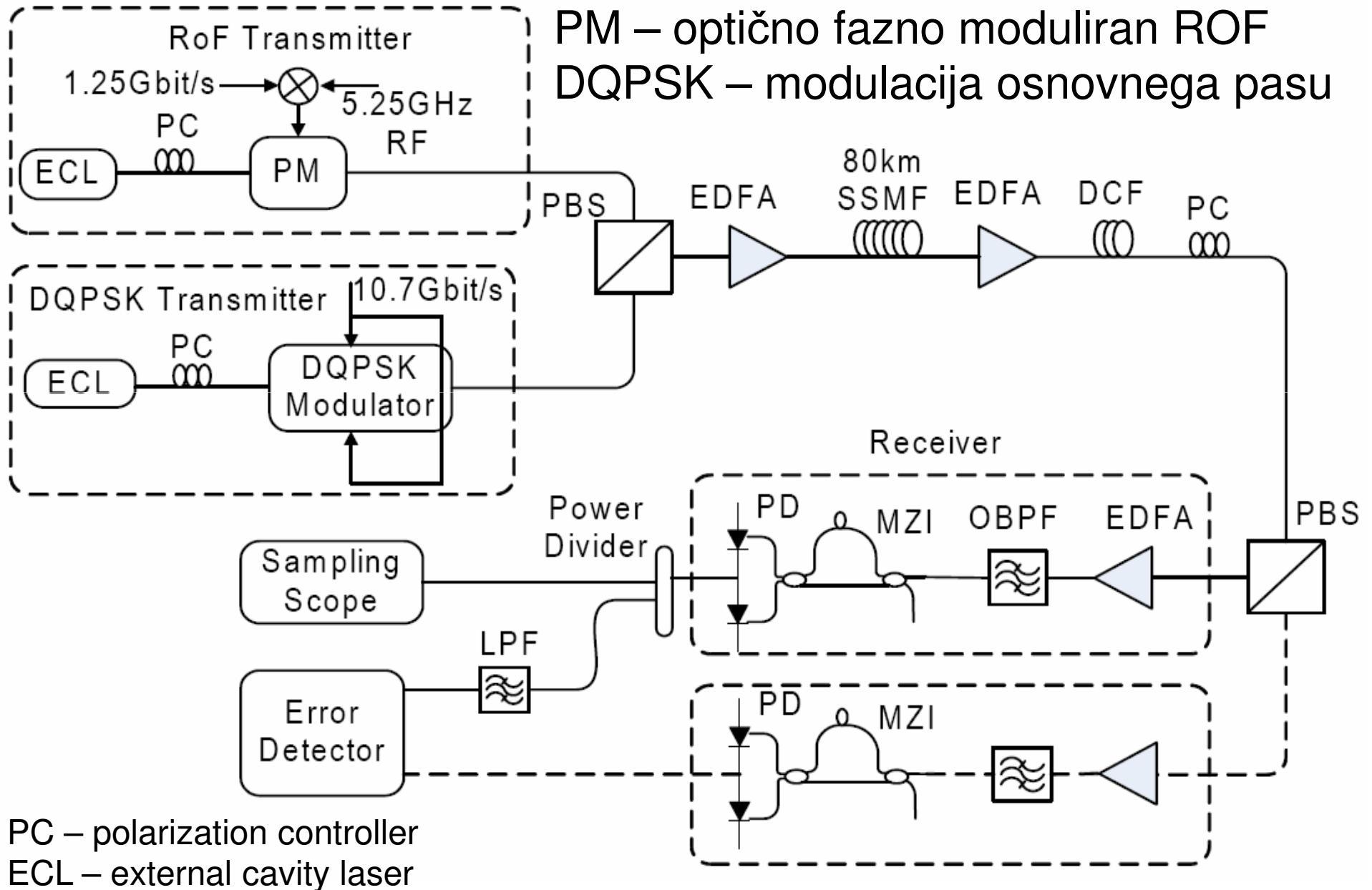
# Optično-radijska zveza ROF splošno

38



- Centrala pošilja optični nosilec frekvence  $f_0$ , moduliran z RF signalom frekvence  $f_{RF}$  po vlaknu v bazno postajo
- V bazni postaji fotodioda z demodulacijo pretvarja optični signal v RF signal
- RF signal se v bazni postaji ojačuje in vodi na anteno. Sprejema ga mobilna RF enota. Njen odziv gre po povratni poti v centralo.

# Ekspperimentalni ROF

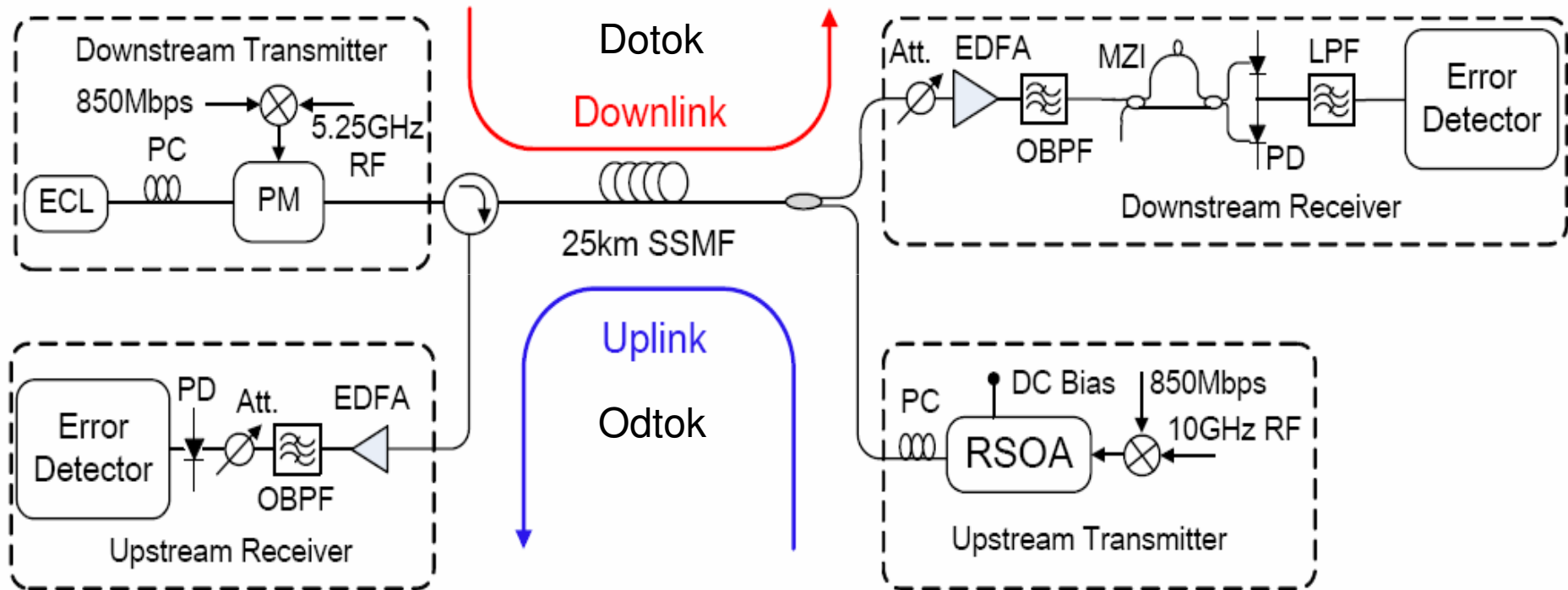


# Dvosmerni ROF

Centrala

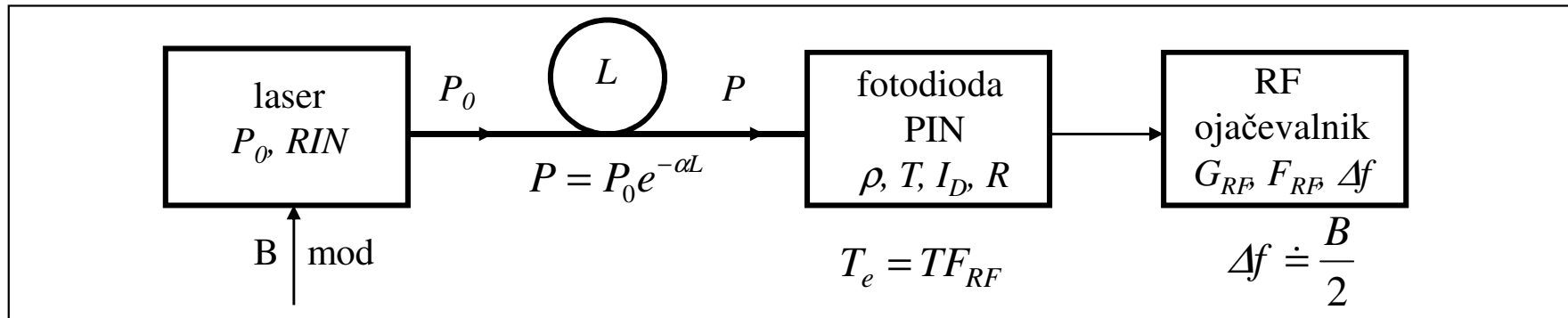
Vlakno

Bazna postaja

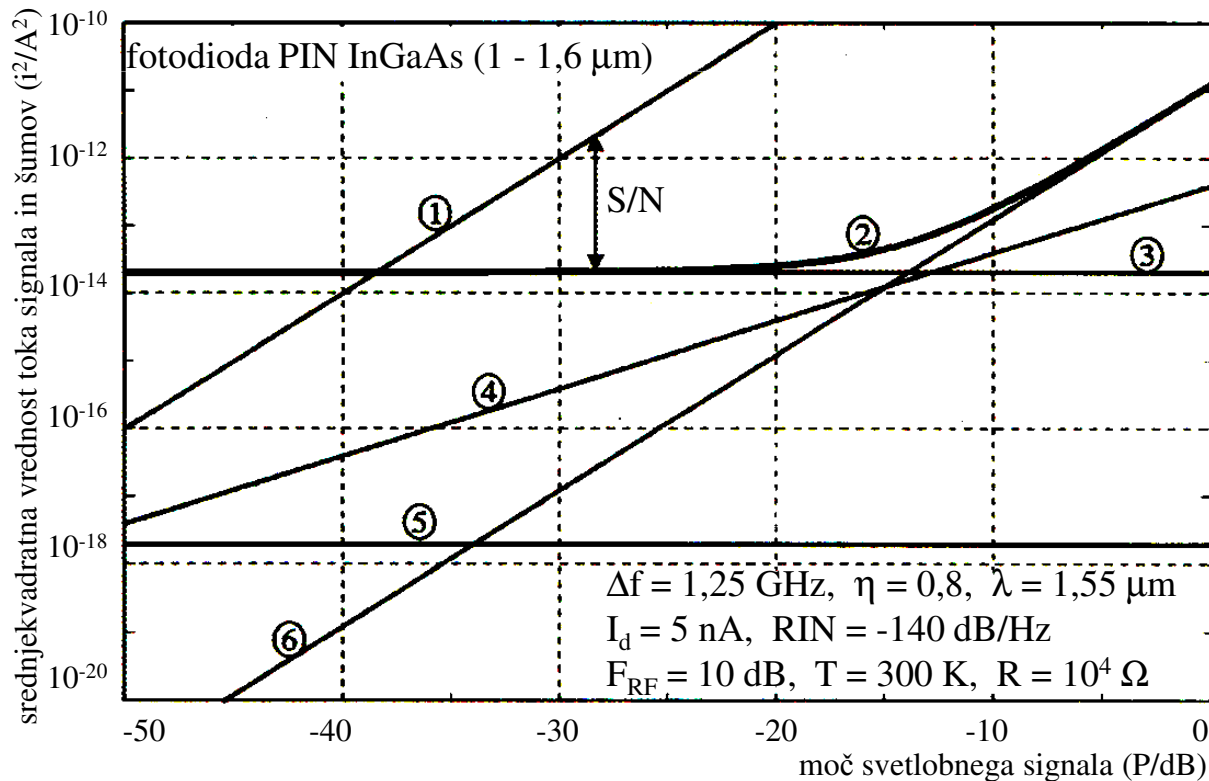




# Optična zveza - dioda PIN



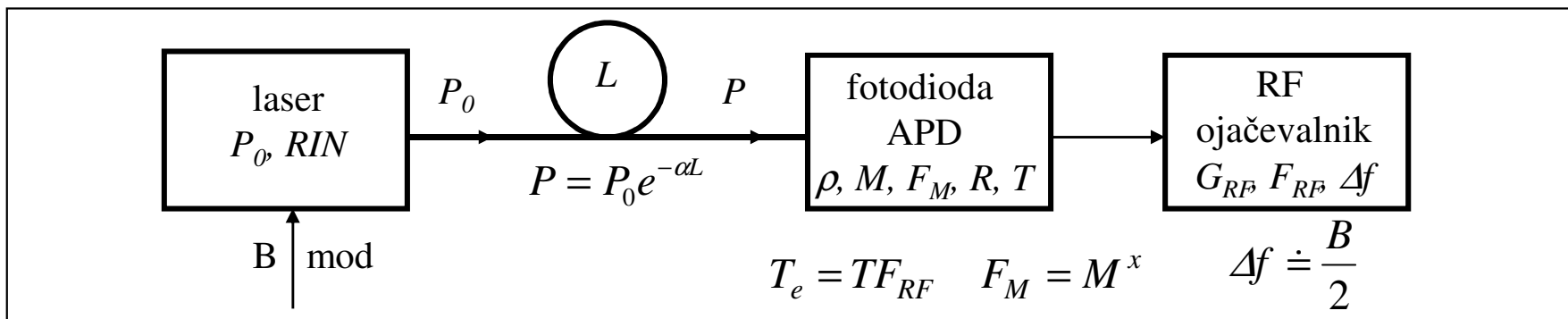
$$(SNR)_{el} = \left( \frac{S}{N} \right)_{el} = \frac{(\rho P)^2 R}{(2e(\rho P + I_D)R + (\rho P)^2 RIN \cdot R + 4kTF_{RF})\Delta f} \doteq \frac{(\rho P)^2 R}{4kTF_{RF}\Delta f} \quad \text{termična meja}$$



**srednjekvadratni tok signala in šumov:**

- 1 signal
- 2 skupni šum
- 3 termični šum
- 4 kvantni šum signala
- 5 kvantni šum temnega toka
- 6 relativni intenzitetni šum

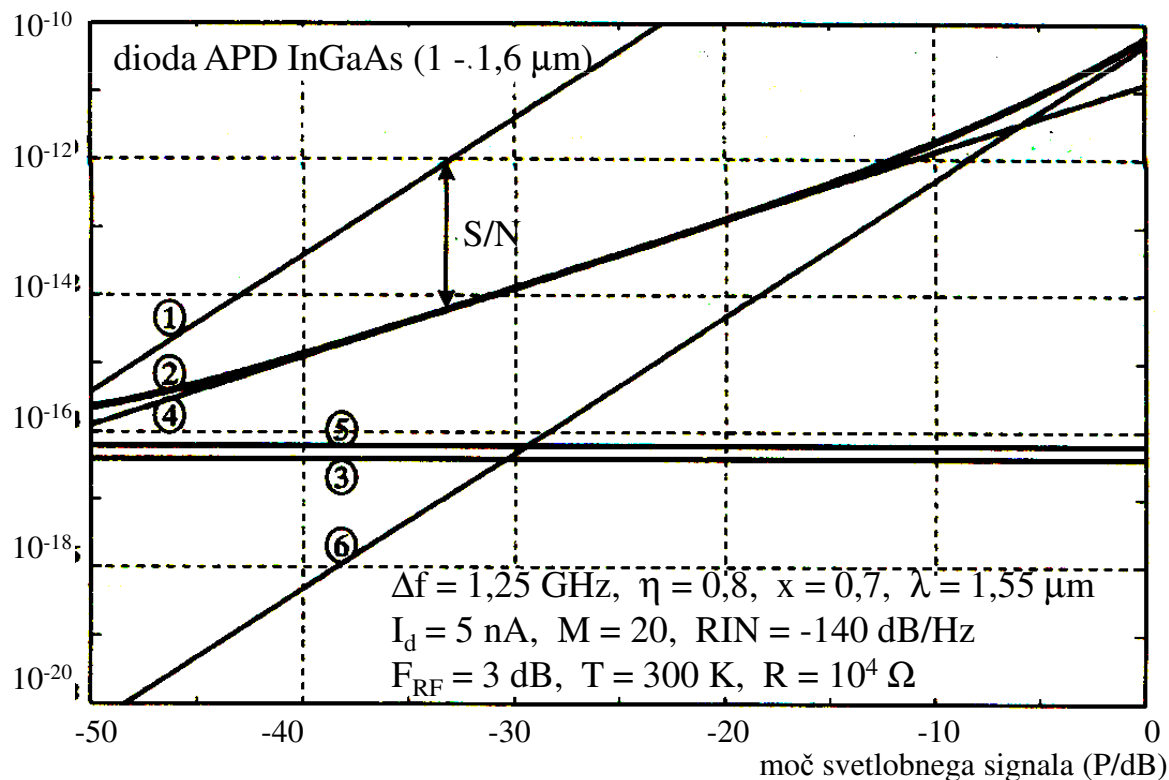
# Optična zveza - dioda APD



$$(SNR)_{el} = \left( \frac{S}{N} \right)_{el} = \frac{(M\rho P)^2 R}{\left( M^2 F_M 2e(\rho P + I_D)R + (\rho P)^2 RIN \cdot R + 4kTF_{RF} \right) \Delta f} \doteq \frac{\rho P}{F_M 2e \Delta f}$$

kvantna meja

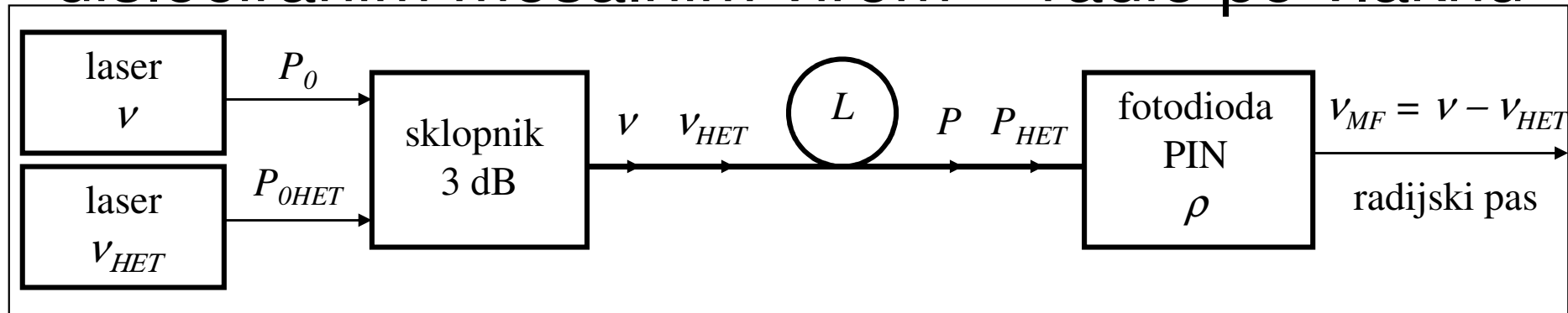
srednjekvadratna vrednost toka signala in šumov ( $i^2/A^2$ )



**srednjekvadratni tok signala in šumov:**

- 1 signal
- 2 skupni šum
- 3 termični šum
- 4 kvantni (in plazovni) šum signala
- 5 kvantni in plazovni šum temnega toka
- 6 relativni intenzitetni šum

# Koherentna (heterodinska) optična zveza z dislociranim mešalnim virom - “radio po vlaknu”



Svetlobo moduliranega laserja skupaj s svetlobo heterodinskega laserja sklopimo v vlakno. Na izhodu iz fotodiode izsejemo mešalni produkt  $\nu_{MF} = \nu - \nu_{HET}$ . Z izbiro heterodinske frekvence pade  $\nu_{MF}$  v radijski pas, npr. 60 GHz. Če je laser moduliran z razvrščenimi radijskimi prednosilniki (SCM), se ti pojavijo na izhodu (prenos “radio po vlaknu”).

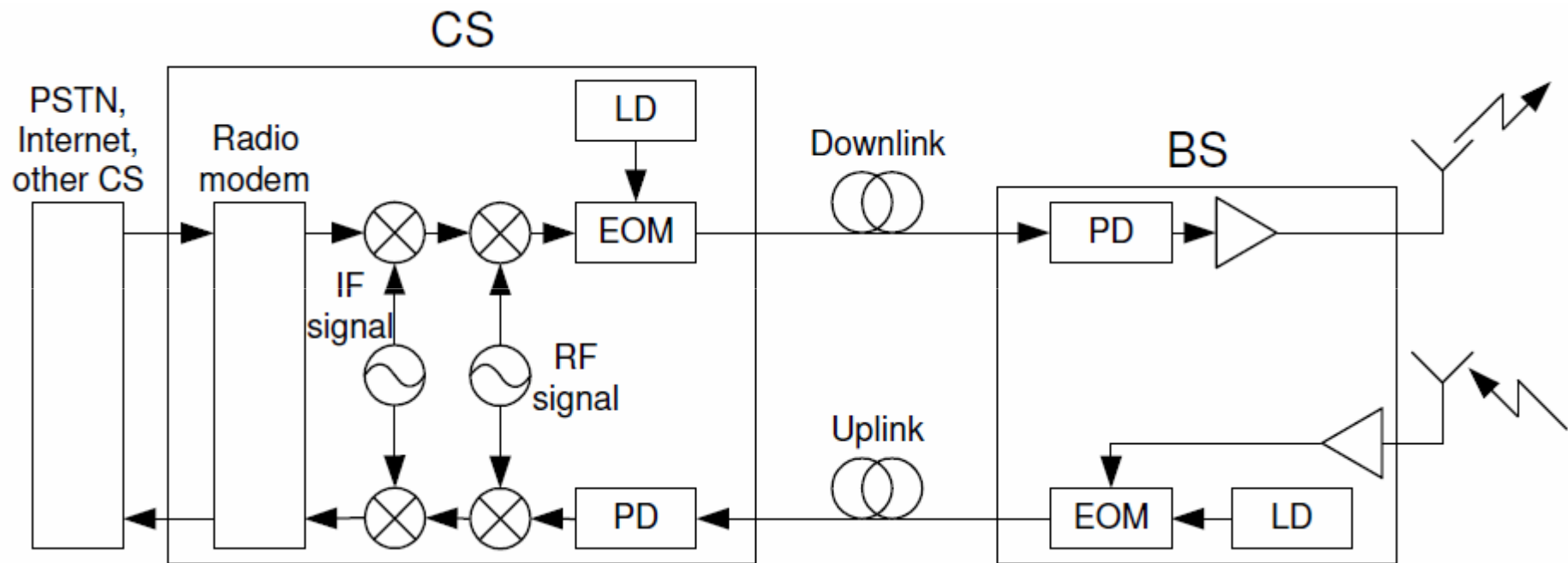
Medfrekvenčni tok

$$I_{MF} = \rho P 2 \sqrt{\frac{P_{HET}}{P}} \cos(\omega_{MF} t + \iota)$$

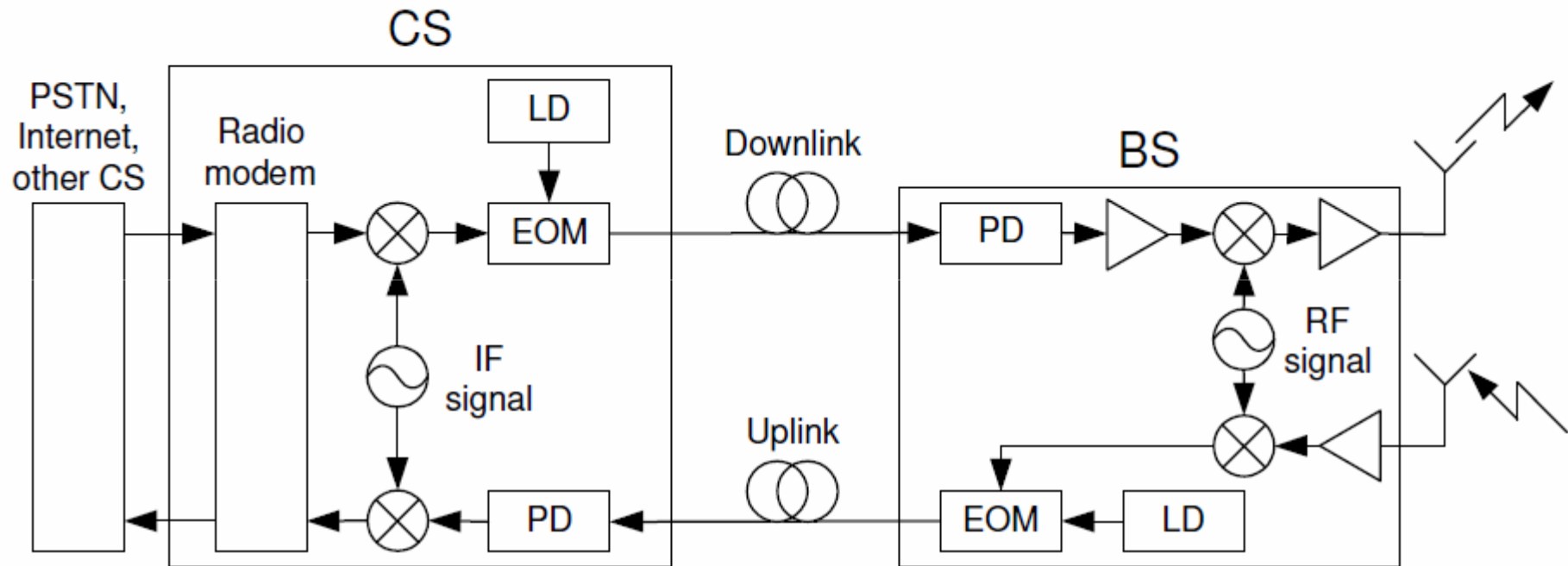
Razmerje signal / šum v medfrekvenci

$$ESNR = \left( \frac{S}{N} \right)_{el} = \frac{\rho^2 2 P P_{HET} R}{\left( 2e(\rho P + \rho P_{HET} + I_D) R + \rho^2 C^2 (P^2 + P_{HET}^2) R I_N \cdot R + 4kTF_{RF} \right) \Delta f} \doteq \frac{\eta P}{h \nu \Delta f}$$

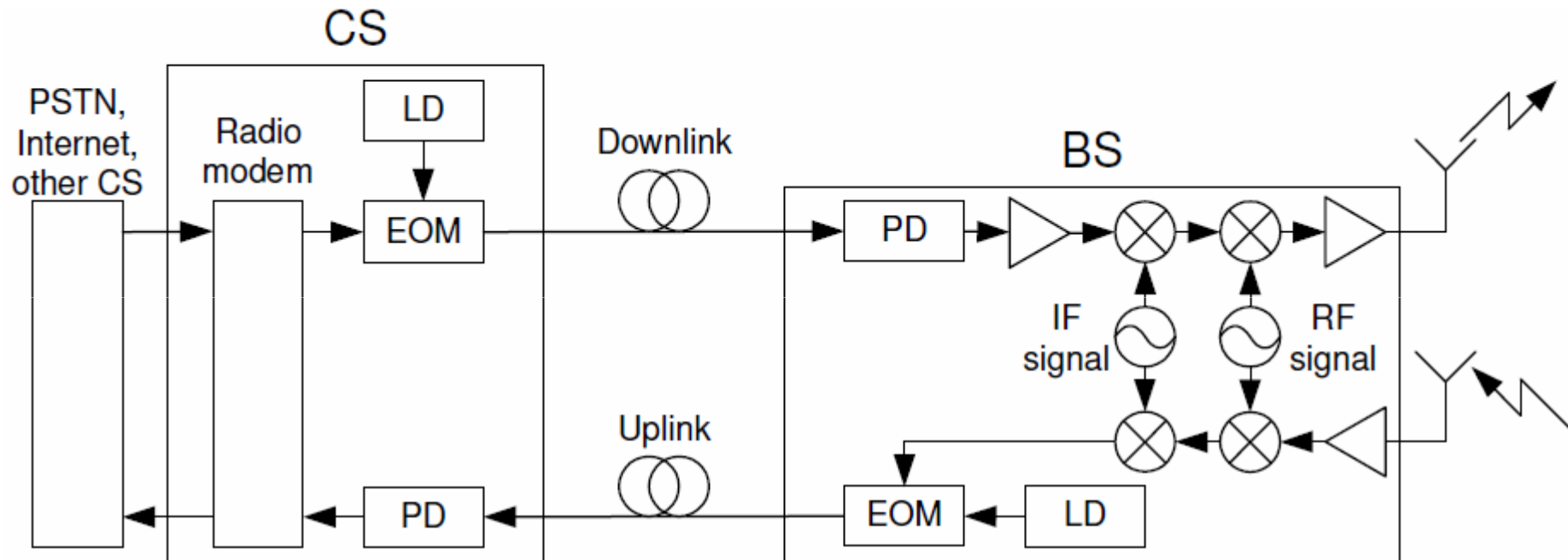
# RF - ROF



# IF - ROF

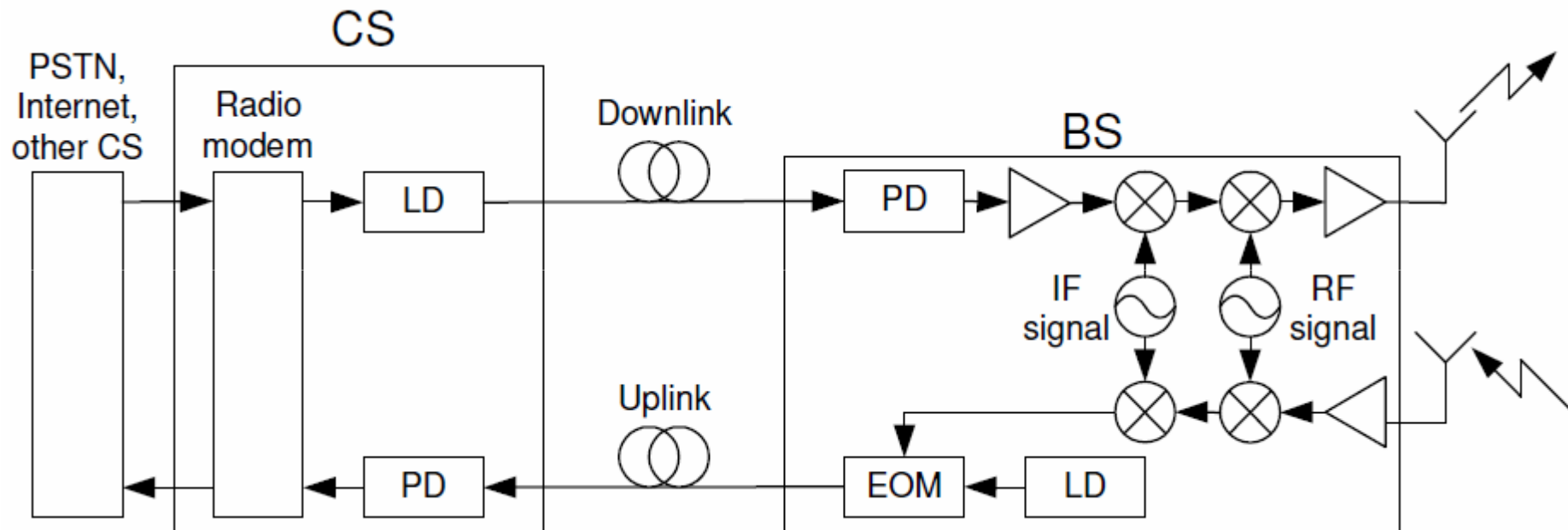


# BB - ROF

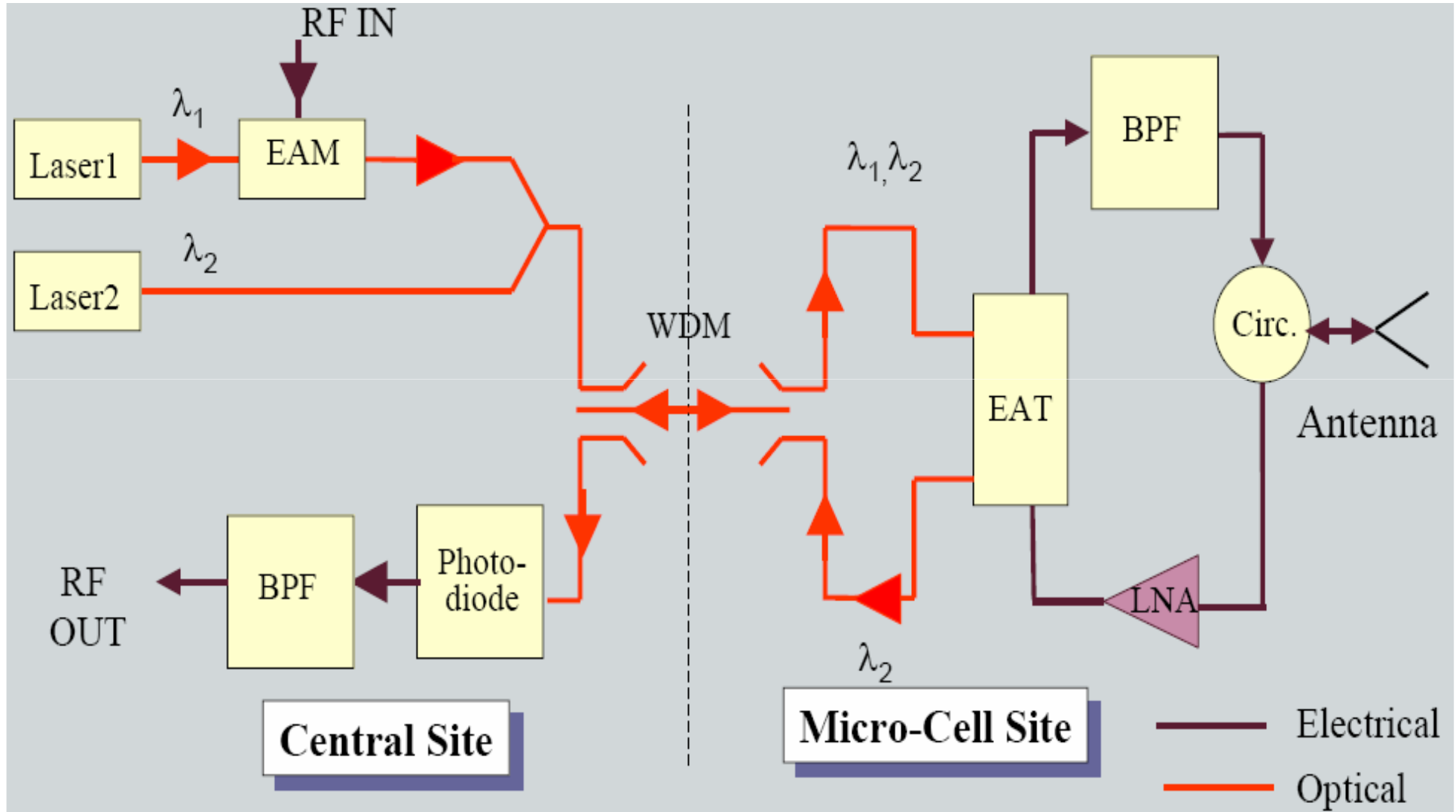


- BB ... BaseBand

# BB/RF - ROF



# ROF - RF dotok, RF odtok

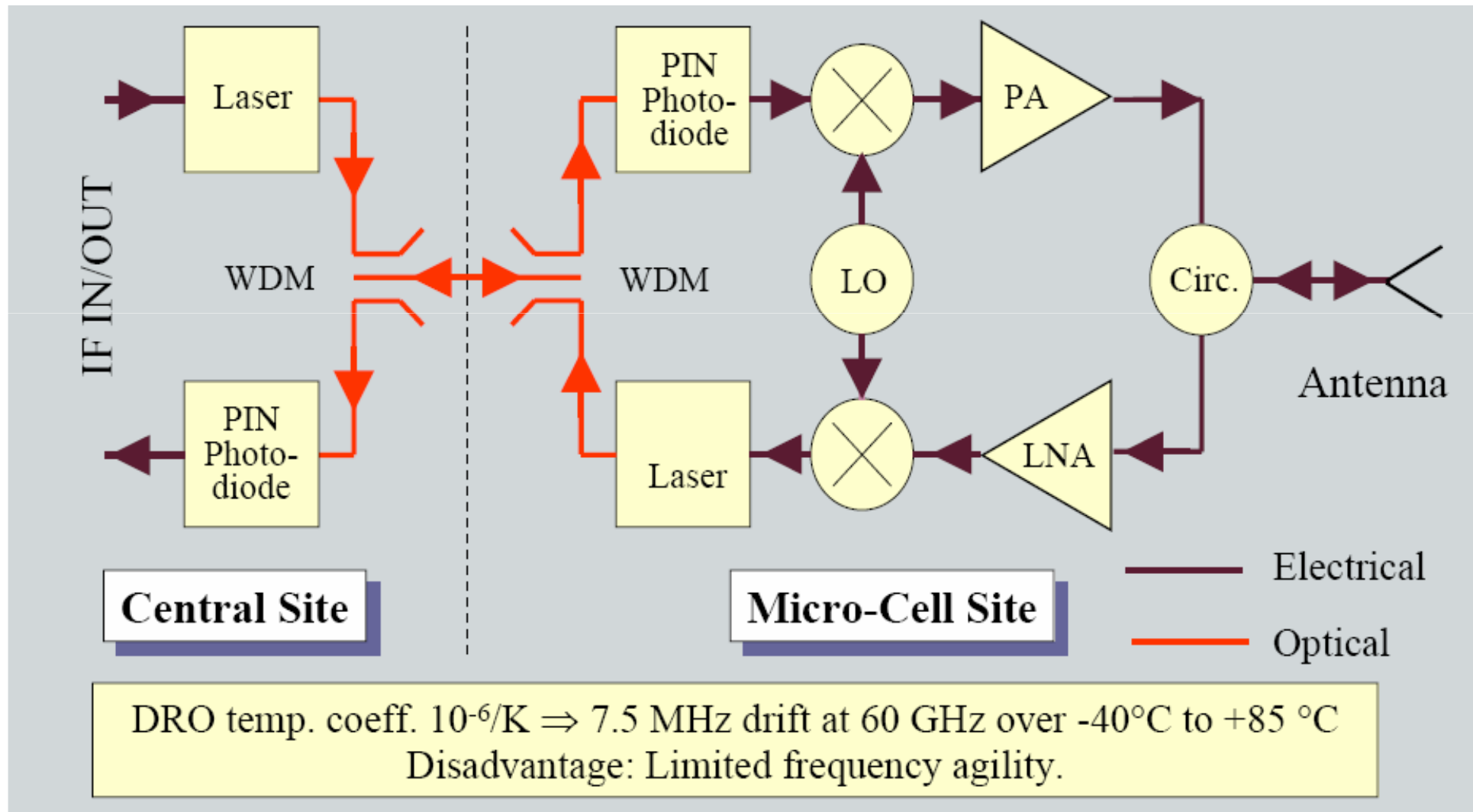


EAM – Elektroabsorpcijski modulator

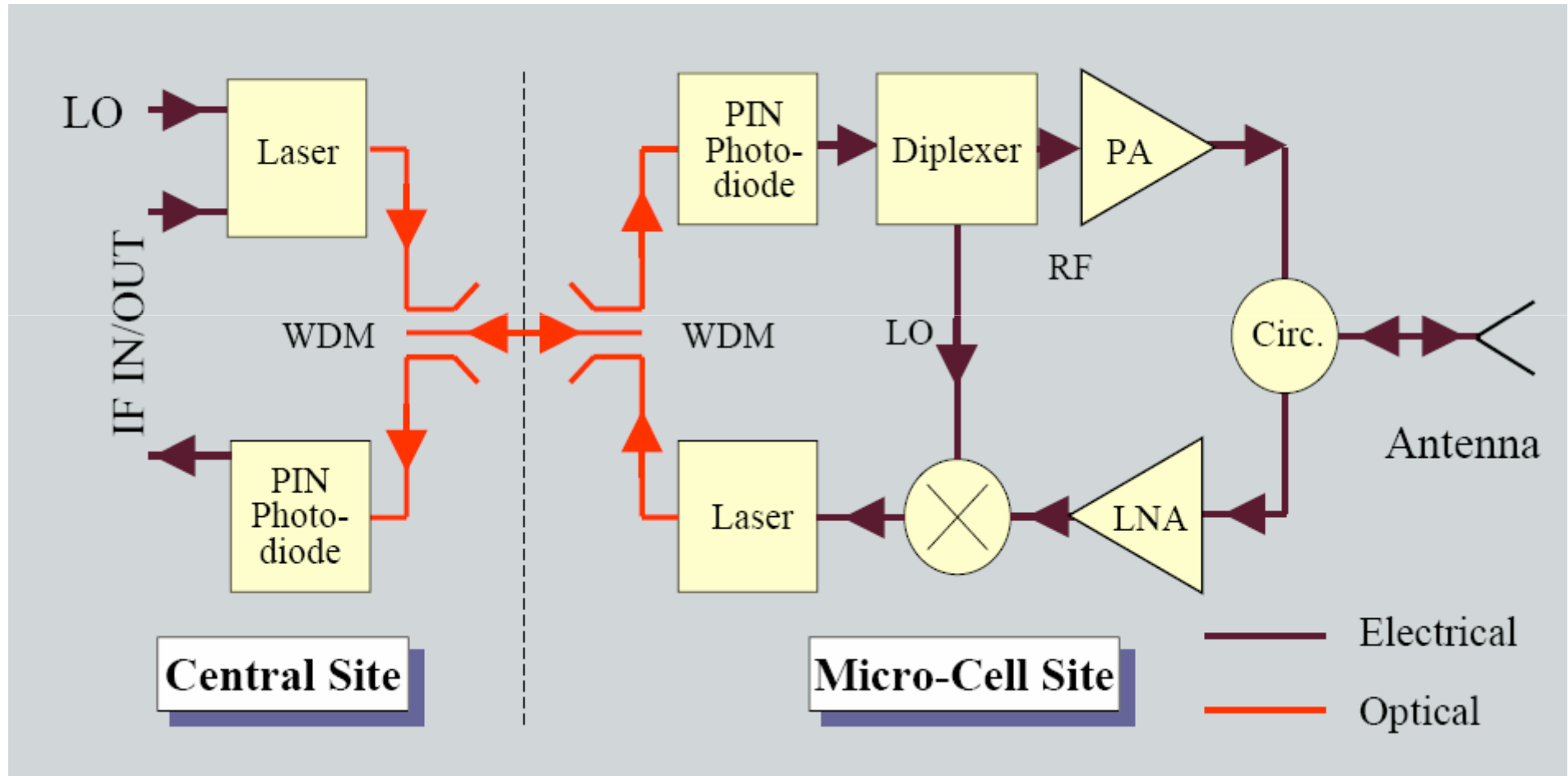
EAT – Elektroabsorpcijski oddajnik/sprejemnik



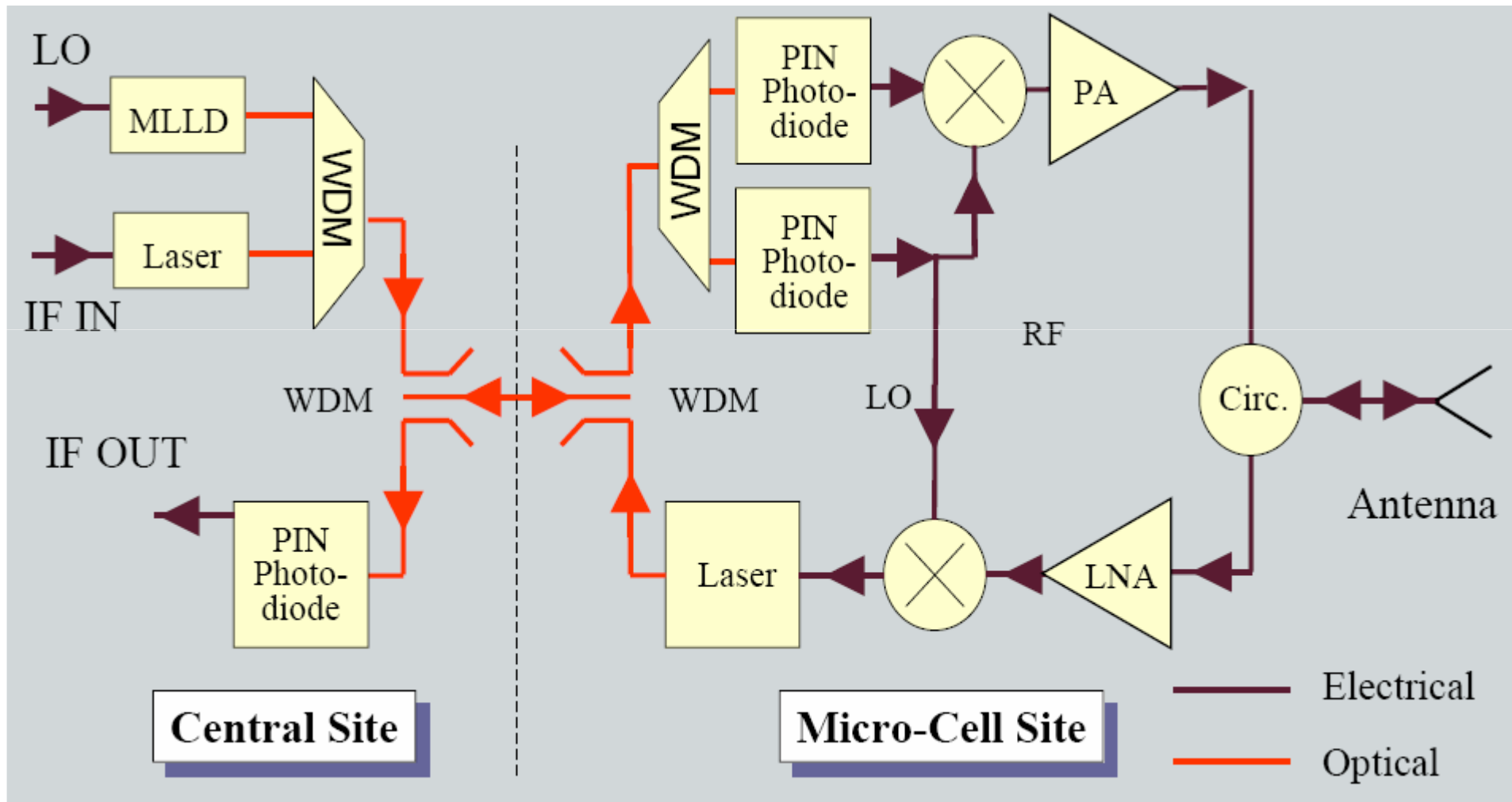
# ROF – IF dotok, IF odtok



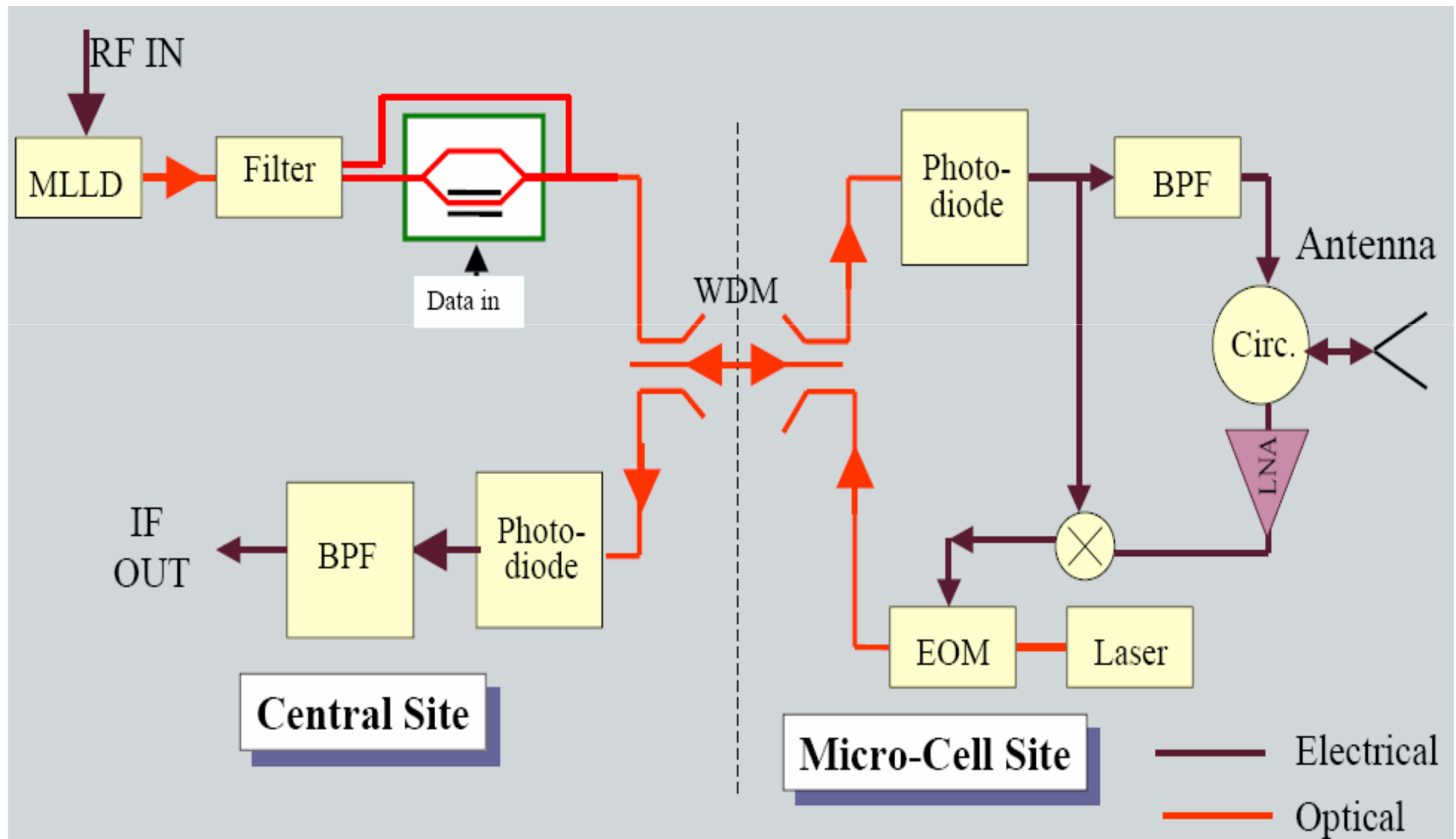
# ROF – IF dotok, RF odtok, LO



# ROF, IF dotok, IF odtok, WDM



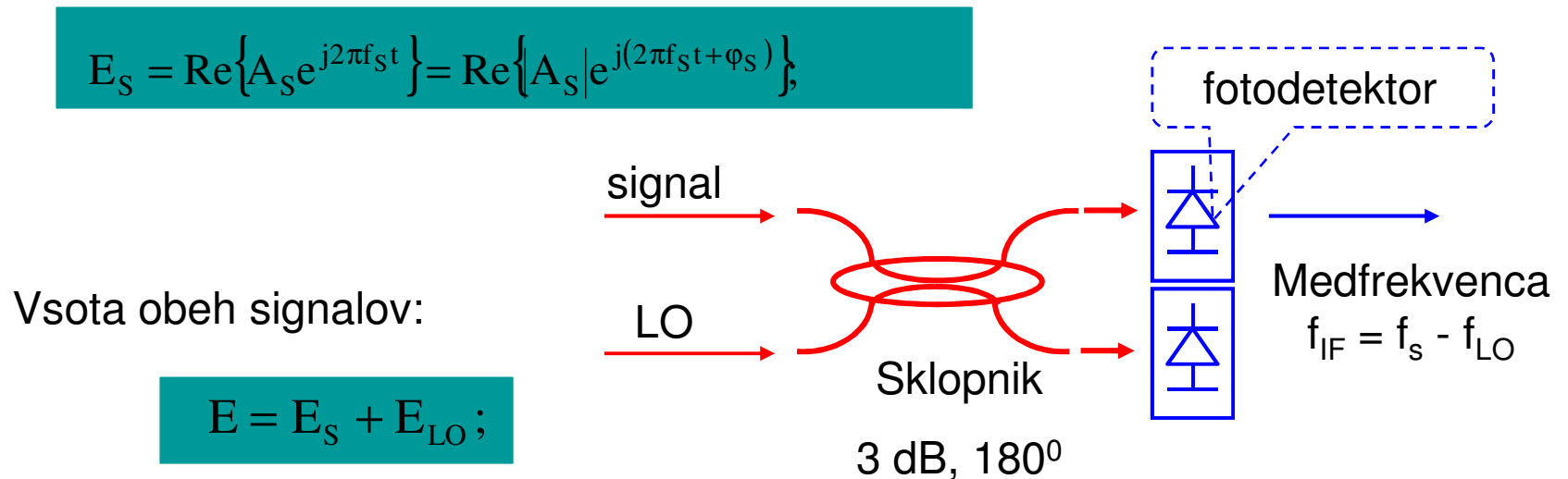
# ROF, RF dotok, IF odtok



# Mikrovalovna fotonika

# Optično mešanje

Predpostavimo prvi sinusni signal amplitude  $A_s$ , frekvence  $f_s$  in faze  $\phi_s$ . Drugi sinusni signal je signal lokalnega oscilatorja, ki ima amplitudo  $A_{LO}$ , frekvenco  $f_{LO}$  in fazo  $\phi_{LO}$ .

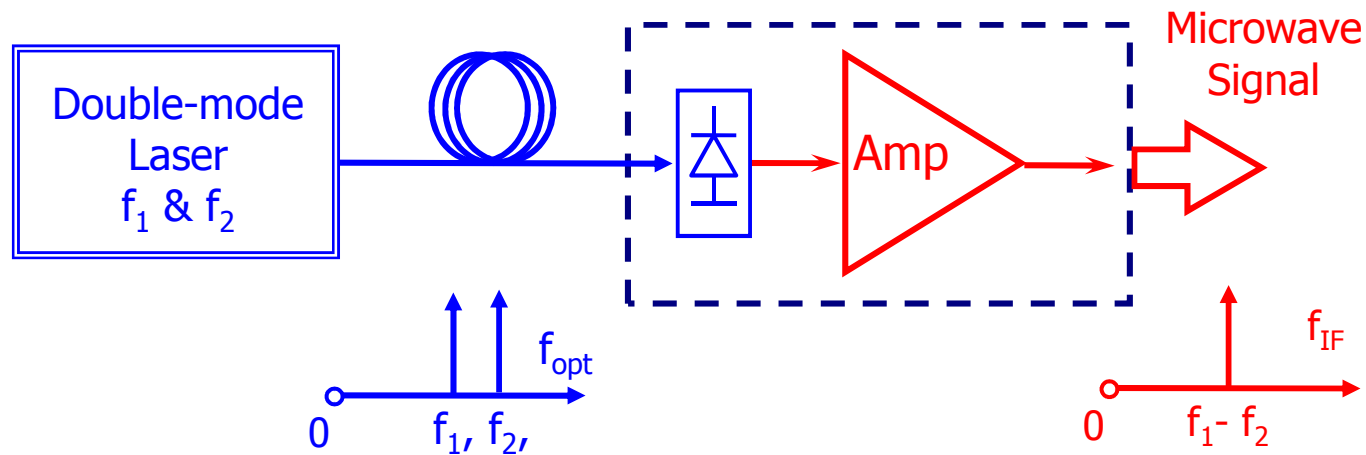


$$I = RP = R\{P_s + P_{LO} + 2\sqrt{P_s P_{LO}} \cos[2\pi f_{IF} t + (\phi_s - \phi_{LO})]\};$$

Fototok na diferenčni frekvenci  $f_{IF}$  je sorazmeren korenu iz produkta  $P_s$  in  $P_{LO}$

# Optična generacija mikrovalov

- V ta namen lahko uporabimo dvorodovni DFB laser, ki niha na dveh frekvencah. vsak rod niha na svoji frekvenci.

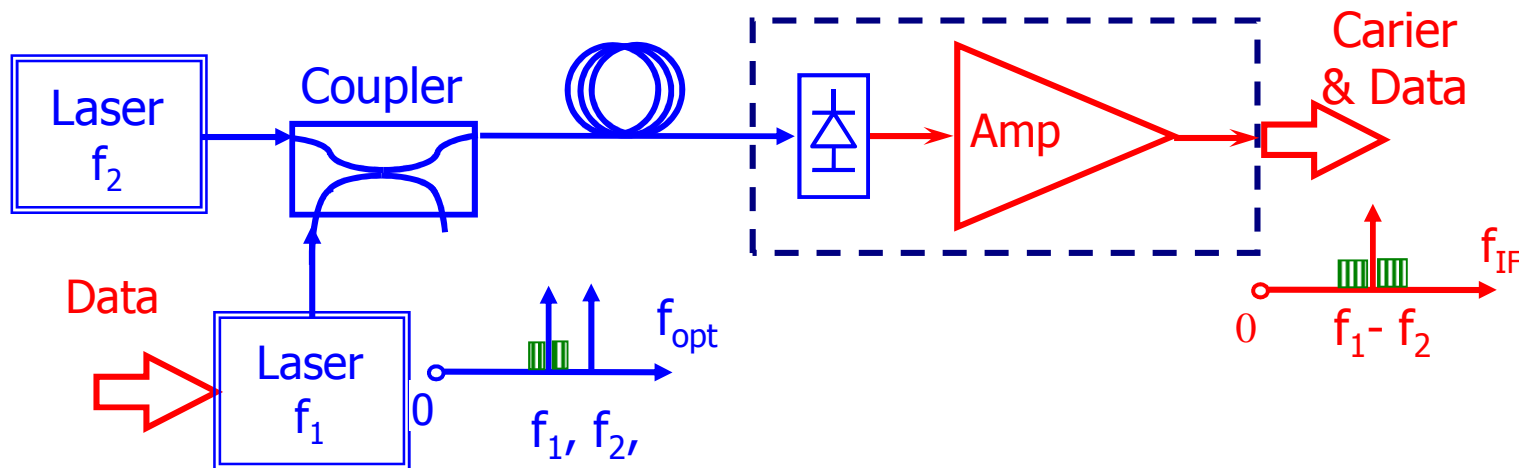


Laser omogoča, da frekvenčno razliko med obema rodovoma uravnavamo.

# Optična generacija mikrovalov

- Z mešanjem dveh spektralno čistih optičnih nosilnikov frekvence  $f_1$  in  $f_2$  nastane mikrovalovni signal vmesne frekvence (medfrekvence)  $IF = f_2 - f_1$ .

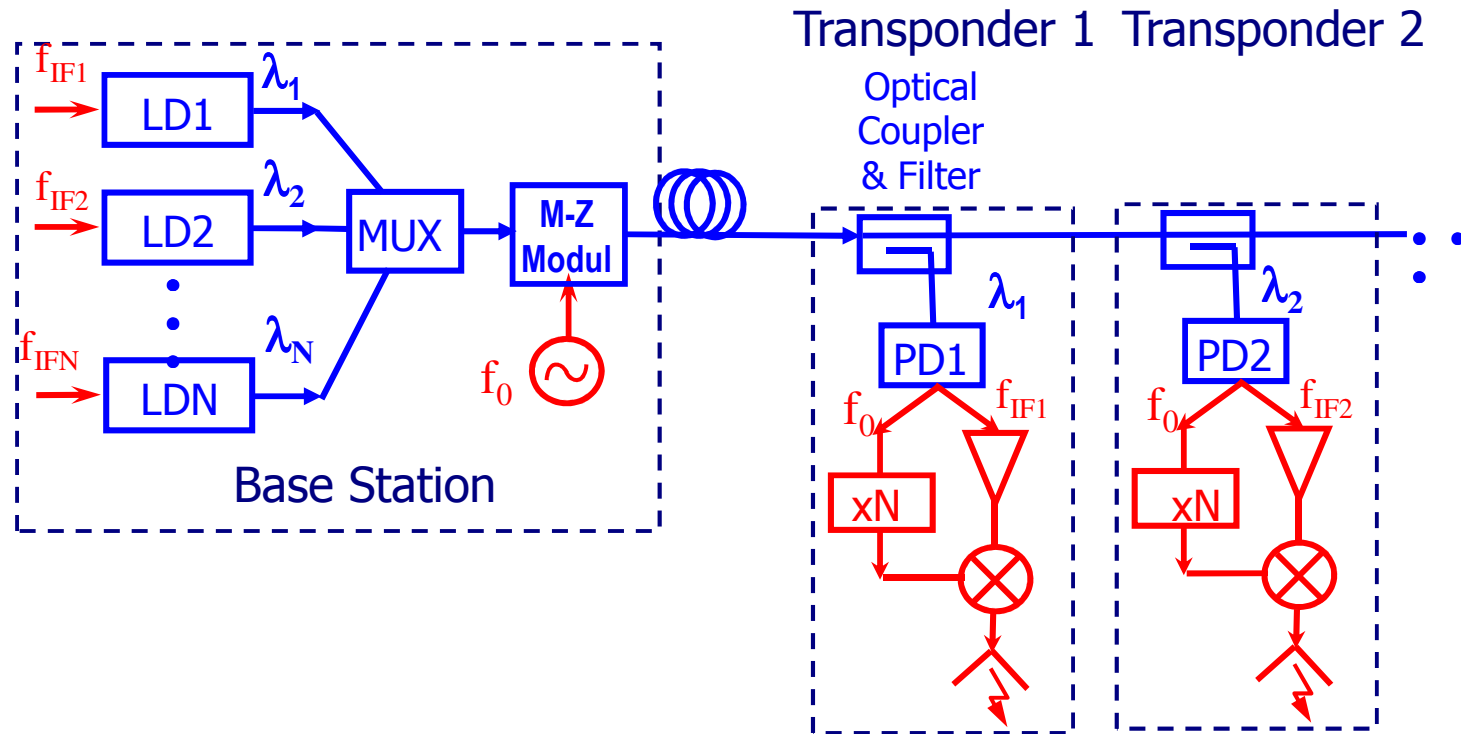
Način generacije mikrovalovnega signala na dislociranem mestu je prikazan na sliki:



- Eden od obeh optičnih signalov je lahko moduliran in ima bočne pasove. V tem primeru se bočna pasova preneseta na vmesno frekvenco.



# Primer WDM PONa



# Optični prenos mikrovalov

## • Direktna modulacija laserja

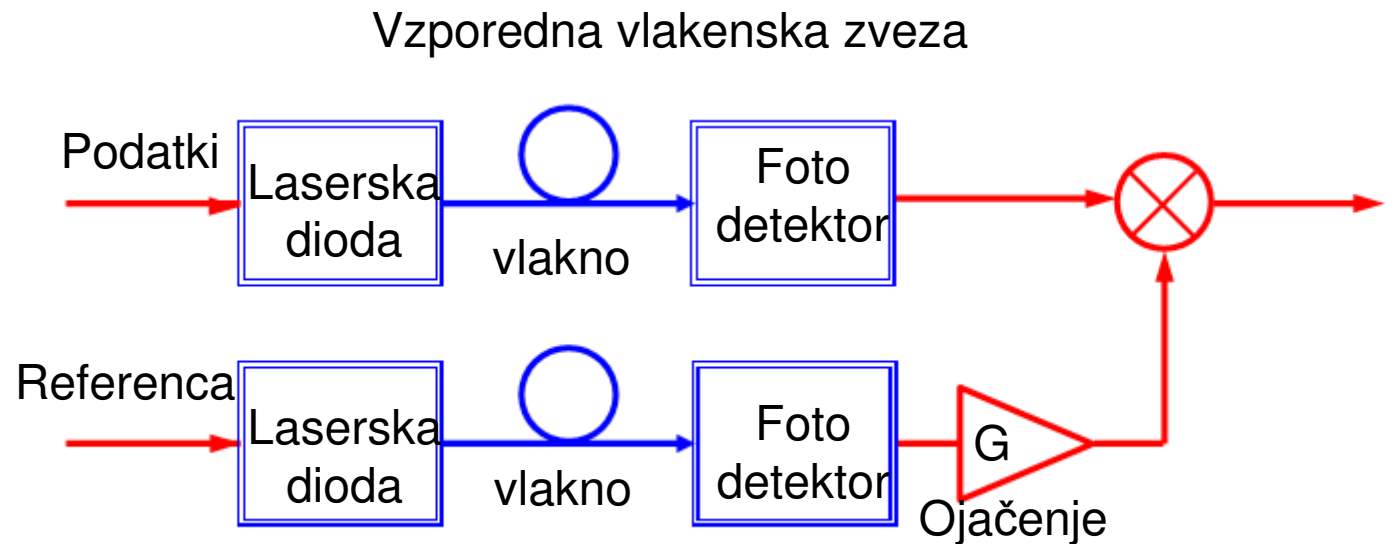
### Osnovni način:

- Podatkovni signal dvignemo na frekvenco mikrovalovnega nosilnika in z njim moduliramo laser



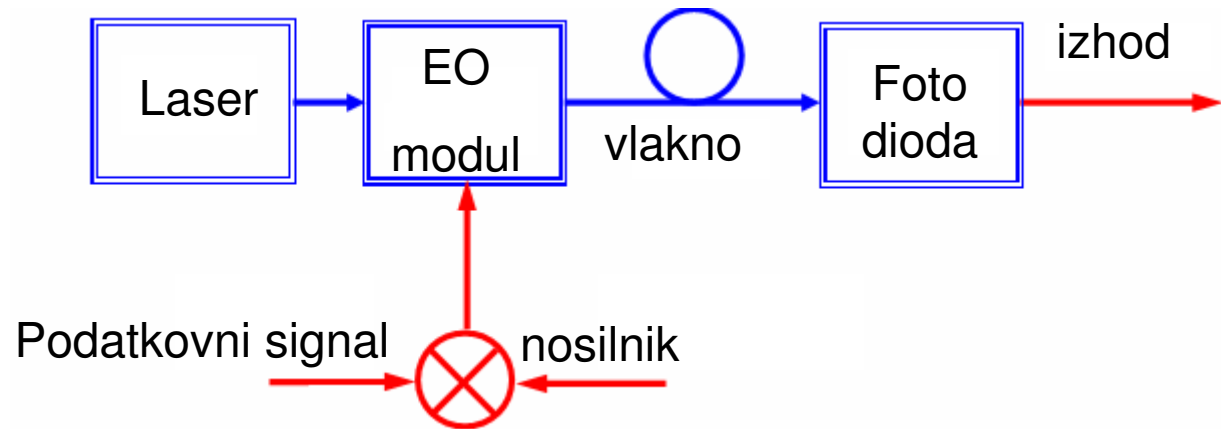
### Variantni način:

- Podatkovni signal in referenčni nosilnik prenašamo vzporedno po dveh vlakenskih zvezah. Znatno izboljšamo dinamično območje.

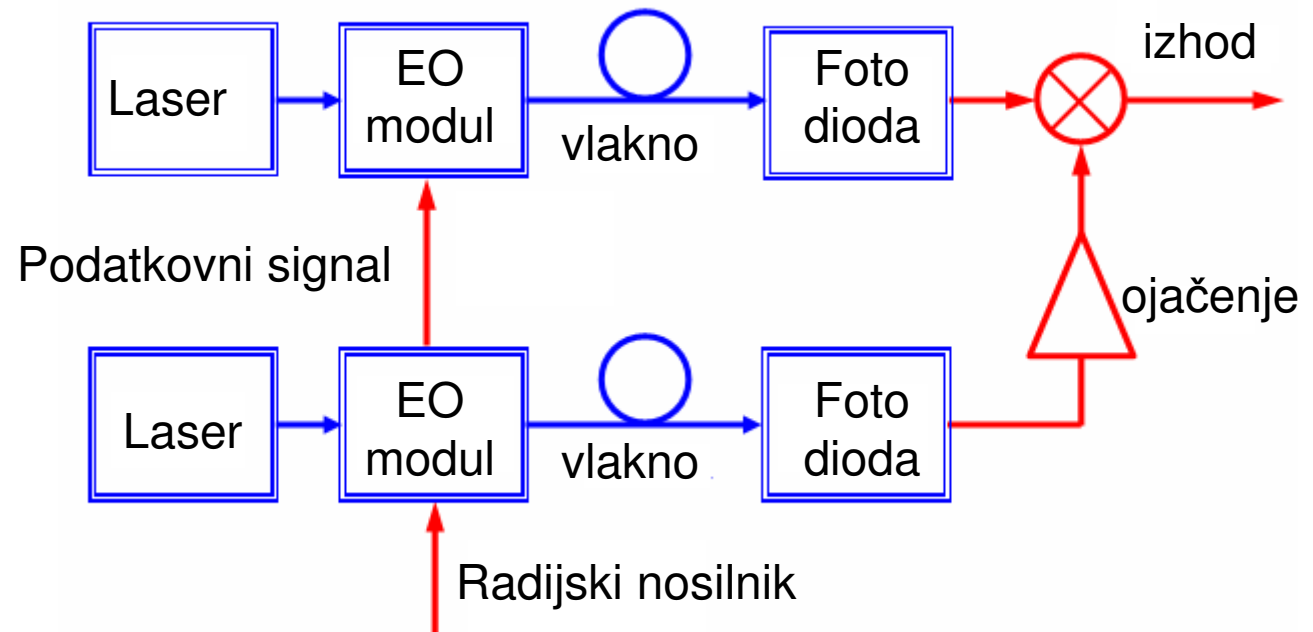


# Optični prenos mikrovalov

- Zunanja modulacija laserja

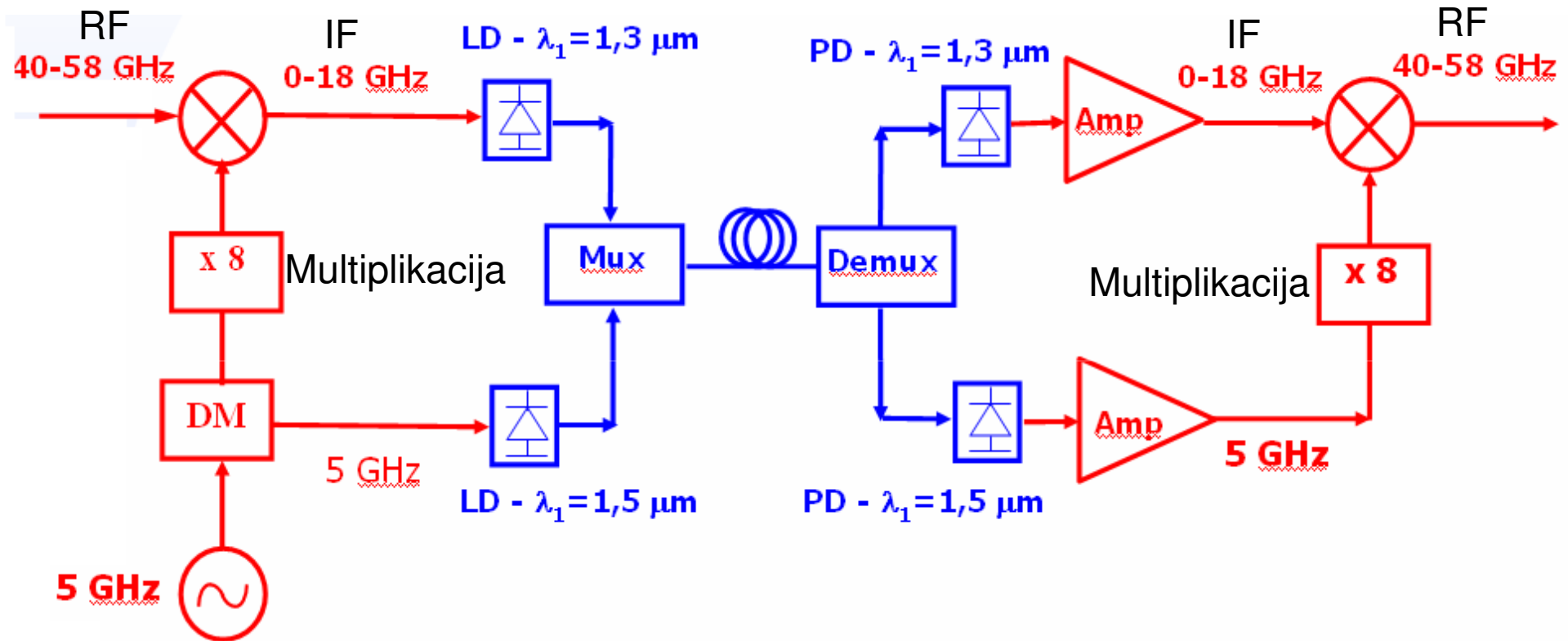


Prenos poteka podobno kot na predhodni sliki

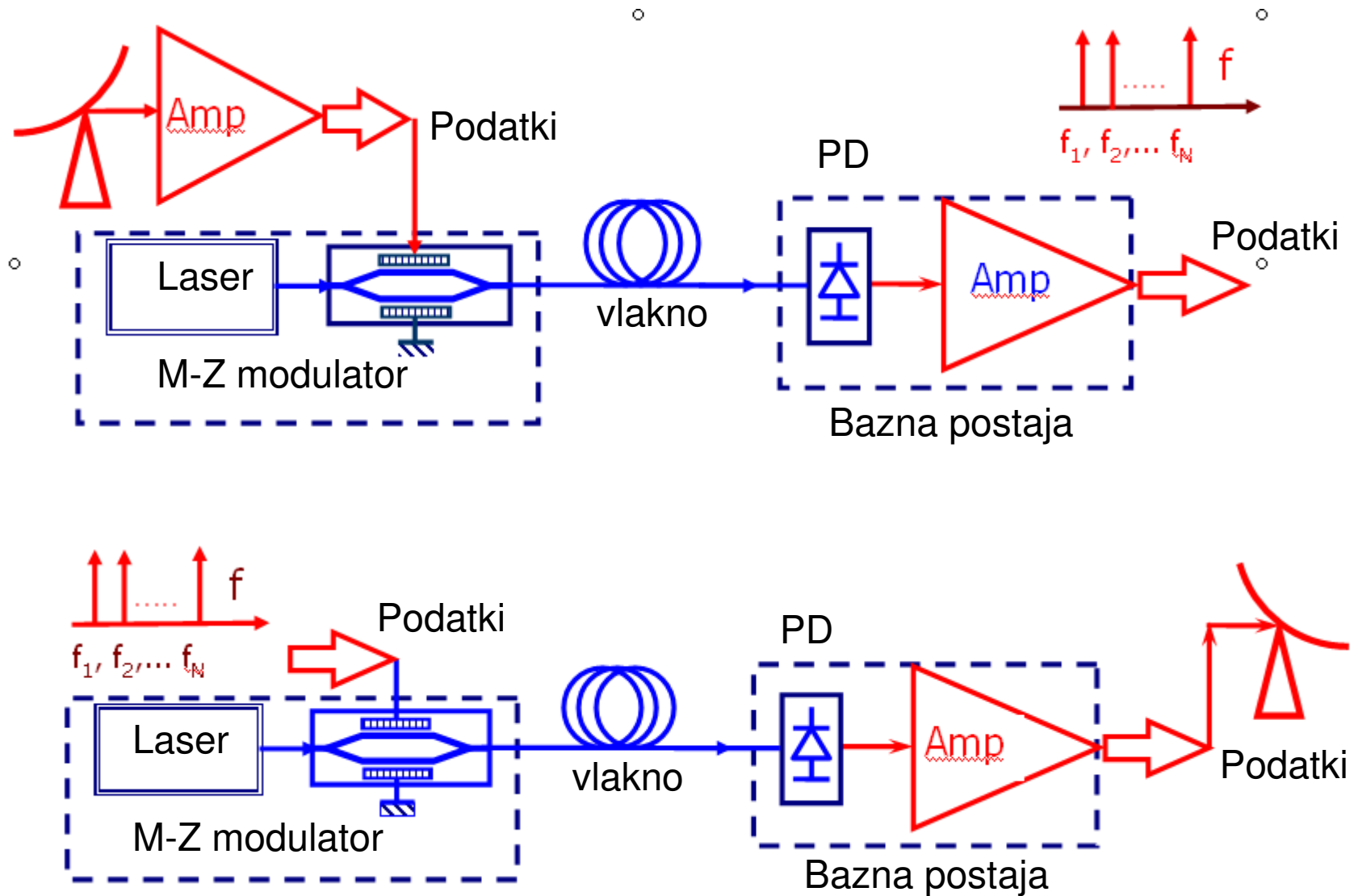


# ROF s konverzijo navzgor

60



# Sprejem in oddaja preko antene



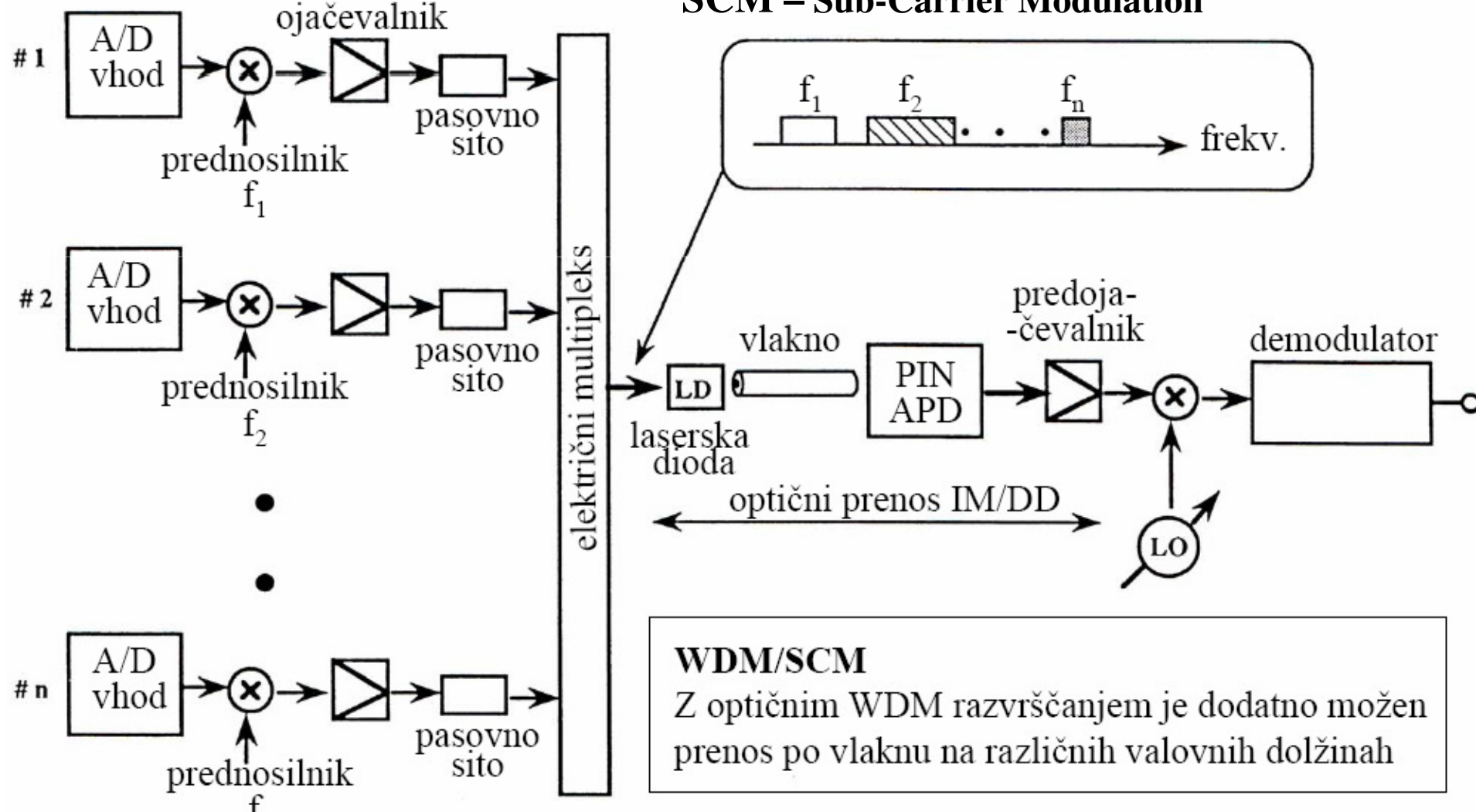
SCM ROF

# Razvrščanje rad. signala na podnosilnikih <sup>63</sup>

## Električno razvrščanje na radijskih podnosilnikih in električni multipleks:

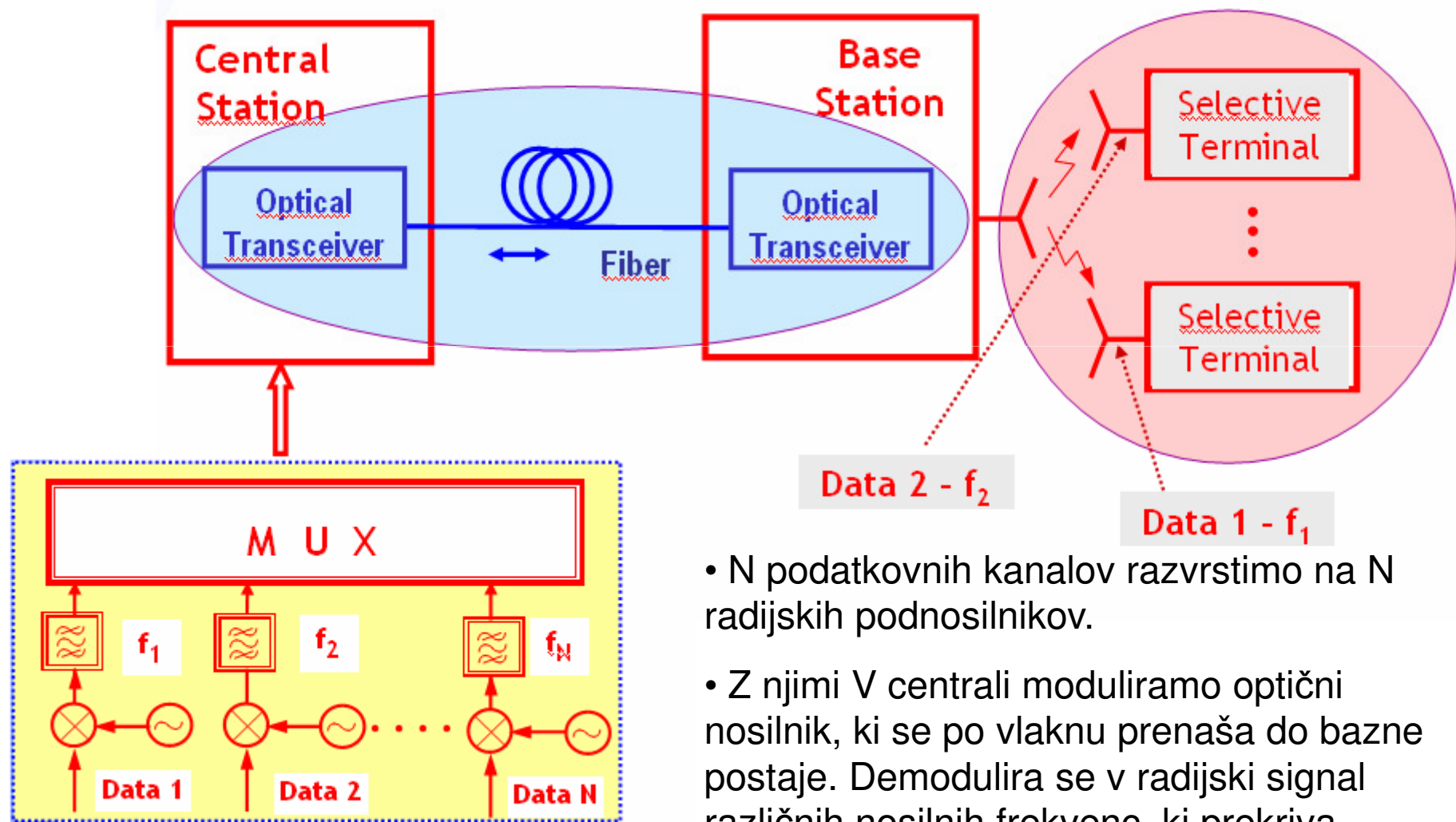
- intenzitetna modulacija (IM) laserja, prenos po vlaknu in direktna detekcija (DD)
- koherentni sprejem v radijskem spektru (mešanje detektiranega signala s signalom lokalnega oscilatorja)

## SCM – Sub-Carrier Modulation



# Mnogokanalni podnosilniški prenos

- SCM – Sub Carrier Multiplexing (podnosilniški prenos)



- N podatkovnih kanalov razvrstimo na N radijskih podnosilnikov.

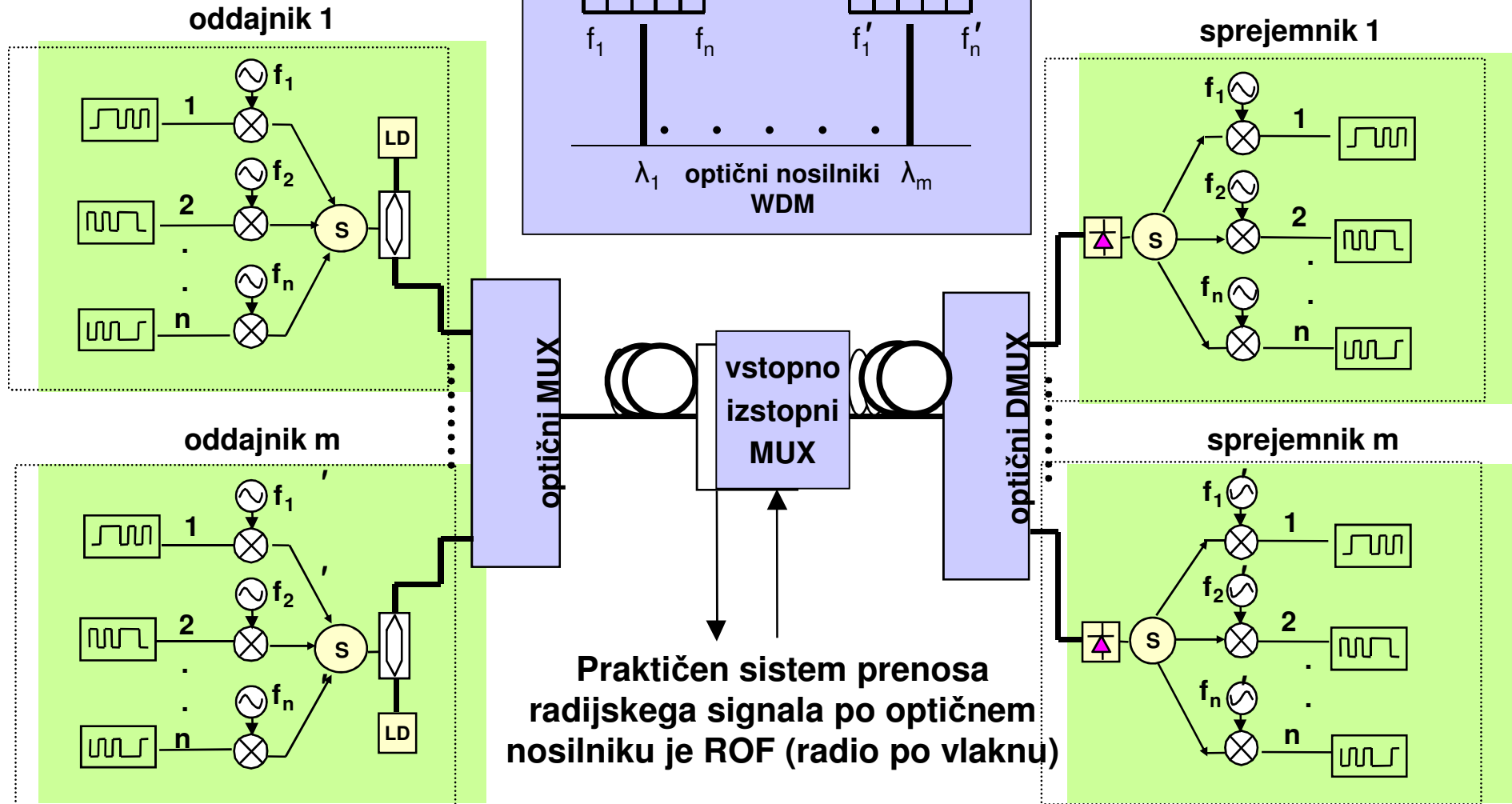
- Z njimi v centrali moduliramo optični nosilec, ki se po vlaknu prenaša do bazne postaje. Demodulira se v radijski signal različnih nosilnih frekvenc, ki prekriva področje celice.



# SISTEM WDM/SCM

**WDM – razvrščanje optičnih kanalov po valovni dolžini**

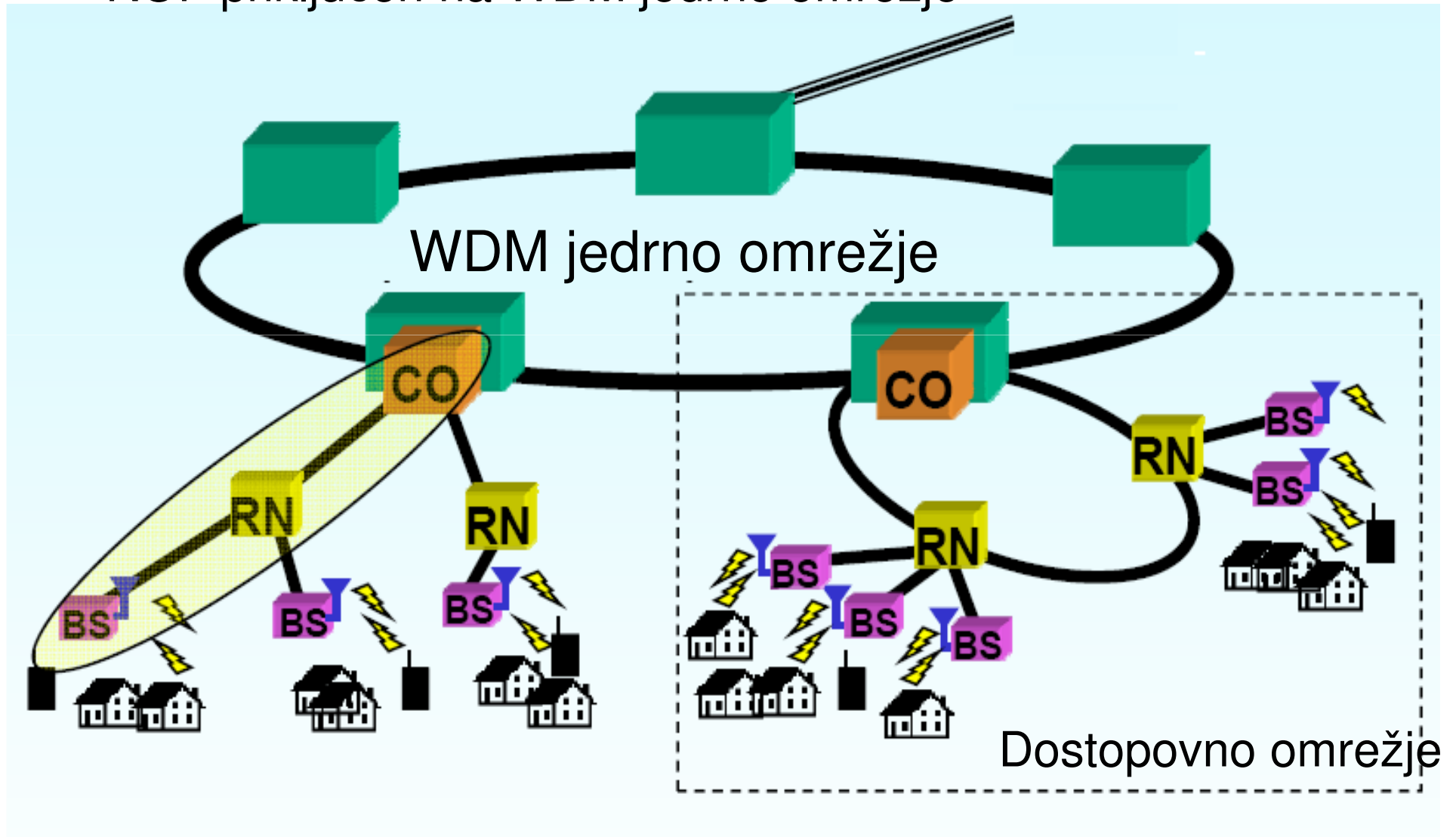
**SCM – razvrščanje radijskih (n.pr.TV) kanalov po frekvenci**



**WDM ROF**

# WDM ROF

- ROF priključen na WDM jedrno omrežje



# Kombinacija (D)WDM in ROF

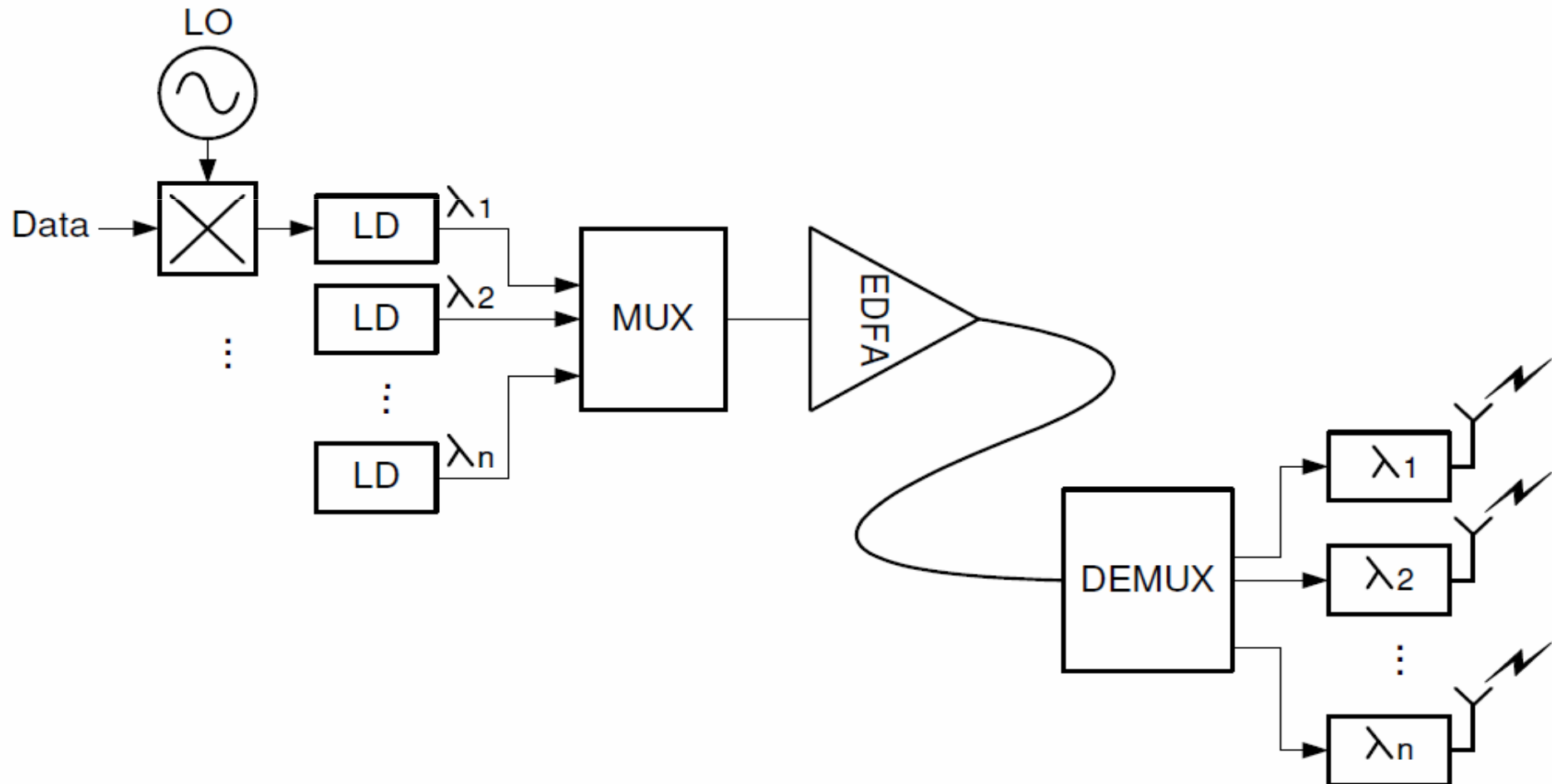
Modulacija

Multipleks

Prenos

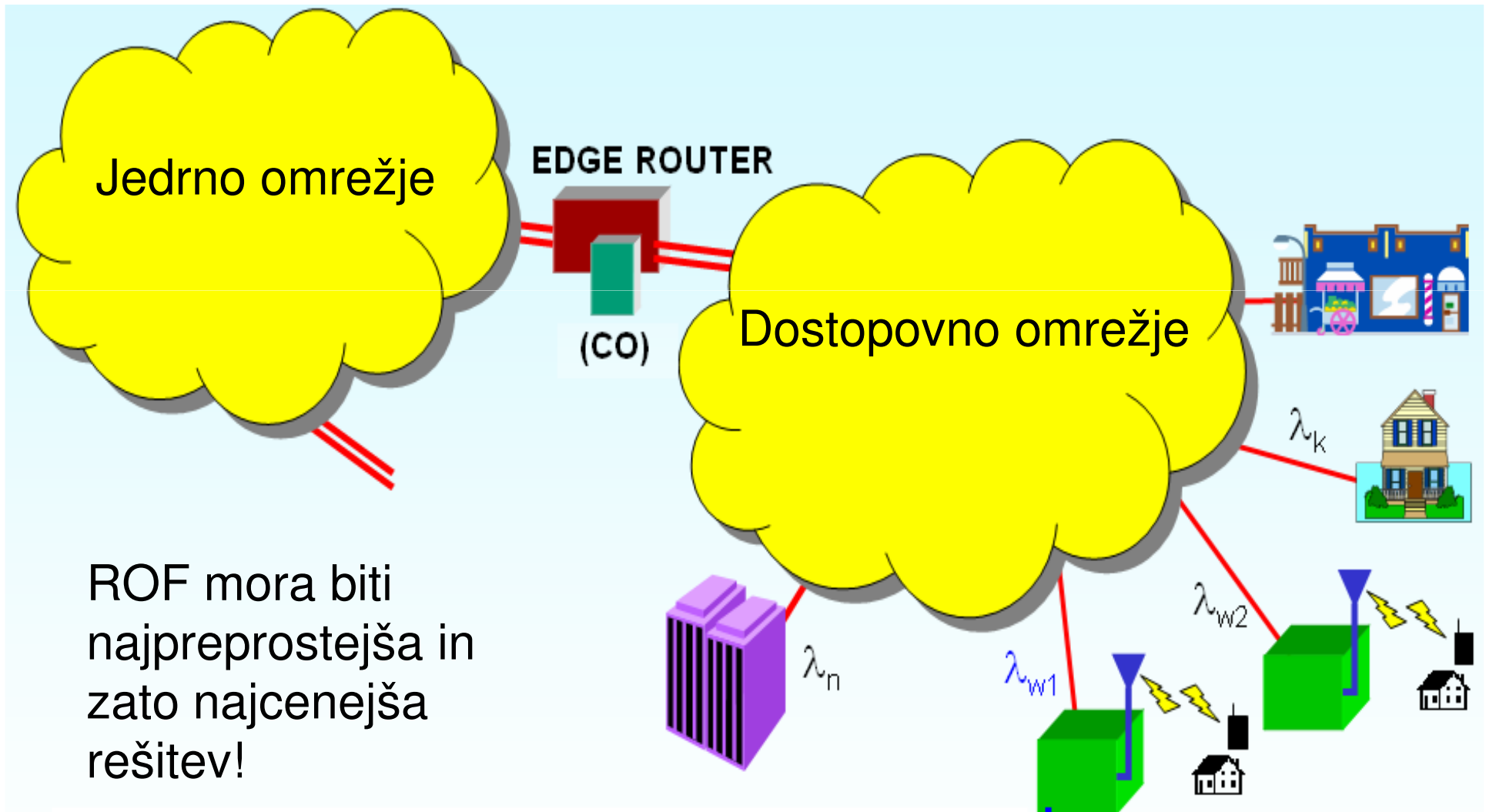
Demultipleks

Radijska  
distribucija



# WDM dostopovno omrežje z ROF

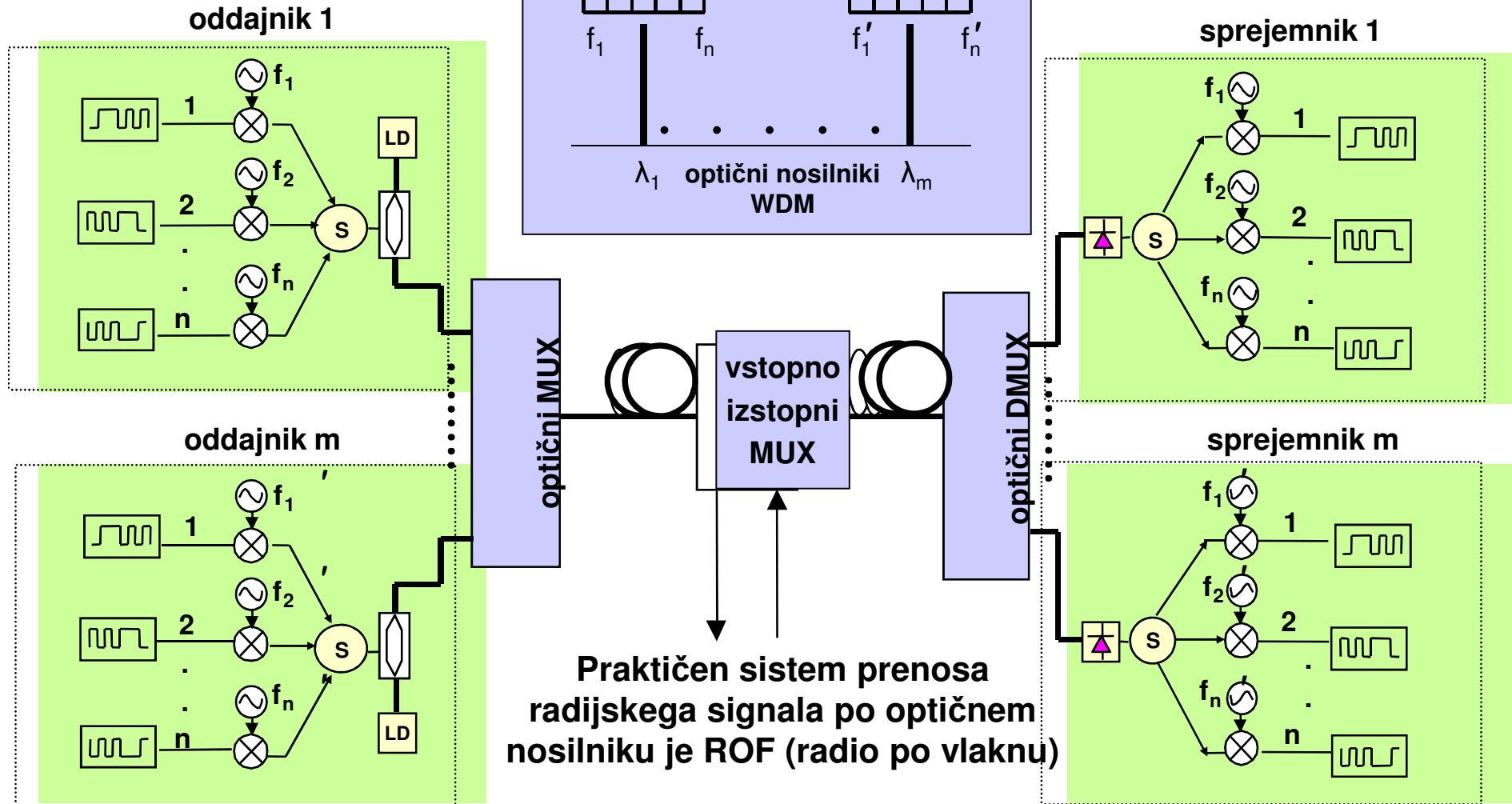
- Valovni dolžini  $\lambda_{W1}$  in  $\lambda_{W2}$  rezervirani za radijski dostop



# SISTEM WDM/SCM

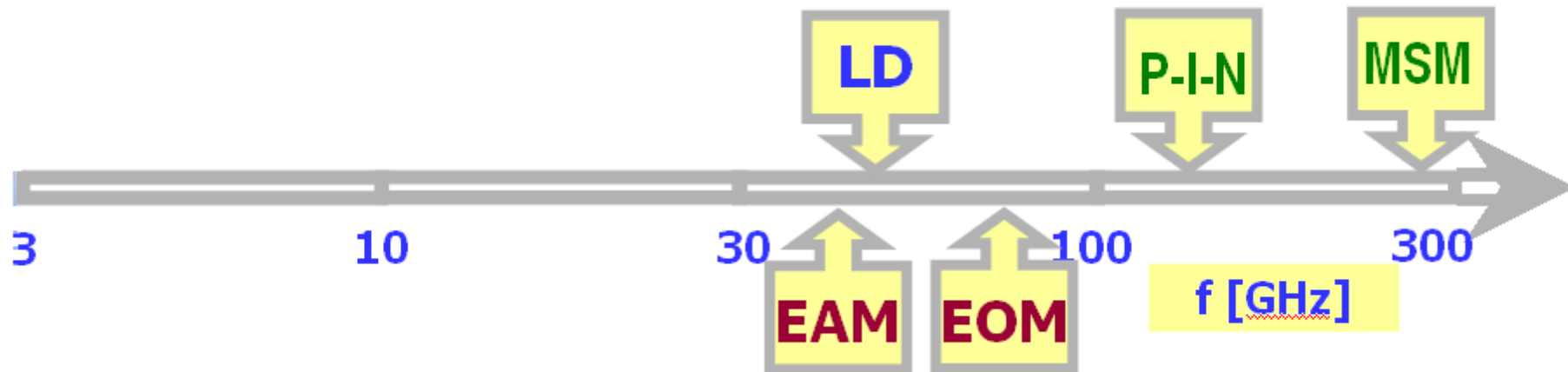
**WDM – razvrščanje optičnih kanalov po valovni dolžini**

**SCM – razvrščanje radijskih (n.pr.TV) kanalov po frekvenci**



# Naprave

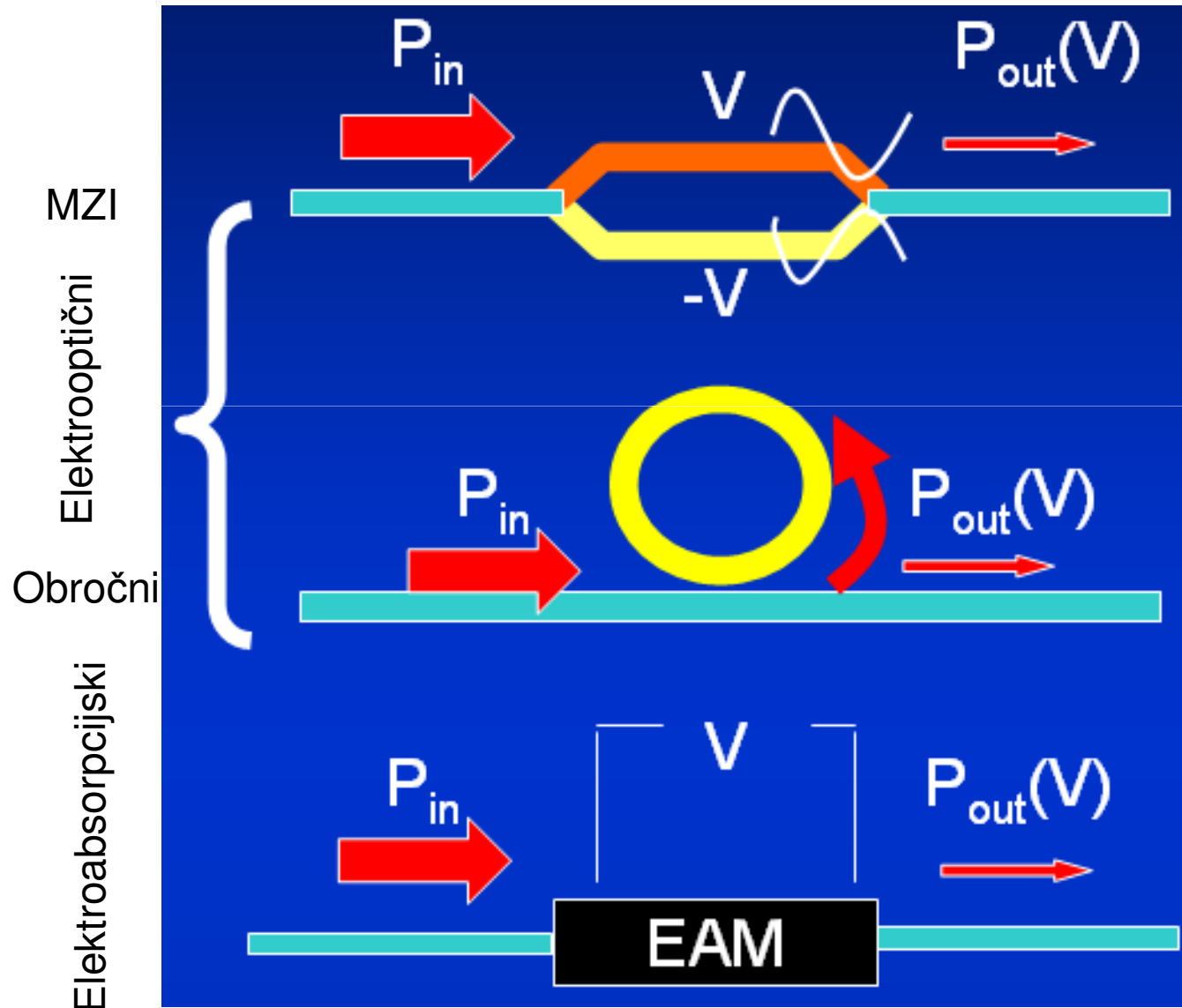
# Sestavni deli in frekvenčne meje



- Laserska dioda LD direktna modulacija do 40 GHz
- Elektro-optični modulator EOM TW LiNbO<sub>3</sub> Mach-Zehnder
- Elektroabsorpcijski modulator EAM
- PIN fotodetektor do 100 MHz
- PIN MSM (Metal-Semiconductor-Metal) do 300 MHz



# Elektrooptični (EO) in elektroabsorpcijski (EA) modulator<sup>73</sup>

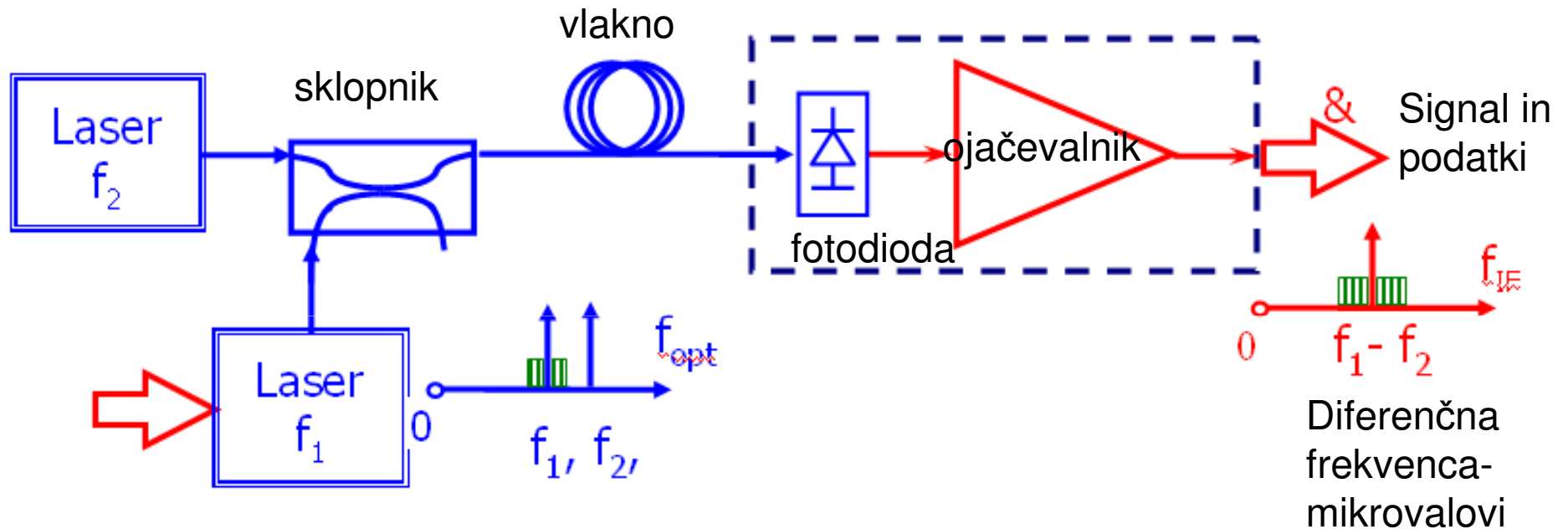


Principi delovanja:

Odvisnost  $\Delta n$  od napetosti  $V$  (interferenca)

Odvisnost  $\Delta \alpha$  od napetosti  $V$

# Optična generacija mikrovalov

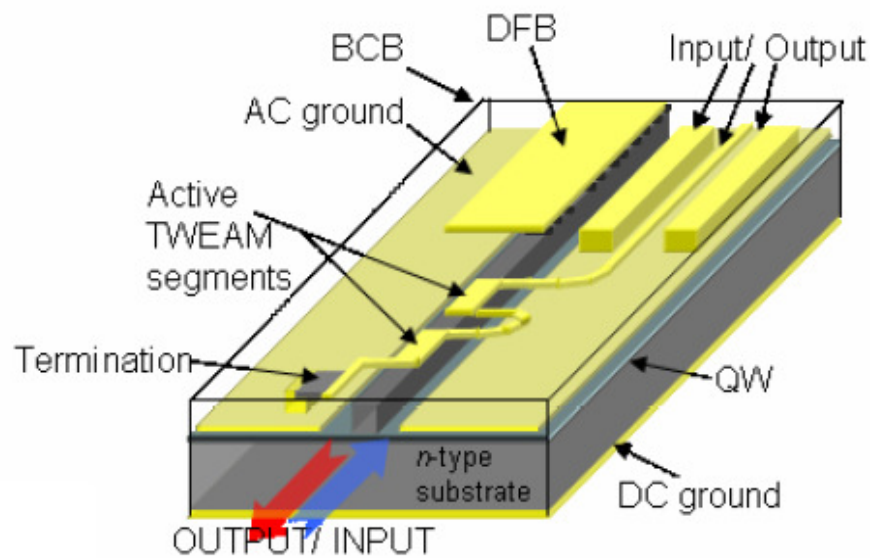
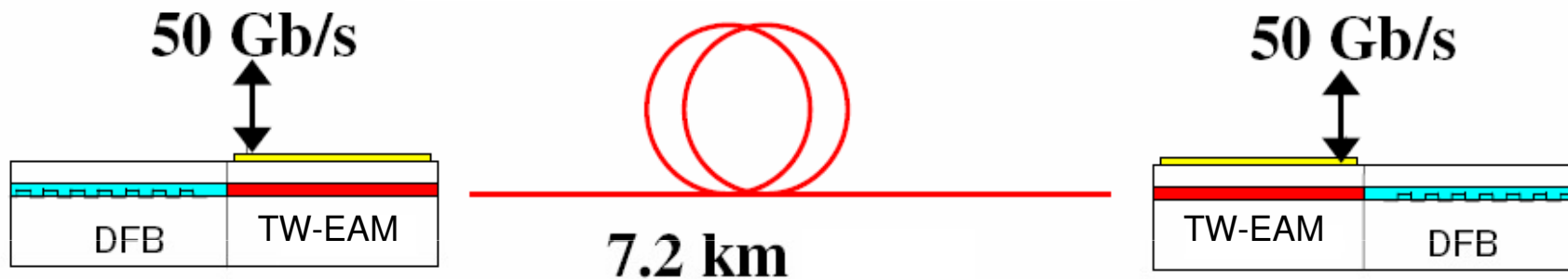


Z mešanjem dveh spektralno čistih signalov na bližnjih optičnih frekvencah generiramo na fotodiodi signal diferenčne frekvence, ki lahko pade v mikrovalovno področje.

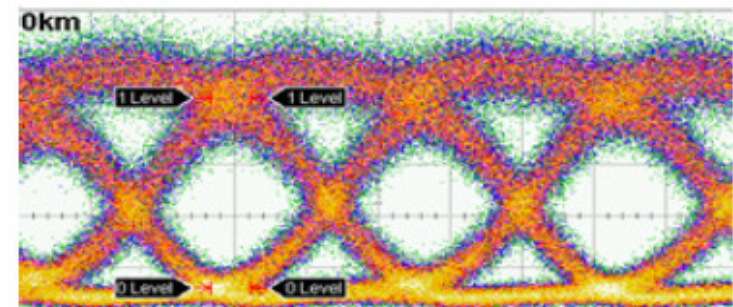
Če je eden od optičnih signalov moduliran, se modulacija prenese na mikrovalovni signal.

# Integrirani elementi

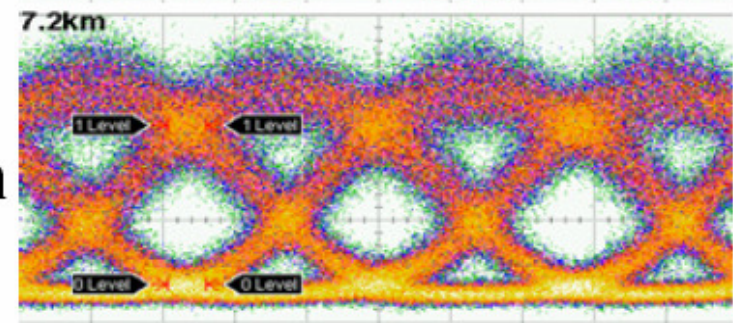
- DFB – Distributed Feedback Laser
- TW-EAM – Travelling Wave Electro Absorption Modulator



0 km

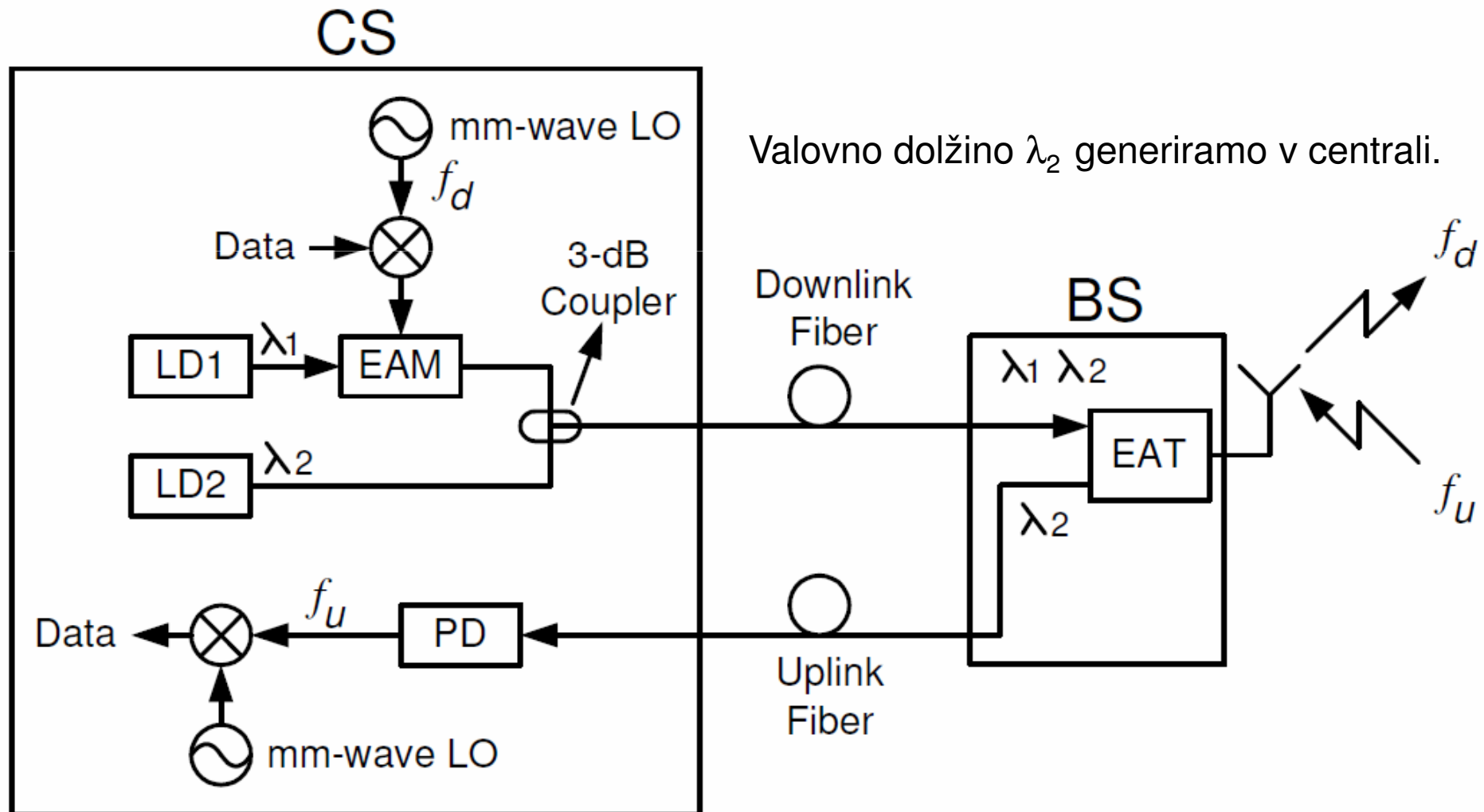


7.2 km



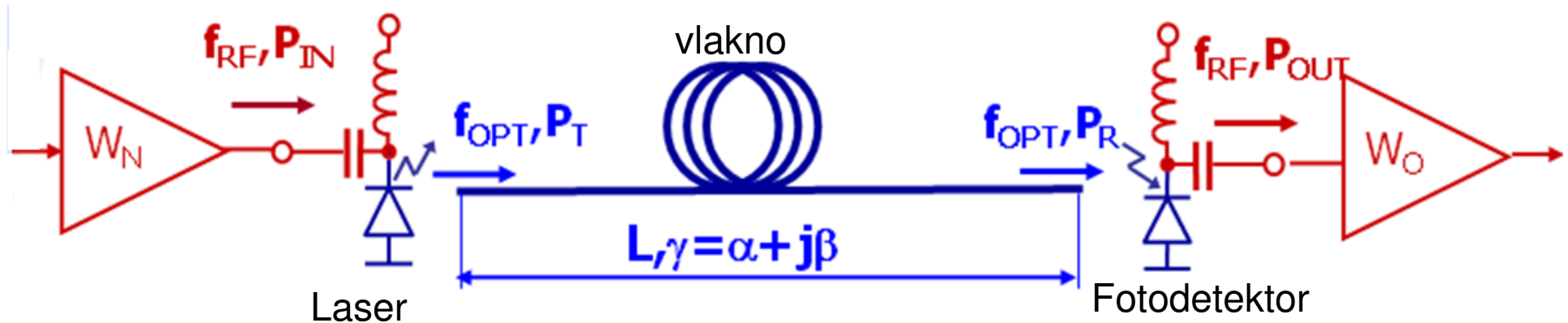
# Elektroabsorpcijski oddajnik/sprejemnik

- EAT – Electro Absorption Transceiver (Transmitter/Receiver)
- Centrala pošilja dodatno valovno dolžino za povratno zvezo



# Direktna modulacija laserja

Mikrovalovni signal  $P_{IN}, f_{RF}$    Optični signal  $P_T, f_{OPT}, P_R$    Mikrovalovni signal  $f_{RF}, P_{OUT}$



Primer najpreprostejše direktne intenzitetne modulacije laserja.

Ojačenje zveze  $G$  je razmerje izhodne in vhodne RF moči.

$$G = \frac{P_{OUT}(f_{RF})}{P_{IN}(f_{RF})} = \frac{P_{OUT}(f_{RF}) P_R(f_{OPT}) P_T(f_{OPT})}{P_R(f_{OPT}) P_T(f_{OPT}) P_{IN}(f_{RF})};$$

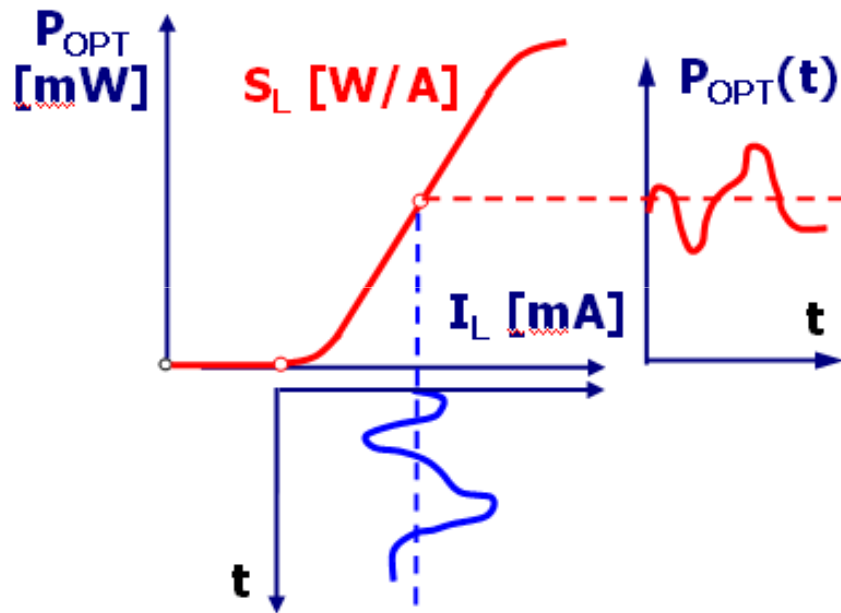
Modulacija

Prenos

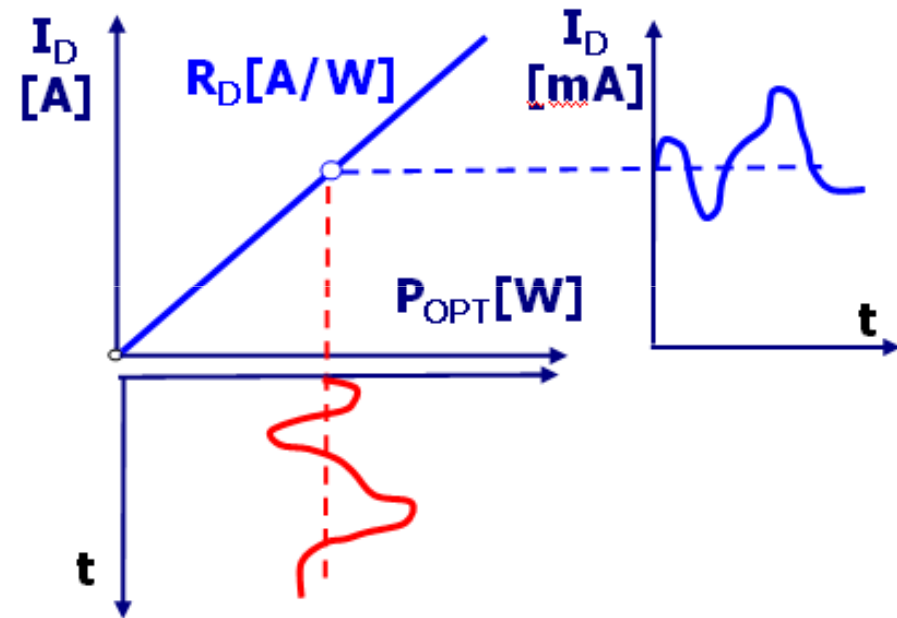
Detekcija

# Direktna analogna modulacija laserja

Modulacija



Detekcija



Dobitek analogne optične zveze:

$$G = S_L^2 R_D^2$$

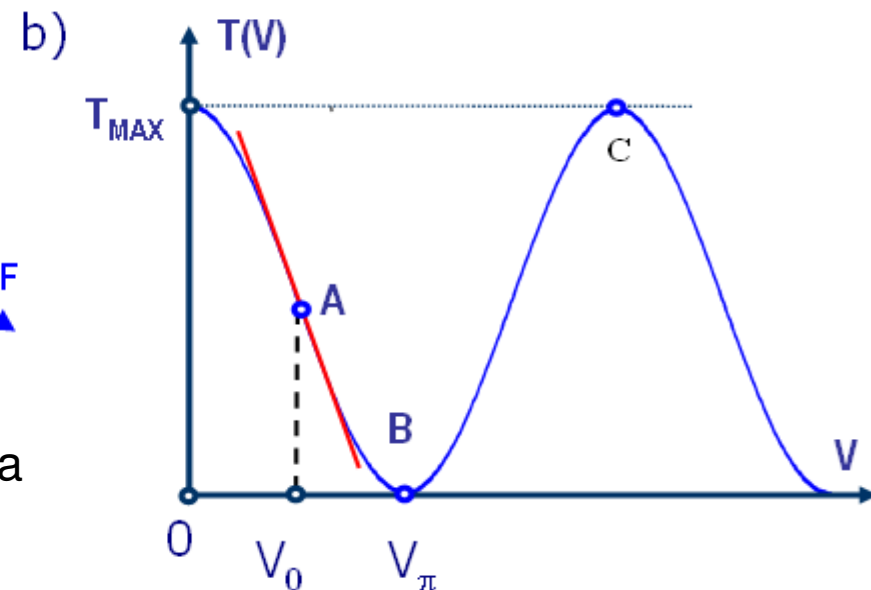
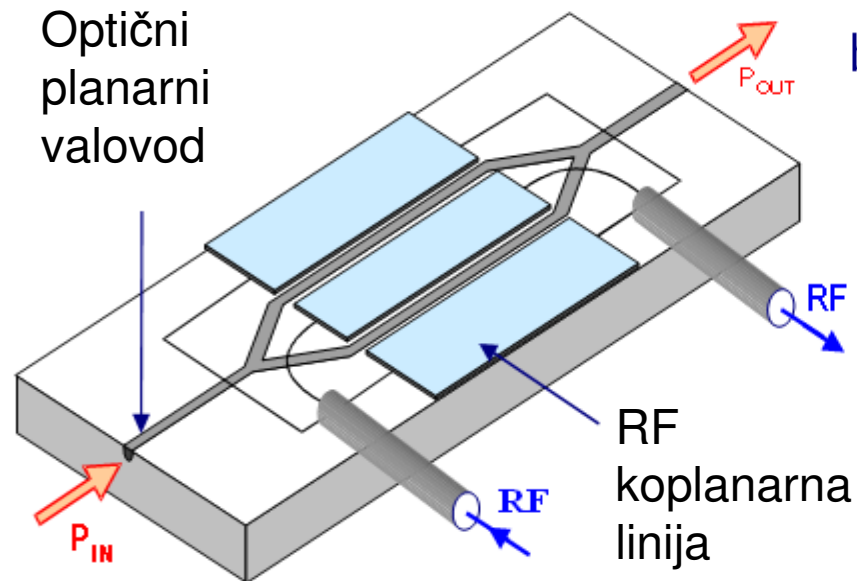
# Optični modulator

- Mach-Zehnderjev elektro-optični modulator (EOM) na potujoči RF val (TW-EOM)

Izhodna RF karakteristika modulatorja

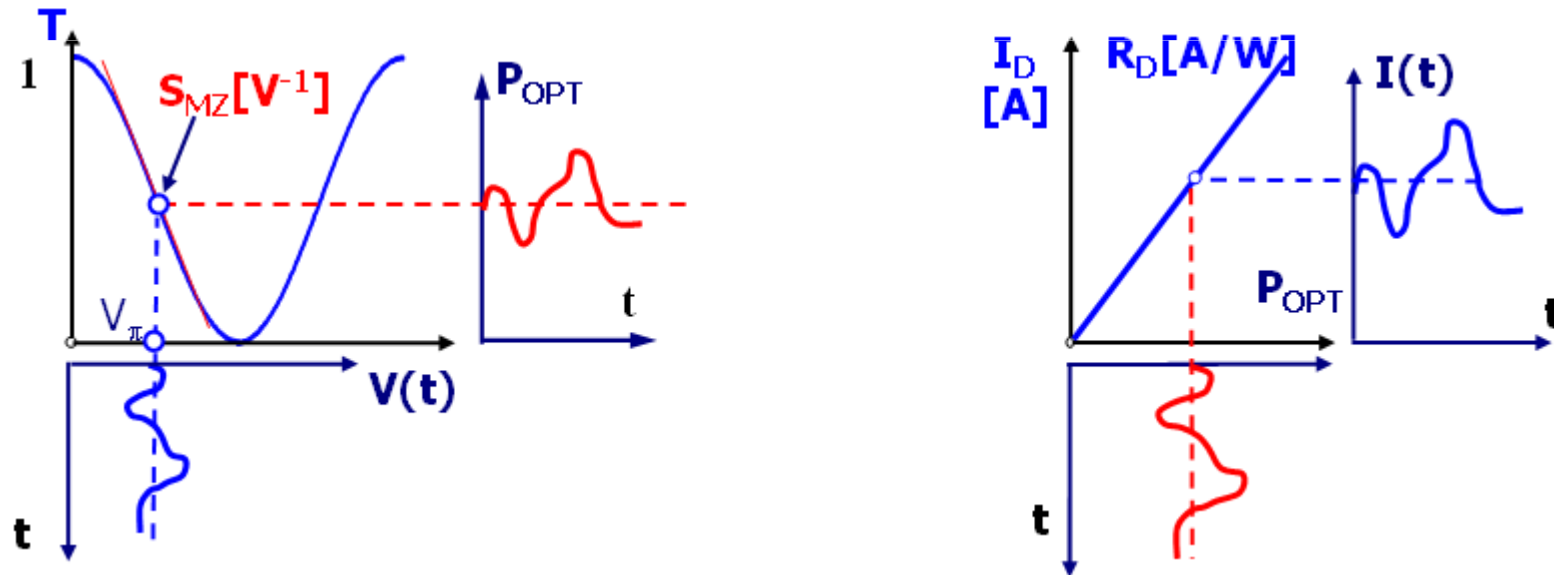
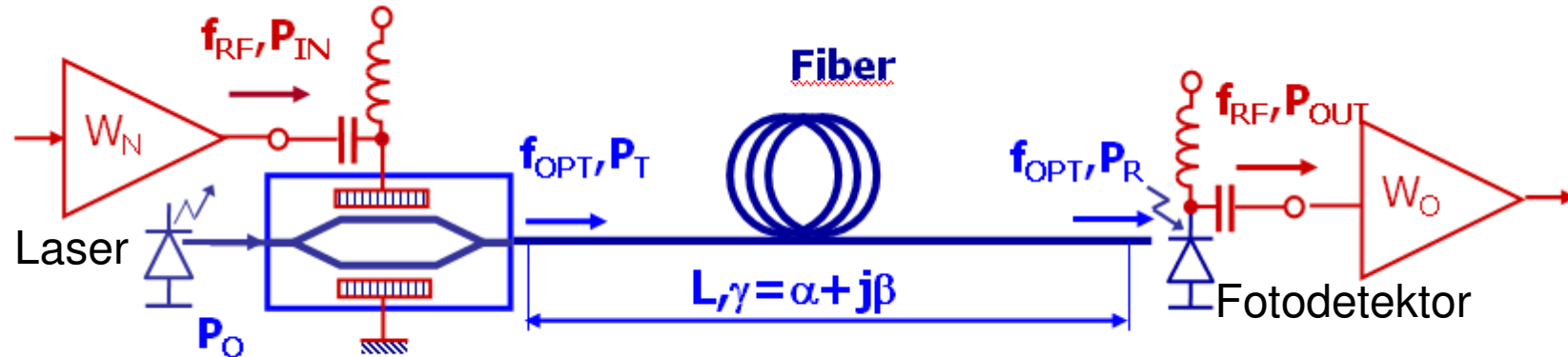
$$T_N(V_0, V_{RF}) = \frac{P_{OUT}}{P_{IN} T_{MAX}} = \frac{1}{2} \left\{ 1 + \cos \left[ \phi_0(V_0) + \frac{\pi V_{RF}}{V_\pi} \right] \right\};$$

RF val potuje vzporedno z optičnim valom. Uporabljamo linearni del karakteristike modulatorja



# Zunanja modulacija z EOM

- Mach-Zehnder EOM



$$S_{MZ} = \left. \frac{\partial T(V)}{\partial V} \right|_{V=V_{\pi}} = -\frac{\pi T_{MAX}}{2V_{\pi}};$$



# ROF - omejitve z modulacijo

81

**> 50 km, 10-40 Gbit/s  
DFB with Integrated  
or External Modulator**

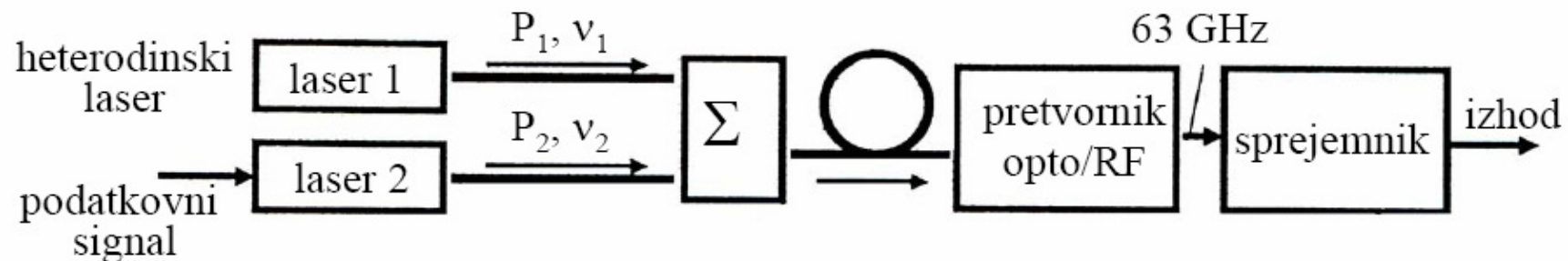
Prednost načinov zunanje modulacije

**> 5 km, 1-10 Gbit/s  
Directly Modulated  
DFB or DBR Laser**

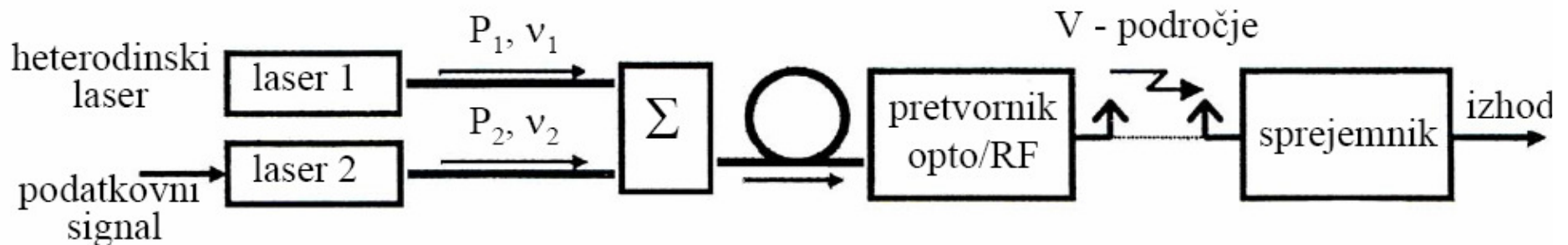
**< 5 km , 0.1-1 Gbit/s  
Directly Modulated  
VCSEL**

# Mikrovalovna heterodinska fotonika

- optični oddajnik pošilja v vlakno signal, ki je moduliran intenzitetno s SCM razvrščenimi podnosilniki
- optični oddajnik pošilja hkrati tudi heterodinski signal za mešanje na detektorju in generacijo signala na 63 GHz
- ta signal sprejemamo z mikrovalovnim sprejemnikom neposredno (prva slika) oziroma po radiu (druga slika)
- radijski prenos zaradi večjega slabljenja na frekvenci v 60 GHz področju omogoča manjšo velikost celic mobilnega omrežja

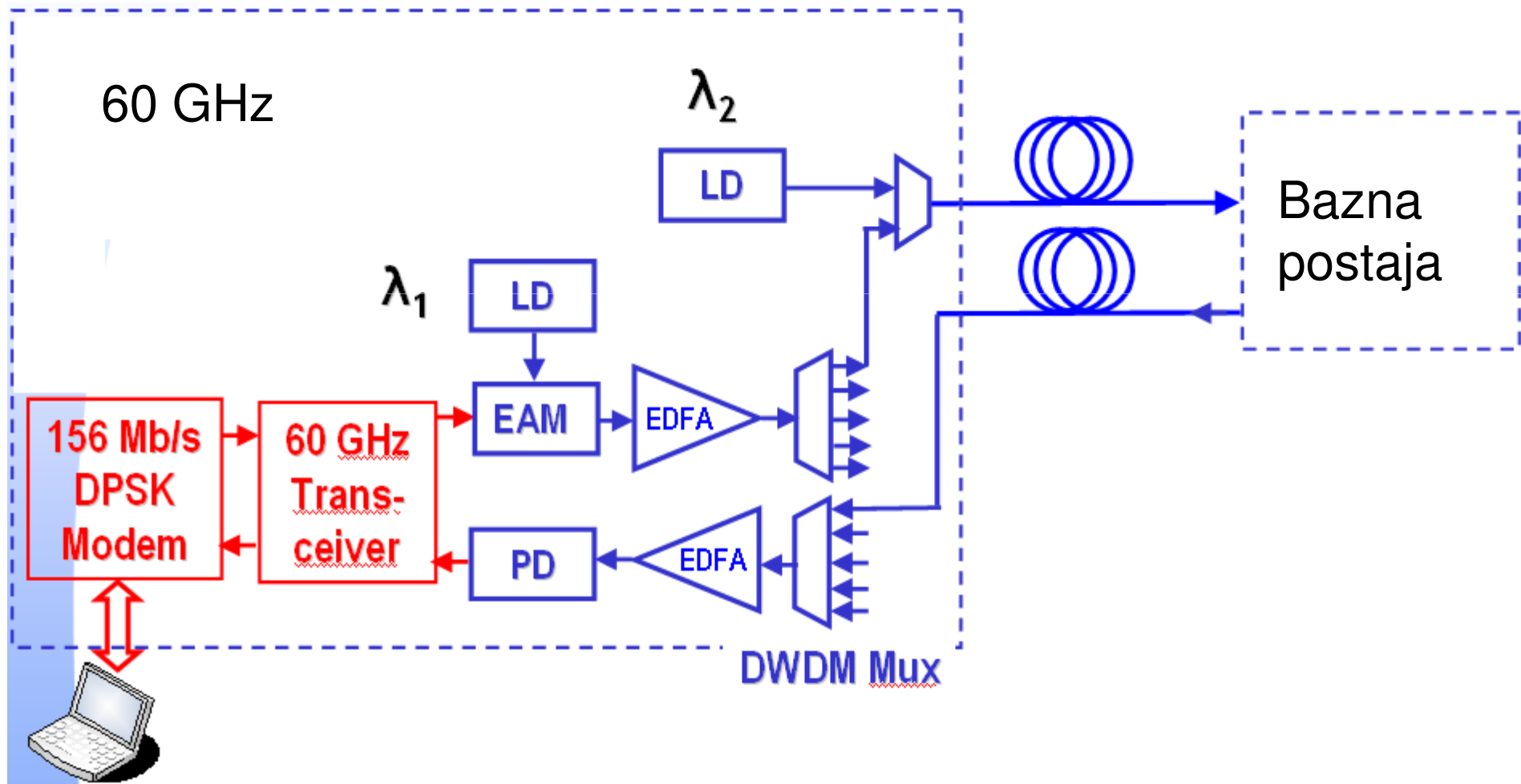


**Zveza s sprejemnikom po radijskem signalu (WLAN):**



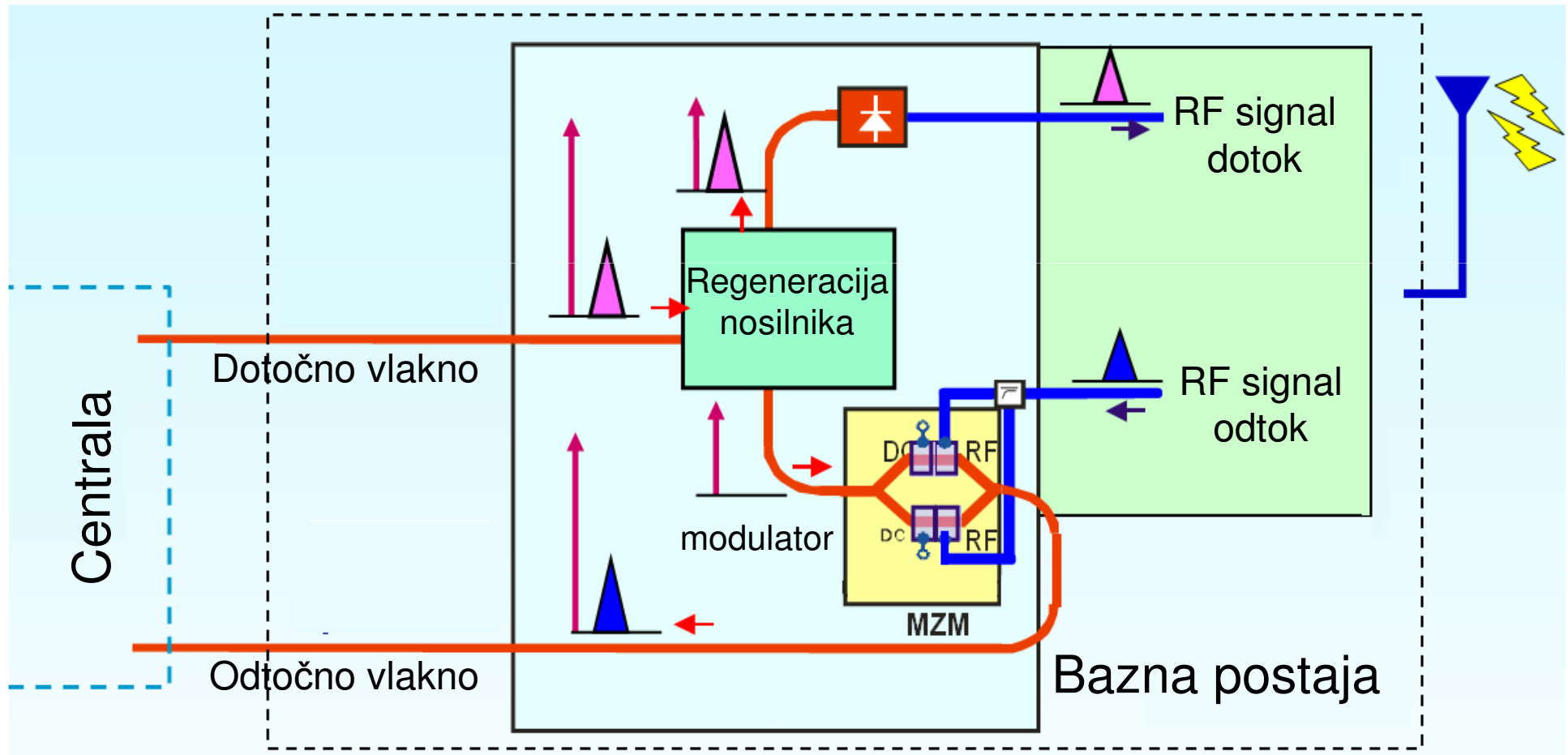
# Signal odtočné zveze

# 60-GHz prenos T-MT

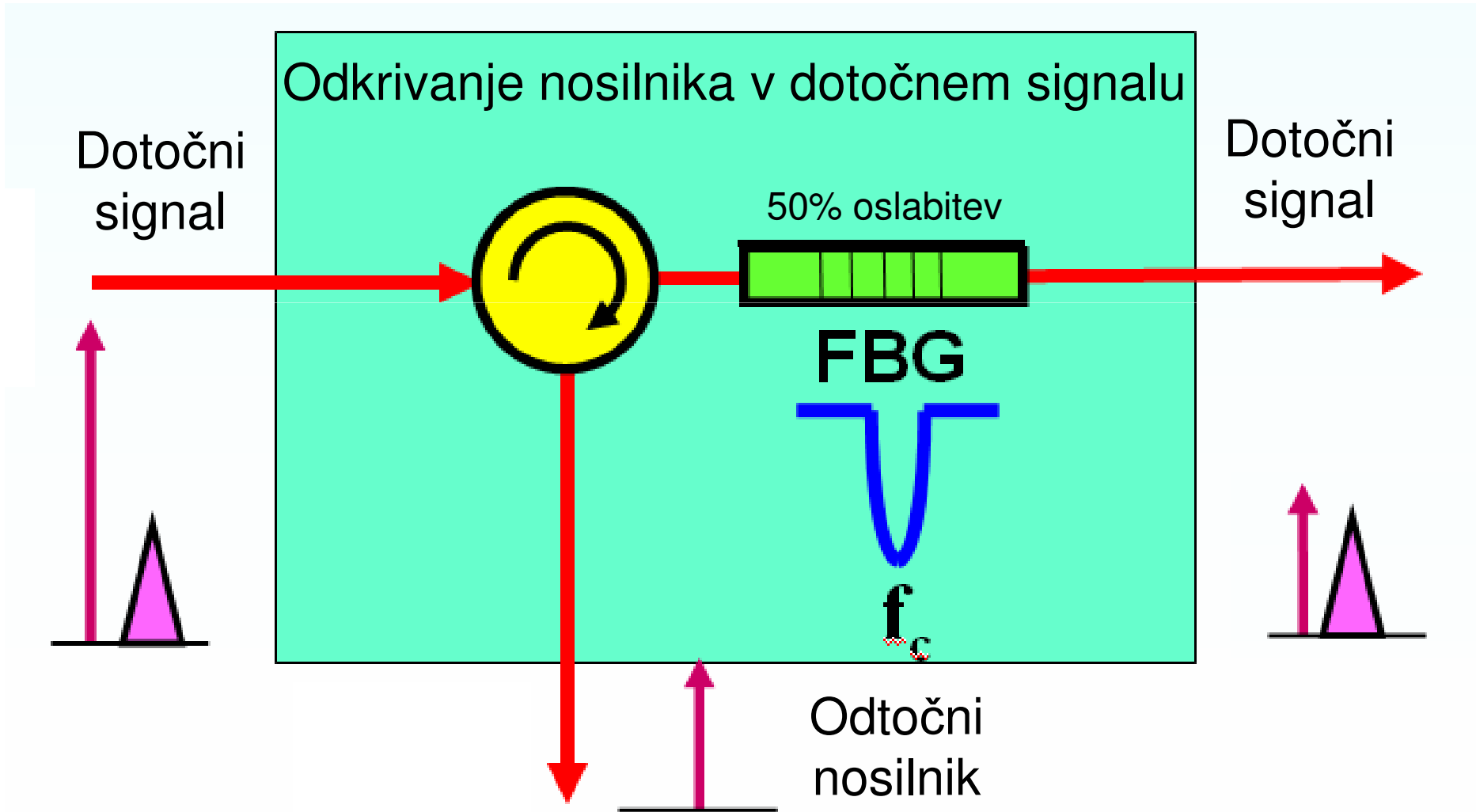


# Odkrivanje nosilnika za odtočno zvezo

- Z regeneracijo pridobimo nosilnik, ki ga moduliramo in pošiljamo v odtočno vlakno

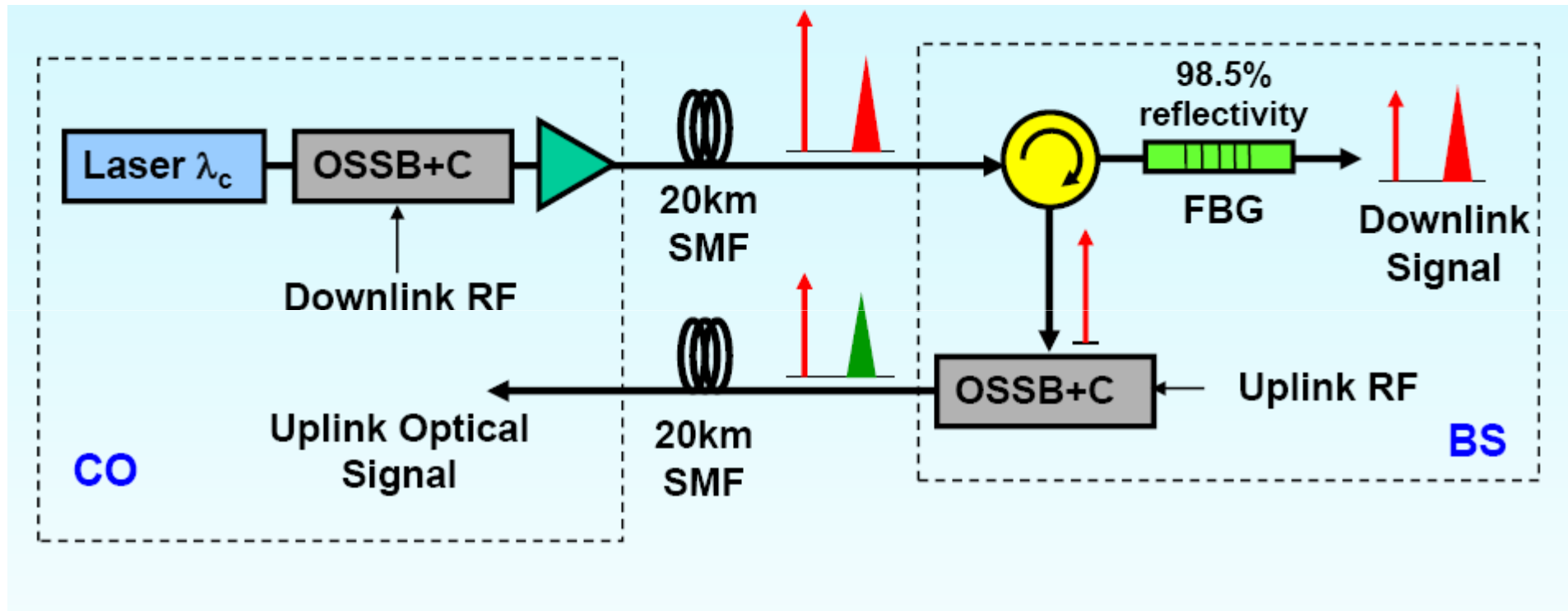


# Regeneracija nosilnika



# Primer OSSB z regeneracijo nosilnika

$f_{RF} = 35 \text{ GHz}$  pri  $155 \text{ Mb/s}$



- Ponovna uporaba nosilnika dotočne zveze za povratno zvezo

# Sklep

- ROF je optični del kombiniranega optično-radijsko dostopa.
- Prenos mikrovalov po vlaknu je mogoče realizirati na več načinov (IF ROF, RF ROF, SCM ROF, WDM/SCM ROF).
- Z ROFom dosežemo na visokih mikrovalovnih frekvencah prenos širokih spektrov na večje razdalje, česar ne bi dosegli niti po radijski, niti po kabelski zvezi.
- IF ROF lahko uporablja dvobočni prenos (ODSB), RF ROF na večje razdalje pa zaradi širokega spektra uporablja enobočni prenos (OSSB).
- ROF je v prvi vrsti zamišljen kot preprosta in cenena tehnika, vendar se bodo v njem uporabljale tudi novejšje tehnologije, kakor hitro bodo postale cenovno primerne.



# KONEC