

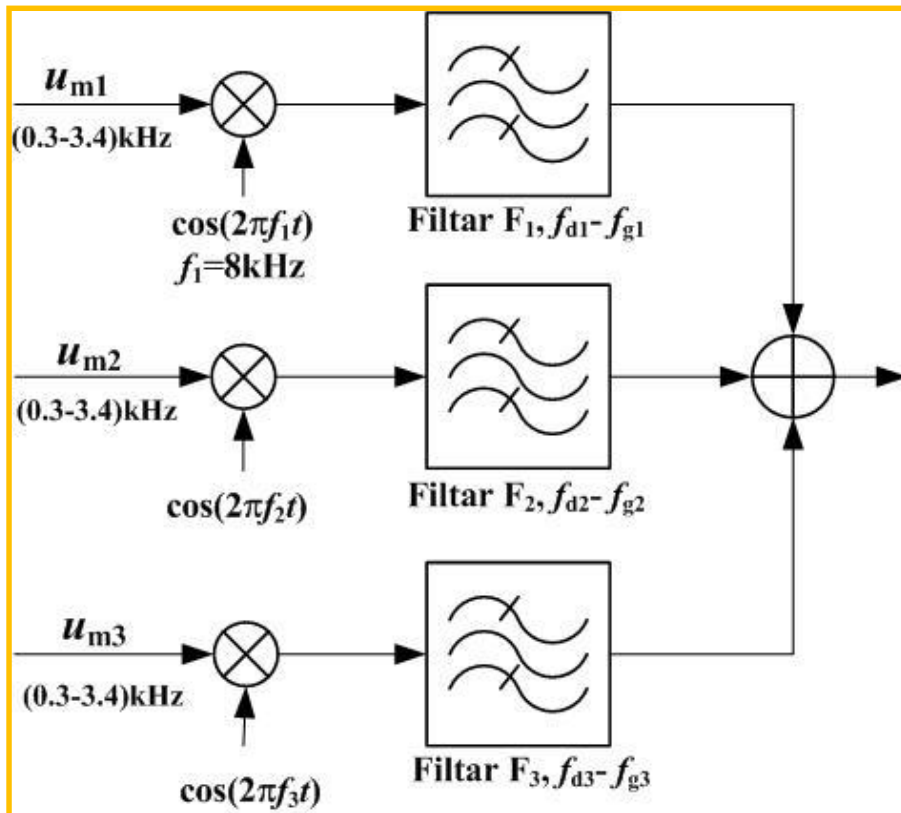


# PRINCIPI MODERNIH TELEKOMUNIKACIJA

*Elektrotehnički fakultet  
Katedra za telekomunikacije  
Beograd, 2019/2020.*

# Zadatak 1 – FDM AM1BO

Na slici je prikazan trokanalni telefonski multipleks sa frekvencijskom raspodelom kanala (FDM). Filtrima propusnicima opsega učestanosti propuštaju se gornji bočni opsezi (GBO) signala sa izlaza produktnih modulatora (u svakom od kanala primenjena je AM1BO modulacija sa GBO)

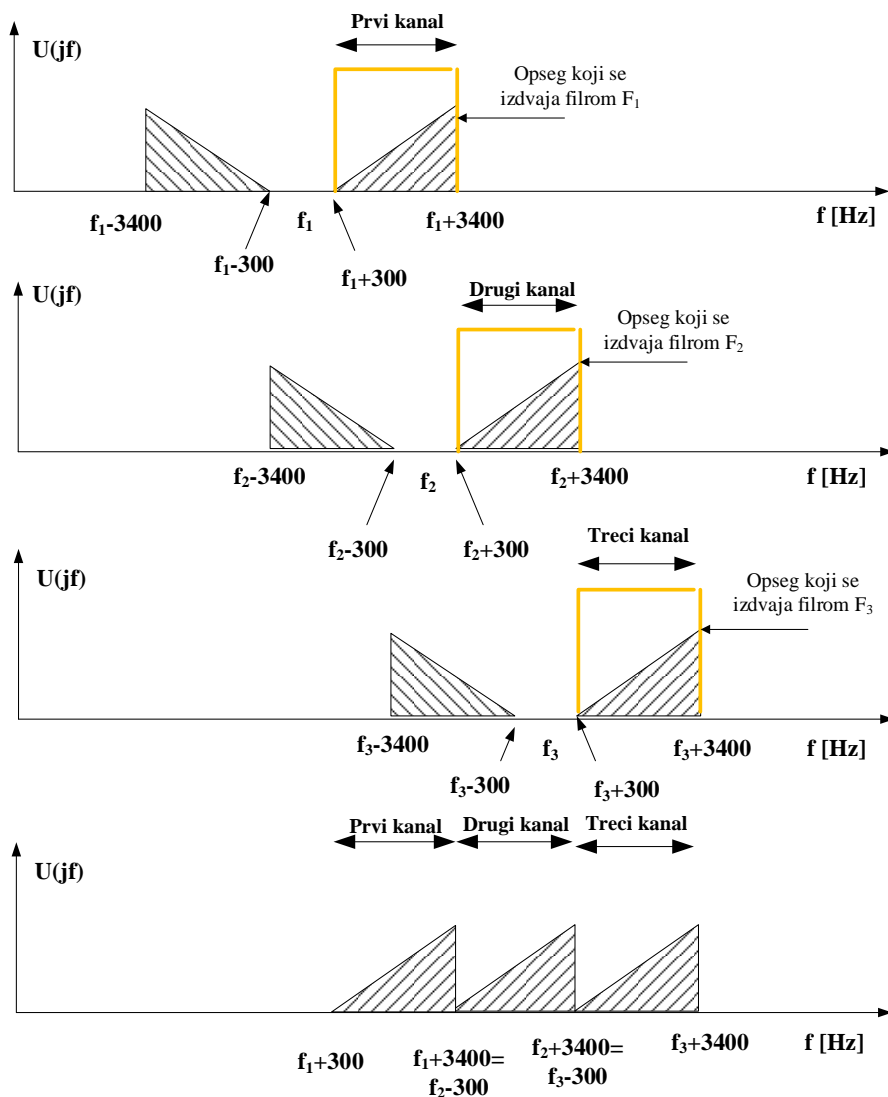


Odrediti granične učestanosti filtara  $F_1$ ,  $F_2$  i  $F_3$  ( $f_{di}$ ,  $f_{gi}$  za  $i=1,2,3$ ) i vrednosti učestanosti nosioca na drugom i trećem kanalu,  $f_2$  i  $f_3$ , za slučaj kada se:

a) između pojedinih kanala FDM-a ne koristi zaštitni interval

b) između kanala FDM-a se koristi zaštitni interval širine  $f_z=900$ Hz

# Zad. 1. FDM, slučaj bez zaštitnog intervala (2)



## Prvi kanal:

Nakon množenja signala  $u_{m1}(t)$  sa nosiocem učestanosti  $f_1$  na izlazu produktnog modulatora dobija se amplitudski modulisan signal sa dva bočna opsega (AM2BO signal).

U osnovnom opsegu učestanosti telefonski signal  $u_{m1}(t)$  zauzima opseg od 300Hz do 3400Hz. Nakon produktne modulacije, donji bočni opseg signala (DBO) zauzima opseg učestanosti od  $f_1 - 3400$ Hz do  $f_1 - 300$ Hz.

Gornji bočni opseg signala (GBO) zauzima opseg učestanosti od  $f_1 + 300$ Hz do  $f_1 + 3400$ Hz.

Po uslovu zadatka, učestanost nosioca je  $f_1 = 8$ kHz, pa GBO zauzima opseg učestanosti od  $f_1 + 0.3$ kHz = 8.3kHz do  $f_1 + 3.4$ kHz = 11.4kHz.

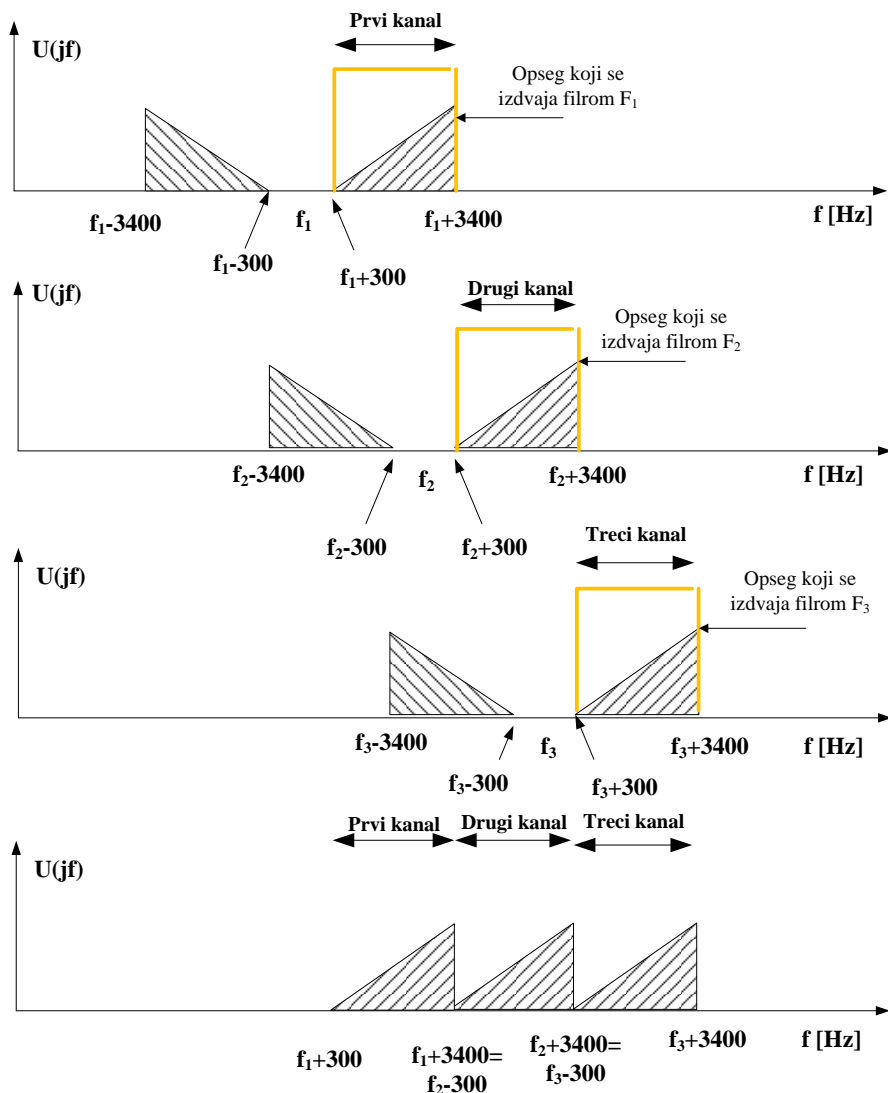
Po uslovu zadatka filtrom  $F_1$  u prvoj grani potrebno je izdvojiti GBO signala pa je donja granična učestanost filtra

$$f_{d1} = f_1 + 0.3 \text{kHz} = 8.3 \text{kHz},$$

a gornja granična učestanost filtra

$$f_{g1} = f_1 + 3.4 \text{kHz} = 11.4 \text{kHz}.$$

# Zad. 1. FDM, slučaj bez zaštitnog intervala (3)



## Drugi kanal:

U opštem slučaju donja granična učestanost filtra  $F_2$  mora da bude veća ili jednaka gornjoj graničnoj učestanosti filtra  $F_1$ . Kako se između kanala ne koristi zaštitni opseg, donja granična učestanost filtra  $F_2$  mora da bude jednaka gornjoj graničnoj učestanosti filtra  $F_1$ , pa je

$$f_{d2min} = f_{g1} = f_1 + 3.4\text{kHz} = 11.4\text{kHz}.$$

Gornji bočni opseg signala u drugom kanalu zauzima opseg od  $f_{2min} + 300\text{Hz}$  do  $f_{2min} + 3400\text{Hz}$ .

Kako je  $f_{d2min} = f_{2min} + 0.3\text{kHz} = 11.4\text{kHz}$ , učestanost drugog nosioca je  $f_{2min} = 11.4\text{kHz} - 0.3\text{kHz} = 11.1\text{kHz}$ .

Gornja granična učestanost filtra  $F_2$  je

$$f_{g2min} = f_{2min} + 3.4\text{kHz} = 11.1\text{kHz} + 3.4\text{kHz} = 14.5\text{kHz}.$$

## Treći kanal:

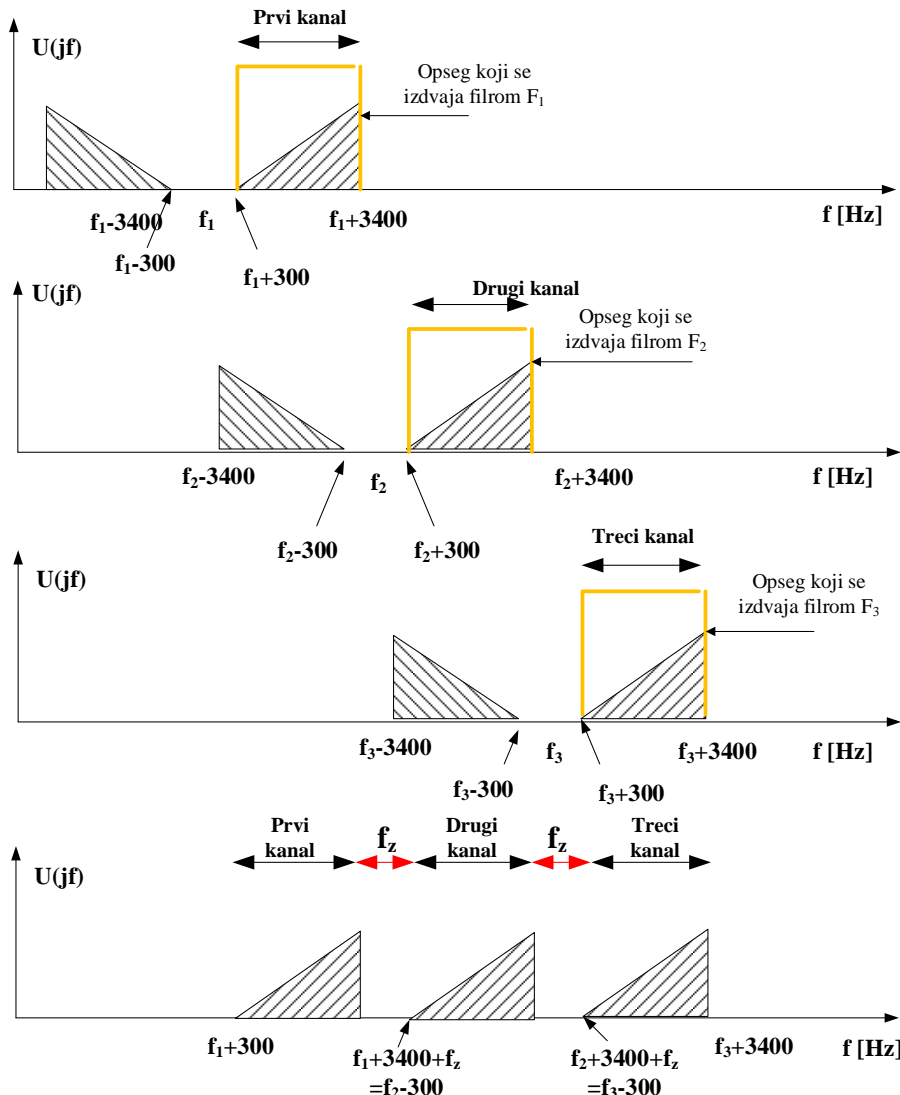
Donja gr. učestanost filtra  $F_3$  jednaka je gornjoj graničnoj učestanosti filtra  $F_2$ , pa je  $f_{d3min} = f_{g2min} = 14.5\text{kHz}$ . Kako je  $f_{d3min} = f_{3min} + 0.3\text{kHz} = 14.5\text{kHz}$ , minimalna učestanost trećeg nosioca je

$$f_{3min} = 14.5\text{kHz} - 0.3\text{kHz} = 14.2\text{kHz}$$

Minimalna gornja granična učestanost filtra  $F_3$

$$f_{g3min} = f_{3min} + 3.4\text{kHz} = 14.2\text{kHz} + 3.4\text{kHz} = 17.6\text{kHz}.$$

# Zad. 1. FDM, slučaj sa korišćenjem zaštitnog opsega (4)



## Prvi kanal:

$$f_1 = 8\text{kHz}, f_{d1} = f_1 + 0.3\text{kHz} = 8.3\text{kHz},$$

$$f_{g1} = f_1 + 3.4\text{kHz} = 11.4\text{kHz}$$

## Drugi kanal:

Donja gr. učestanost filtra  $F_2$ ,  $f_{d2}$ , mora da bude veća ili jednaka gornjoj gr. učestanosti filtra  $F_1$ , plus širina zaštitnog opsega  $f_z = 0.9\text{kHz}$ , pa je

$$f_{d2} = f_{g1} + f_z = 11.4\text{kHz} + 0.9\text{kHz} = 12.3\text{kHz}.$$

Kako se filtrom  $F_2$  izdvaja gornji bočni opseg u drugoj grani,  $f_{d2} = f_2 + 0.3\text{kHz} = 12.3\text{kHz}$ , i

$$f_{2\text{min}} = 12.3\text{kHz} - 0.3\text{kHz}, \text{ odnosno } f_{2\text{min}} = 12.0\text{kHz}$$

Minimalna gornja gr. učestanost filtra  $F_2$

$$f_{g2\text{min}} = f_{2\text{min}} + 3.4\text{kHz} = 12.0\text{kHz} + 3.4\text{kHz} = 15.4\text{kHz}$$

Treći kanal: Učestanost  $f_{d3}$  filtra  $F_3$  mora da bude veća ili jednaka učestanosti  $f_{g2}$ , plus širina zaštitnog opsega  $f_z = 0.9\text{kHz}$ , pa je

$$f_{d3\text{min}} = f_{g2\text{min}} + f_z = 15.4\text{kHz} + 0.9\text{kHz} = 16.3\text{kHz}$$

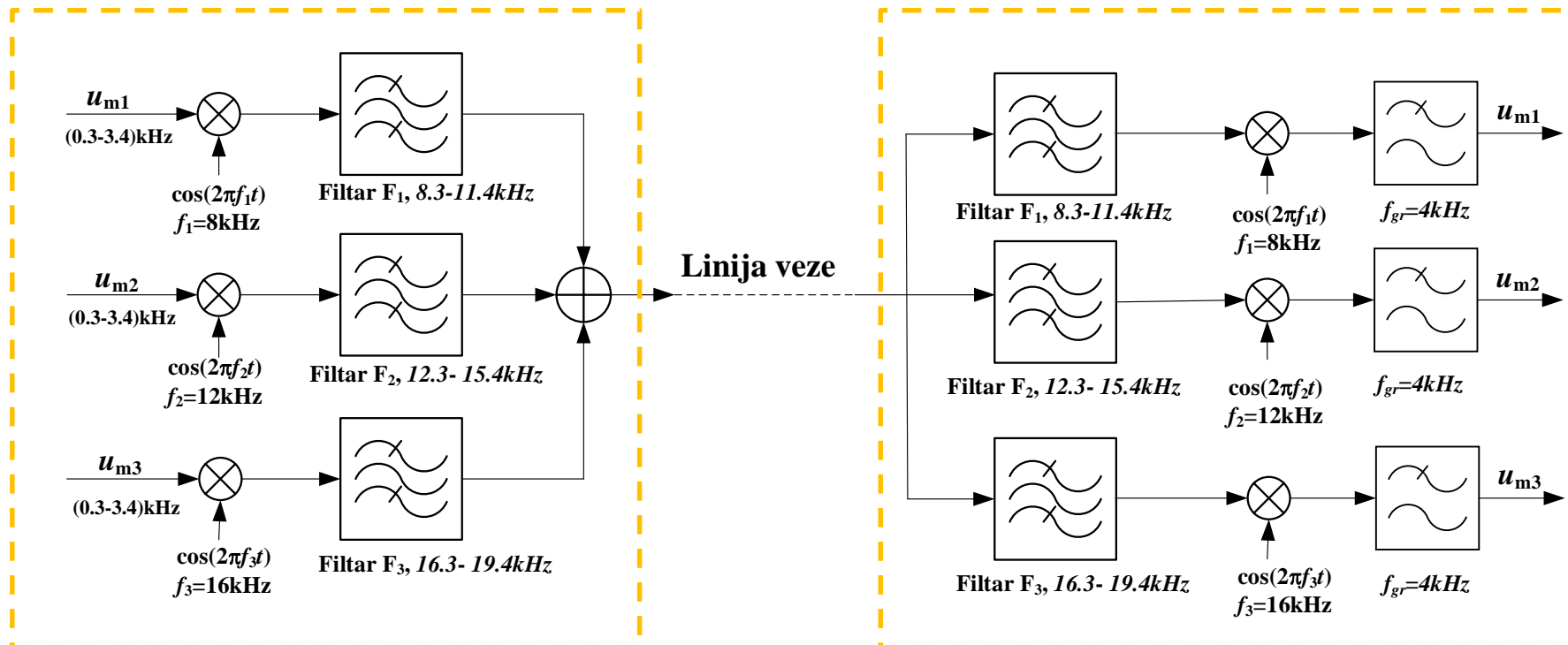
$$\text{Kako je } f_{d3\text{min}} = f_{3\text{min}} + 0.3\text{kHz} = 16.3\text{kHz},$$

$$\text{min. učestanost trećeg nosioca je } f_{3\text{min}} = 16.0\text{kHz}$$

Minimalna gornja gr. učestanost filtra  $F_3$

$$f_{g3\text{min}} = f_{3\text{min}} + 3.4\text{kHz} = 16.0\text{kHz} + 3.4\text{kHz} = 19.4\text{kHz}$$

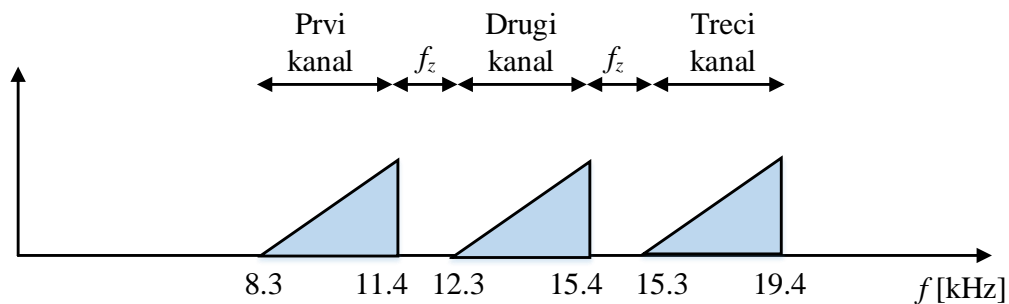
# Zad. 1. FDM, slučaj sa korišćenjem zaštitnog opsega (5)



Blok šema za formiranje trokanalnog multipleksa

Blok šema za razdvajanje trokanalnog multipleksa

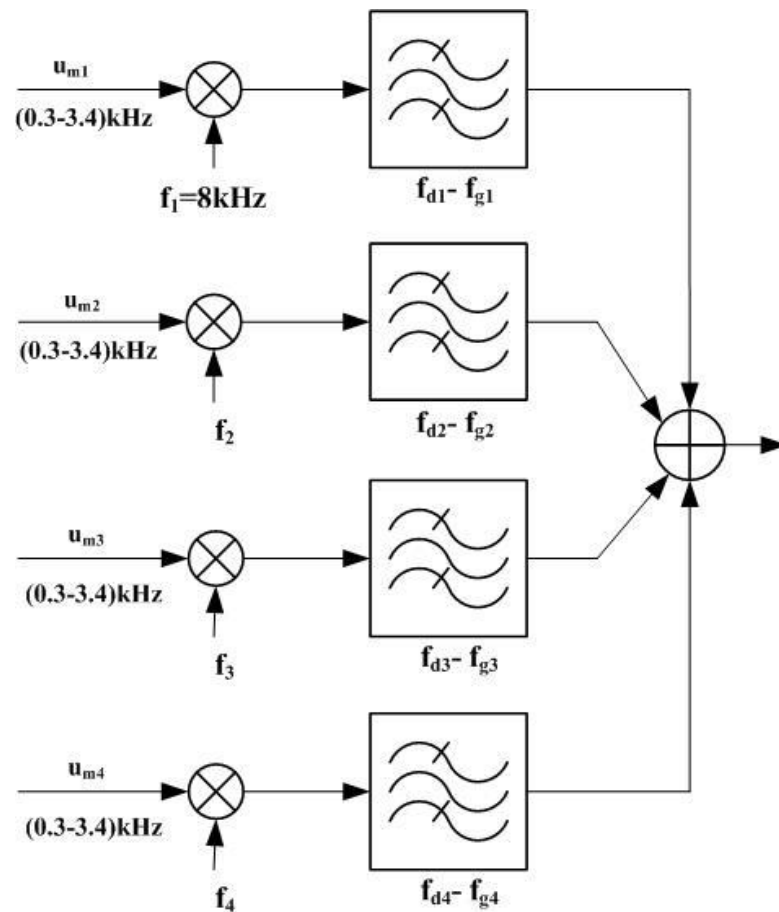
Spektar multipleksnog signala na liniji veze



## Zadatak 2 – FDM, AM2BO

Na Slici je prikazan četvorokanalni telefonski multipleks sa frekvencijskom raspodelom kanala (FDM). Filtrima propusnicima opsega učestanosti propuštaju se gornji i donji bočni opsezi signala na izlazima produktnih modulatora (signal u svakom od kanala je AM2BO modulisan)

- Odrediti granične učestanosti tih filtara ( $f_{di}, f_{gi}$  za  $i=1,2,3,4$ ).
  - Odrediti minimalne vrednosti učestanosti nosioca u drugom, trećem i četvrtom kanalu (slučaj kada se ne koristi zaštitni interval između pojedinih kanala FDM-a).
- Skicirati spektar signala na ulazu u liniju veze.



# Zadatak 2 – FDM, AM2BO

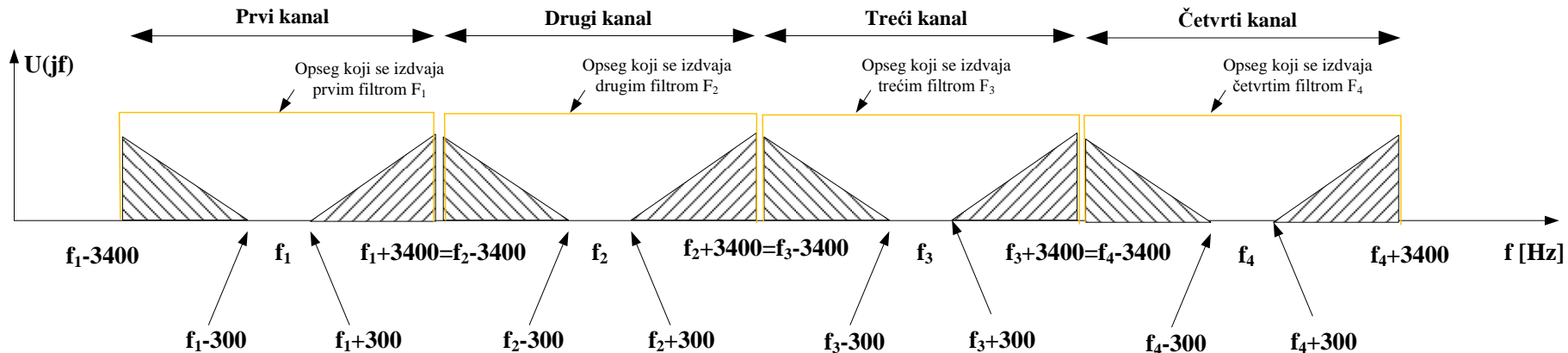
**Rešenje:** U pitanju je AM2BO postupak kod koga se prenosi i gornji i donji bočni opseg, pa se za datu učestanost nosioca  $f_0$  gornji bočni opseg modulisanog signala uvek nalazi u opsegu od  $f_0+0.3\text{kHz}$  do  $f_0+3.4\text{kHz}$ , a donji bočni opseg od  $f_0-3.4\text{kHz}$  do  $f_0-0.3\text{kHz}$ .

Kako se granične učestanosti filtra upravo biraju da propuste samo koristan (modulisani) signal, a signal nosioca na prvom kanalu ima učestanost  $f_1=8\text{kHz}$ , granične učestanosti prvog filtra iznose  $f_{d1}=f_1-3.4\text{kHz}=4.6\text{kHz}$  i  $f_{g1}=f_1+3.4\text{kHz}=11.4\text{kHz}$ .

U drugom kanalu modulisani signal se nalazi u opsegu od  $f_{d2}=f_2-3.4\text{kHz}$  do  $f_{g2}=f_2+3.4\text{kHz}$ .

Da se spektar ovog signala ne bi preklopio sa signalom u prvom kanalu, treba izabrati  $f_{d2} \geq f_{g1}$  pa je minimalna vrednost učestanosti nosioca u drugom kanalu  $f_2 = f_{d2} + 3.4\text{kHz} = 11.4 + 3.4 = 14.8\text{kHz}$ .

Gornja granična učestanost filtra u drugom kanalu tada je  $f_{g2} = f_2 + 3.4\text{kHz} = 18.2\text{kHz}$ .



# Zadatak 2 – FDM, AM2BO

U trećem kanalu modulisani signal se nalazi u opsegu od  $f_{d3}=f_3-3.4\text{kHz}$  do  $f_{g3}=f_3+3.4\text{kHz}$ . Da se spektar ovog signala ne bi preklopio sa signalom u trećem kanalu, treba izabrati  $f_{d3}\geq f_{g2}$  pa je minimalna vrednost učestanosti nosioca u trećem, kanalu  $f_3=f_{d3}+3.4\text{kHz}=18.2+3.4=21.6\text{kHz}$ .

Gornja granična učestanost filtra u trećem kanalu tada je  $f_{g3}=f_3+3.4\text{kHz}=25.0\text{kHz}$ .

U četvrtom kanalu signal se nalazi u opsegu od  $f_{d4}=f_4-3.4\text{kHz}$  do  $f_{g4}=f_4+3.4\text{kHz}$ .

Da se spektar ovog signala ne bi preklopio sa signalom u prvom kanalu, treba izabrati  $f_{d4}\geq f_{g3}$ , pa je minimalna vrednost učestanosti nosioca u četvrtom kanalu  $f_4=f_{d4}+3.4\text{kHz}=25.0+3.4=28.4\text{kHz}$ . Gornja granična učestanost filtra u četvrtom kanalu tada je  $f_{g4}=f_4+3.4\text{kHz}=28.4+3.4=31.8\text{kHz}$ .

