

Открытое акционерное общество  
«Центральное конструкторское бюро автоматики»  
[www.ckba.net](http://www.ckba.net)

# *Сверхширокополосный радиофотонный смеситель*

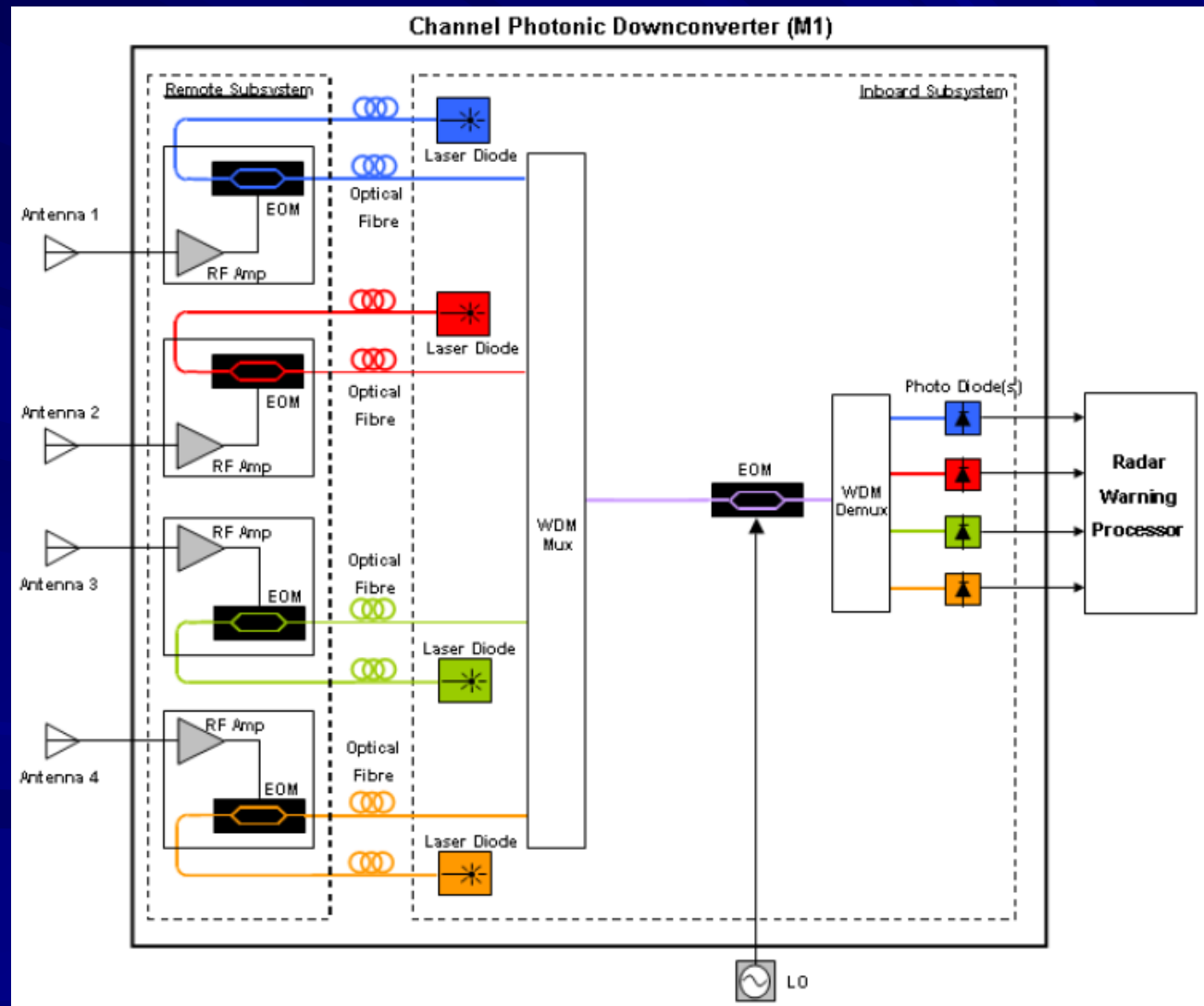
*Белоусов А.А., Вольхин Ю.Н., Гамиловская А.В.,  
Дубровская А.А., Тихонов Е.В.*

*Michael E Manka*

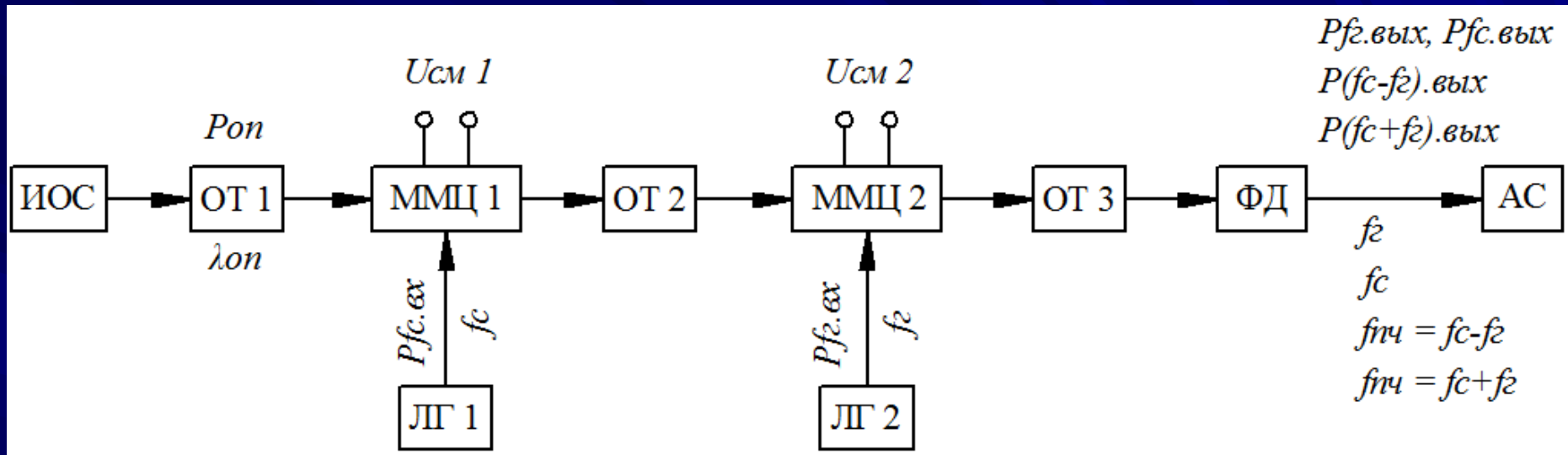
*“Microwave Photonics for Electronic Warfare Applications,” Microwave photonics, 2008.*

*jointly held with the 2008 asia-pasific  
microwave photonics conference. mwp/apmp  
2008. international topical meeting on*

# Схема структурная “австралийскго” радиофотонного супергетеродина



# Схема структурная радиофотонного смесителя



**АС** - анализатор спектра,

**ИОС** - источник оптического сигнала,

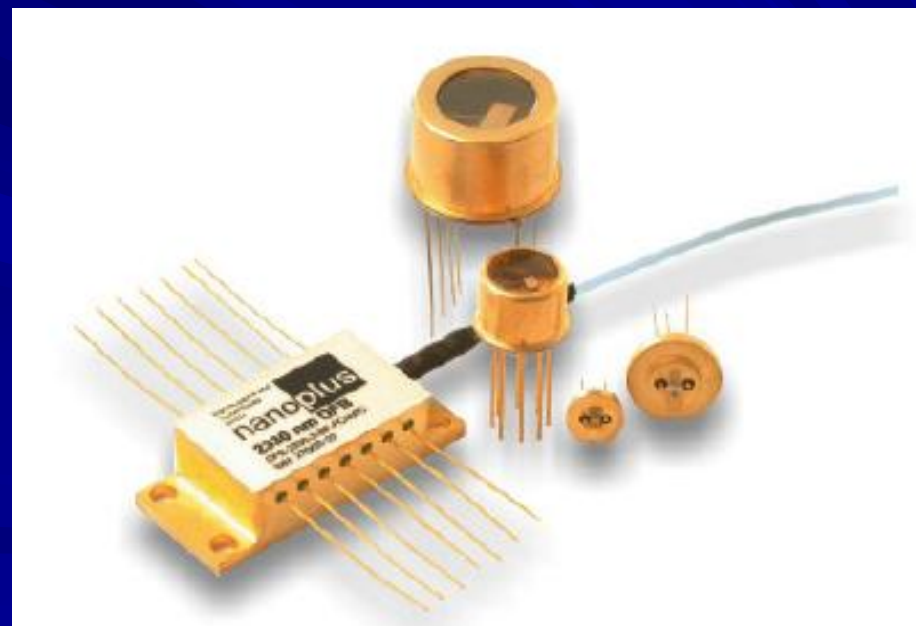
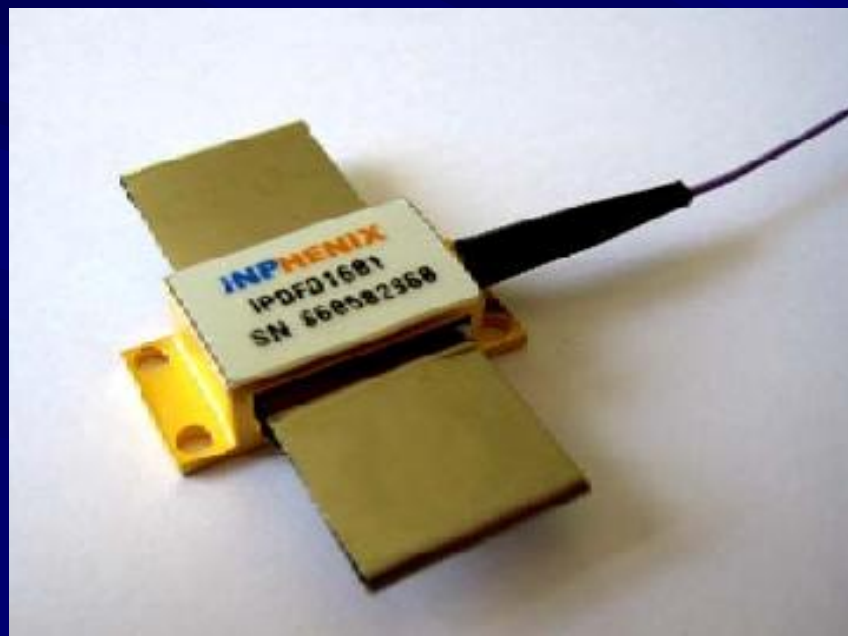
**ЛГ 1, ЛГ 2** - лабораторные генераторы,

**ММЦ 1, ММЦ 2** - модуляторы Маха-Цандера,

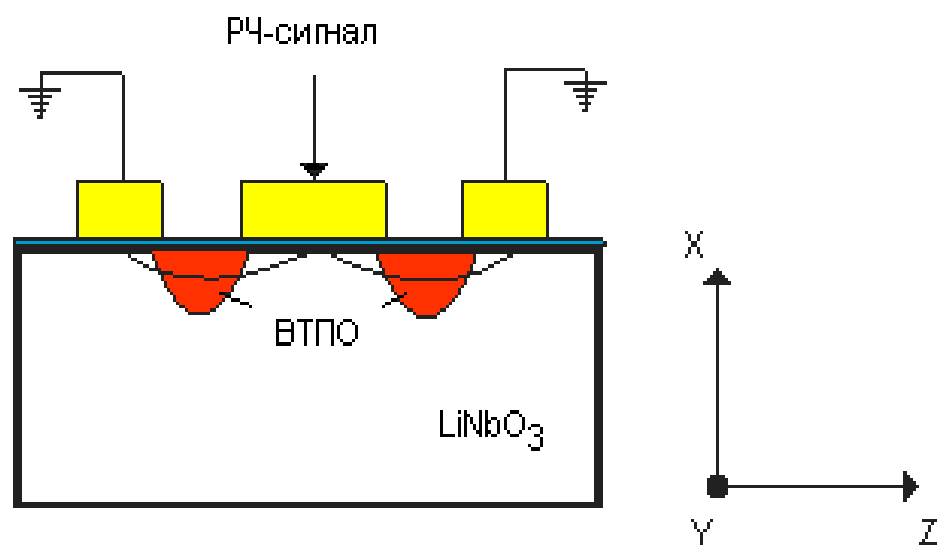
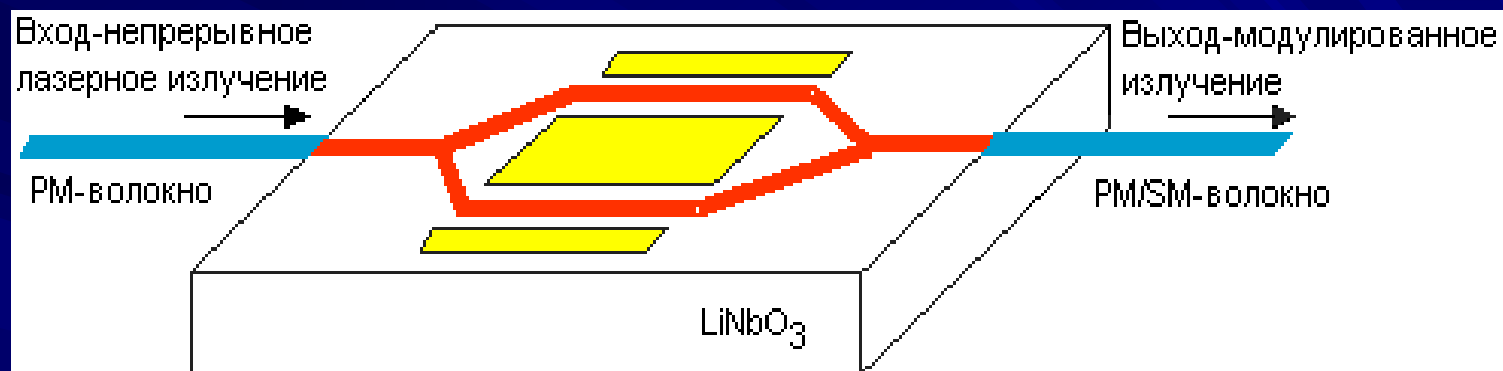
**ОТ 1, ОТ 2, ОТ 3** - оптические тракты,

**ФД** - фотодетектор

*Гибридные интегральные схемы  
полупроводниковых лазеров  
( технология system-on-package )*



# Модулятор Маха-Цандера (Mach Zehnder modulator - MZM) в планарном исполнении

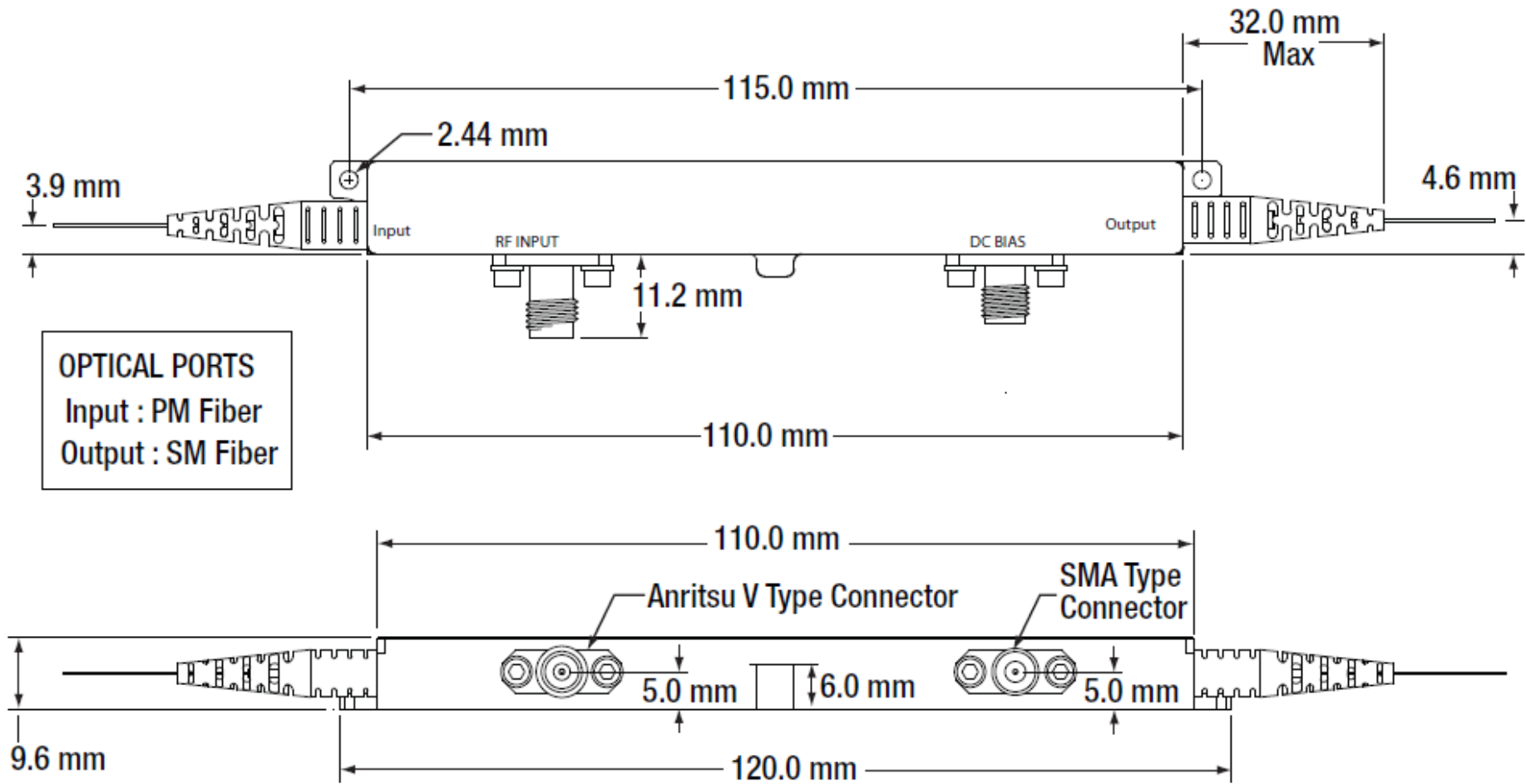


***Модулятор Маха-Цандера  
( Mach Zehnder modulator - MZM )  
в виде герметизированной гибридной интегральной схемы  
( технология system-on-package )***



# Типичные габариты сегнетоэлектрического ММЦ

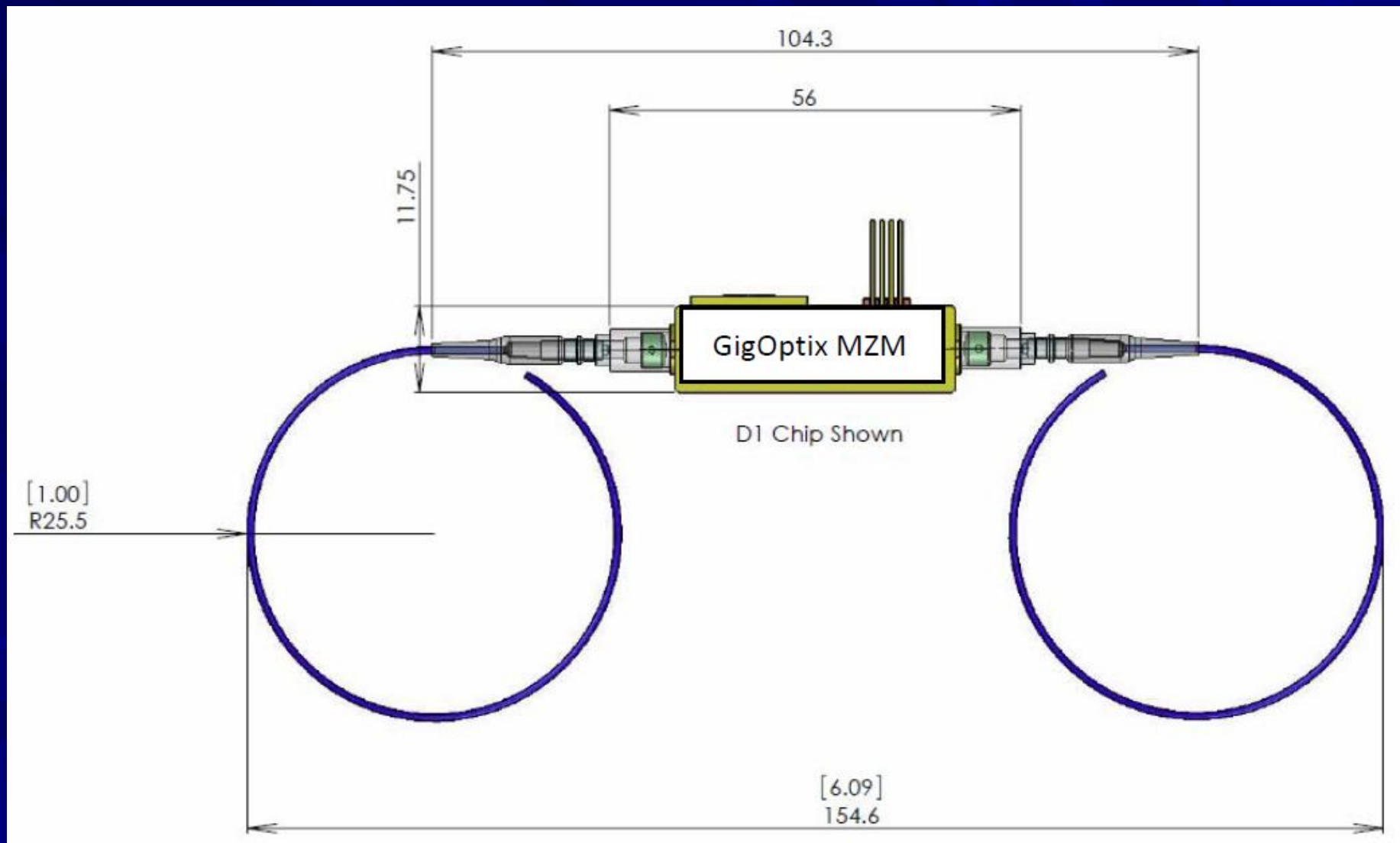
## 40 GHz Modulator Package Drawing



Please refer to our website for complete models and drawings.



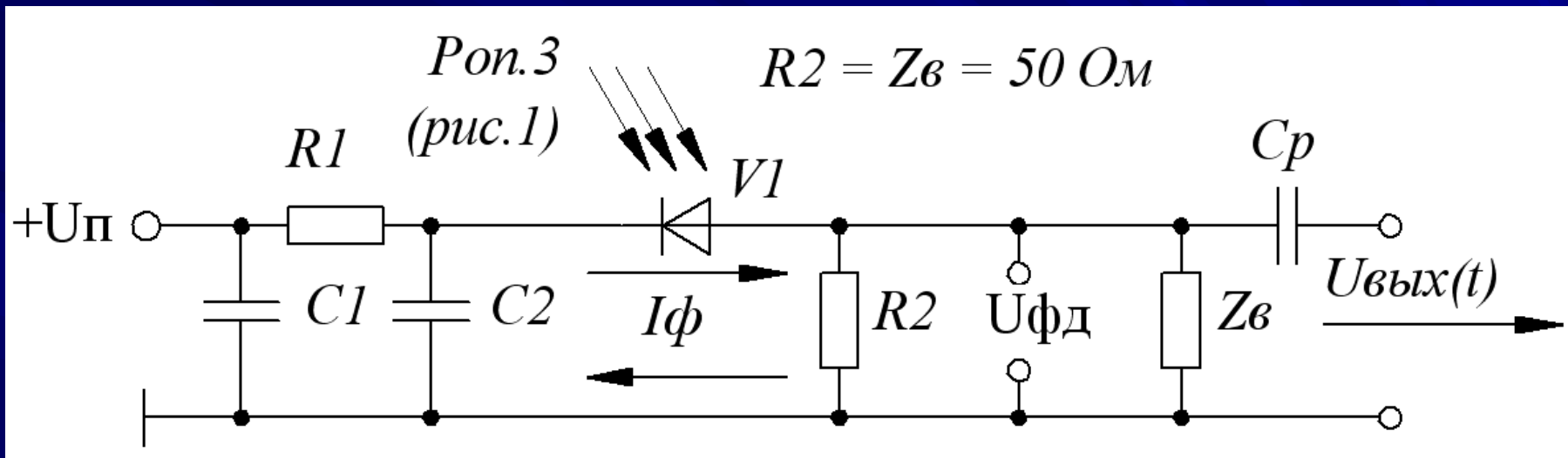
# Типичные габариты “полимерного” ММЦ



# *Типичные габариты полупроводникового ММЦ*

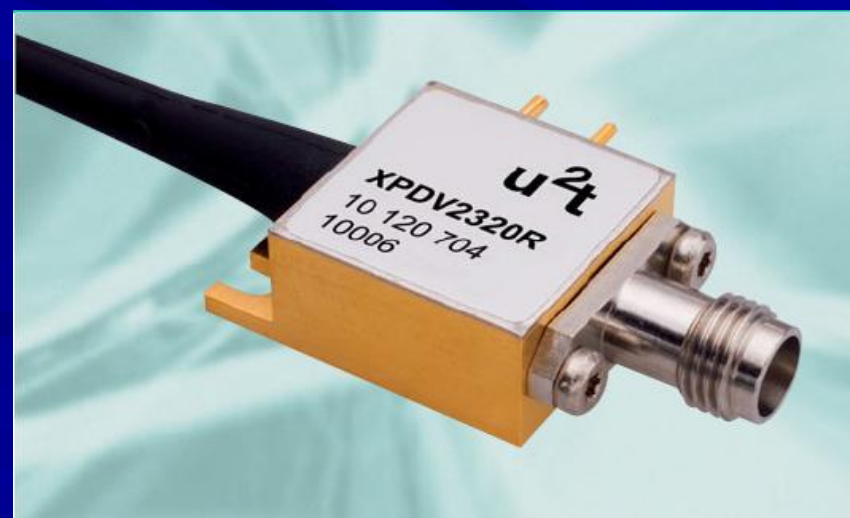
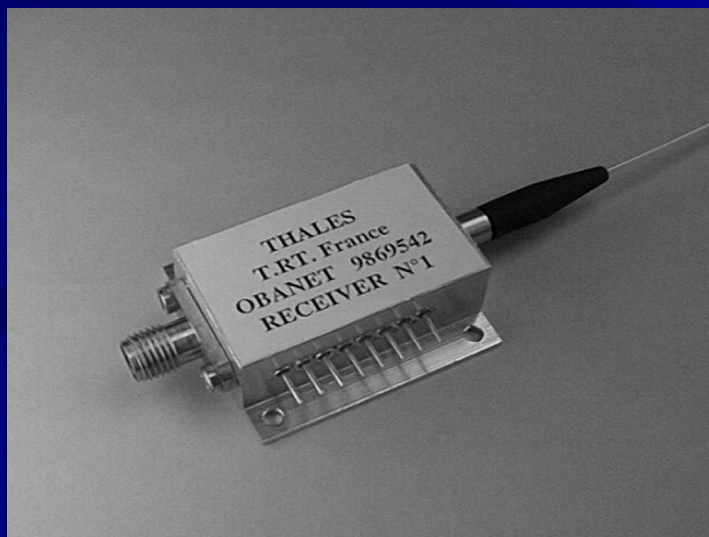


# Типичная схема электрическая принципиальная ФД

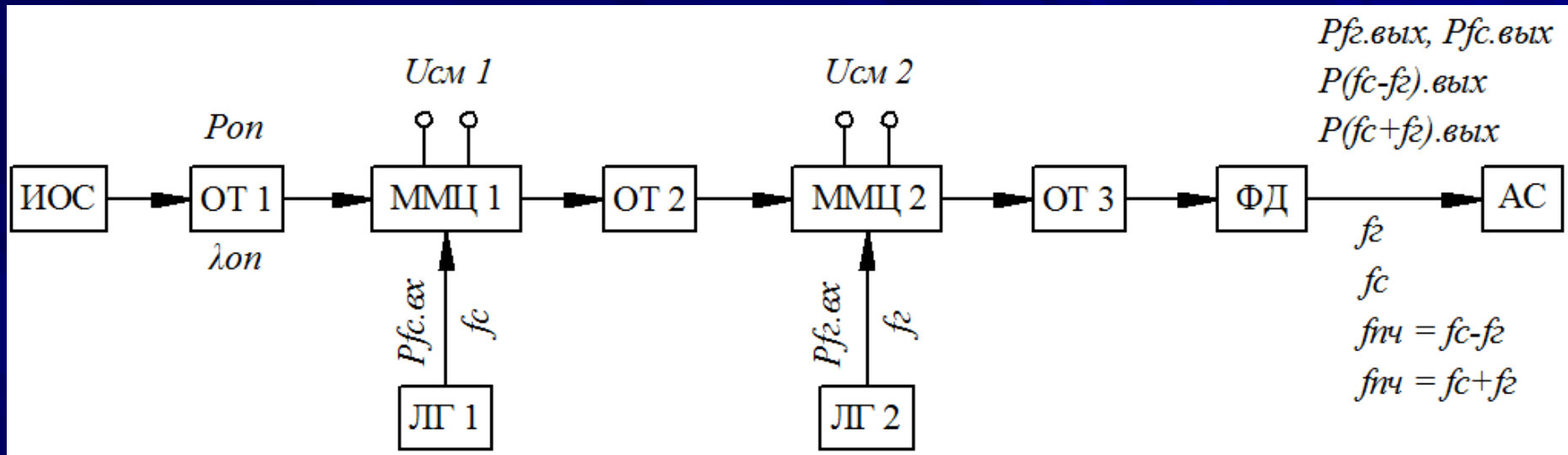


*V1 – p - i - n фотодиод*

**Фотодетекторы  
в виде герметизированной гибридной интегральной схемы  
( технология system-on-package )**



# Схема структурная радиофотонного смесителя



**АС** - анализатор спектра,

**ИОС** - источник оптического сигнала,

**ЛГ 1, ЛГ 2** - лабораторные генераторы,

**ММЦ 1, ММЦ 2** - модуляторы Маха-Цандера,

**ОТ 1, ОТ 2** - оптические тракты в виде PMF-28,

**ОТ 3** - оптический тракт в виде SMF-28,

**ФД** - фотодетектор

**BAE SYSTEMS**



**LOCKHEED MARTIN**



***NORTHROP GRUMMAN***



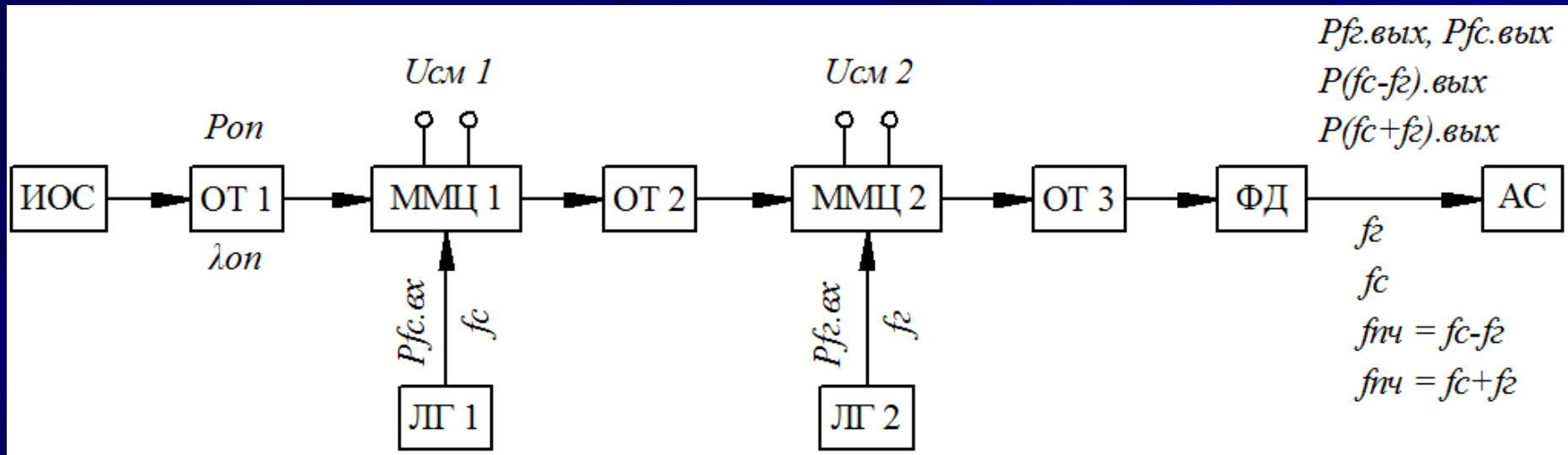
**Raytheon**



**FINMECCANICA**

**THALES**

# Схема структурная радиофотонного смесителя



**АС** - анализатор спектра,

**ИОС** - источник оптического сигнала,

**ЛГ 1, ЛГ 2** - лабораторные генераторы,

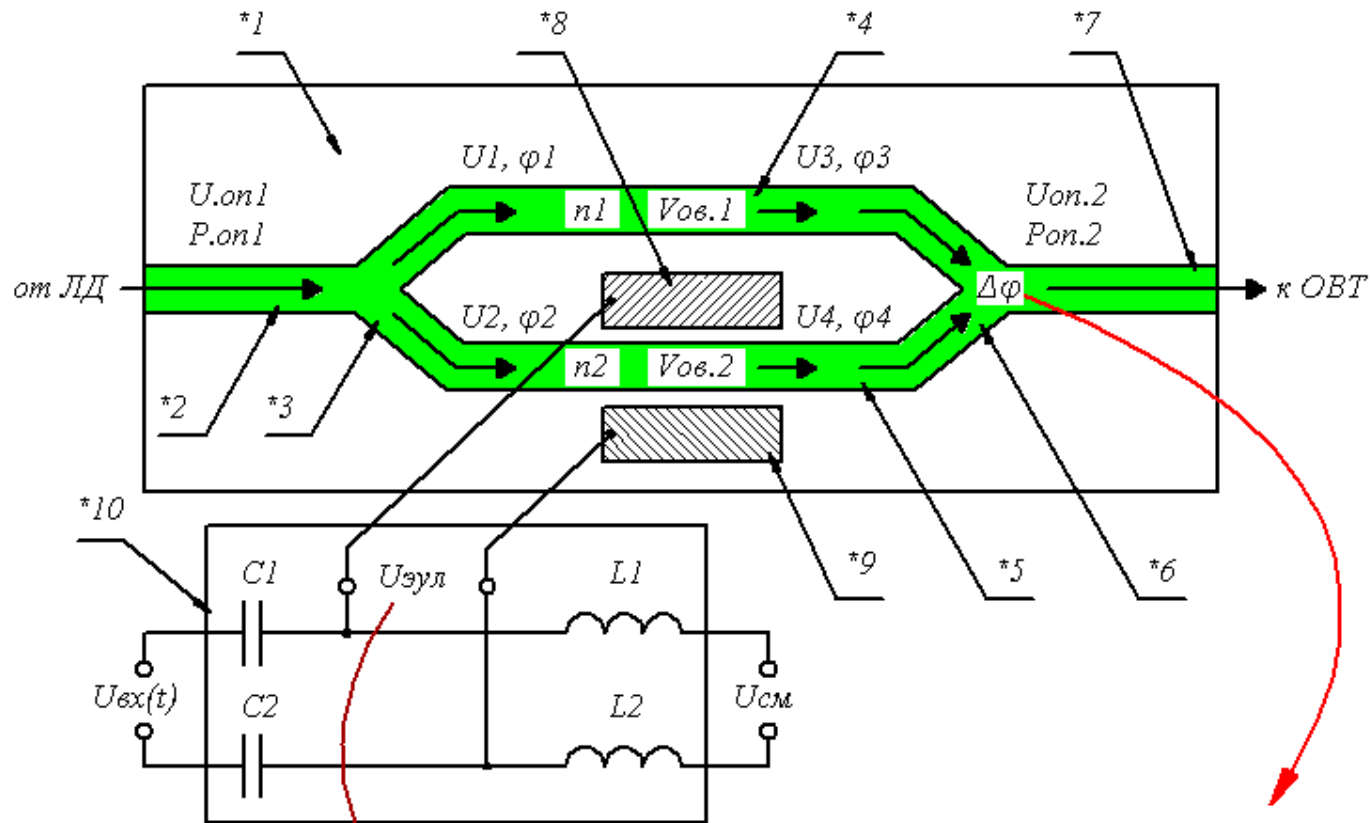
**ММЦ 1, ММЦ 2** - модуляторы Маха-Цандера,

**ОТ 1, ОТ 2** - оптические тракты в виде PMF-28,

**ОТ 3** - оптический тракт в виде SMF-28,

**ФД** - фотодетектор

## Схема подачи напряжения смещения на ЭУЛ ММЦ через внешнюю ЦПС



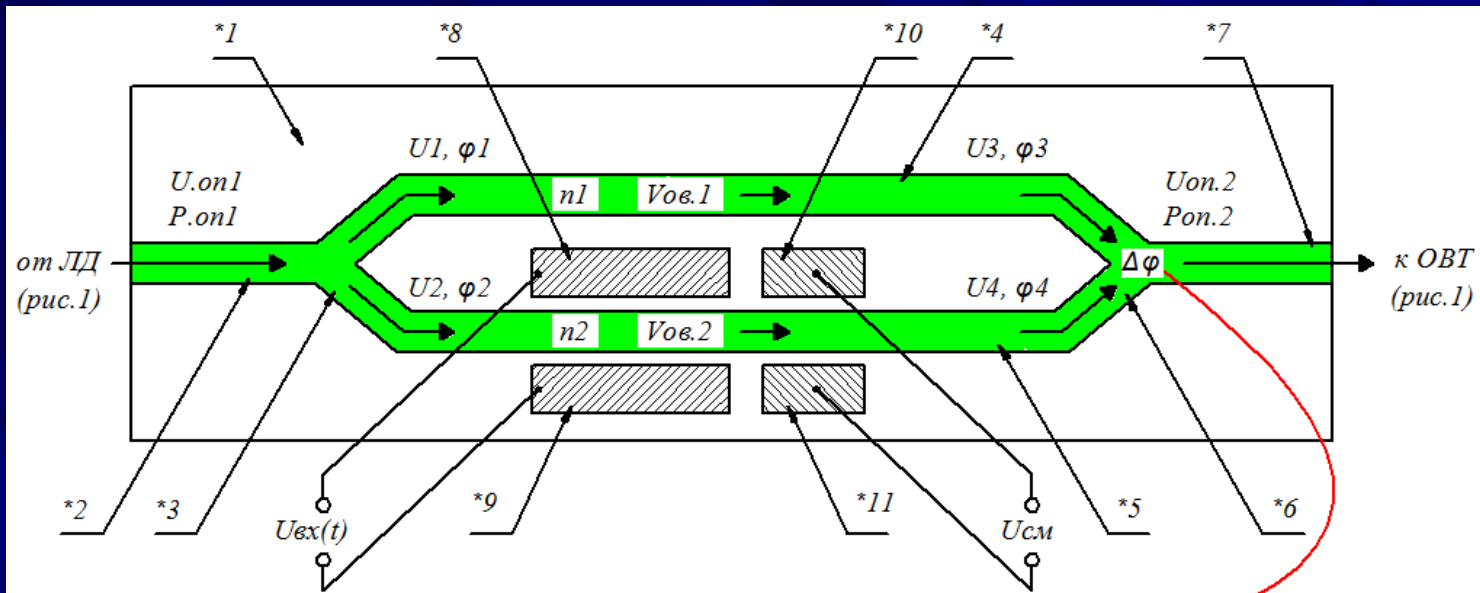
$$U_{\text{эул}} = U_{\text{см}} + U_{\text{вх}}(t)$$

$$\Delta\varphi = \varphi_3 - \varphi_4 = \Delta\varphi_{\text{см}} \pm \Delta\varphi_{\text{свч}} = \pi \times (U_{\text{см}} / U_{\pi}) + \pi \times (U_{\text{вх}}(t) / U_{\pi})$$

- \*1 - пластина из сегнетоэлектрика, \*2 - входной световодный канал, \*3 - входной Y-разветвитель, \*4,\*5 - первый и второй параллельные световодные каналы, \*6 - выходной Y-светвитель, \*7- выходной световодный канал, \*8,\*9 - первый и второй электроды управляющей линии СВЧ, \*10 - внешняя ЦПС



## Схема подачи напряжения смещения на ЭУЛ ММЦ через внутреннюю ЦПНС

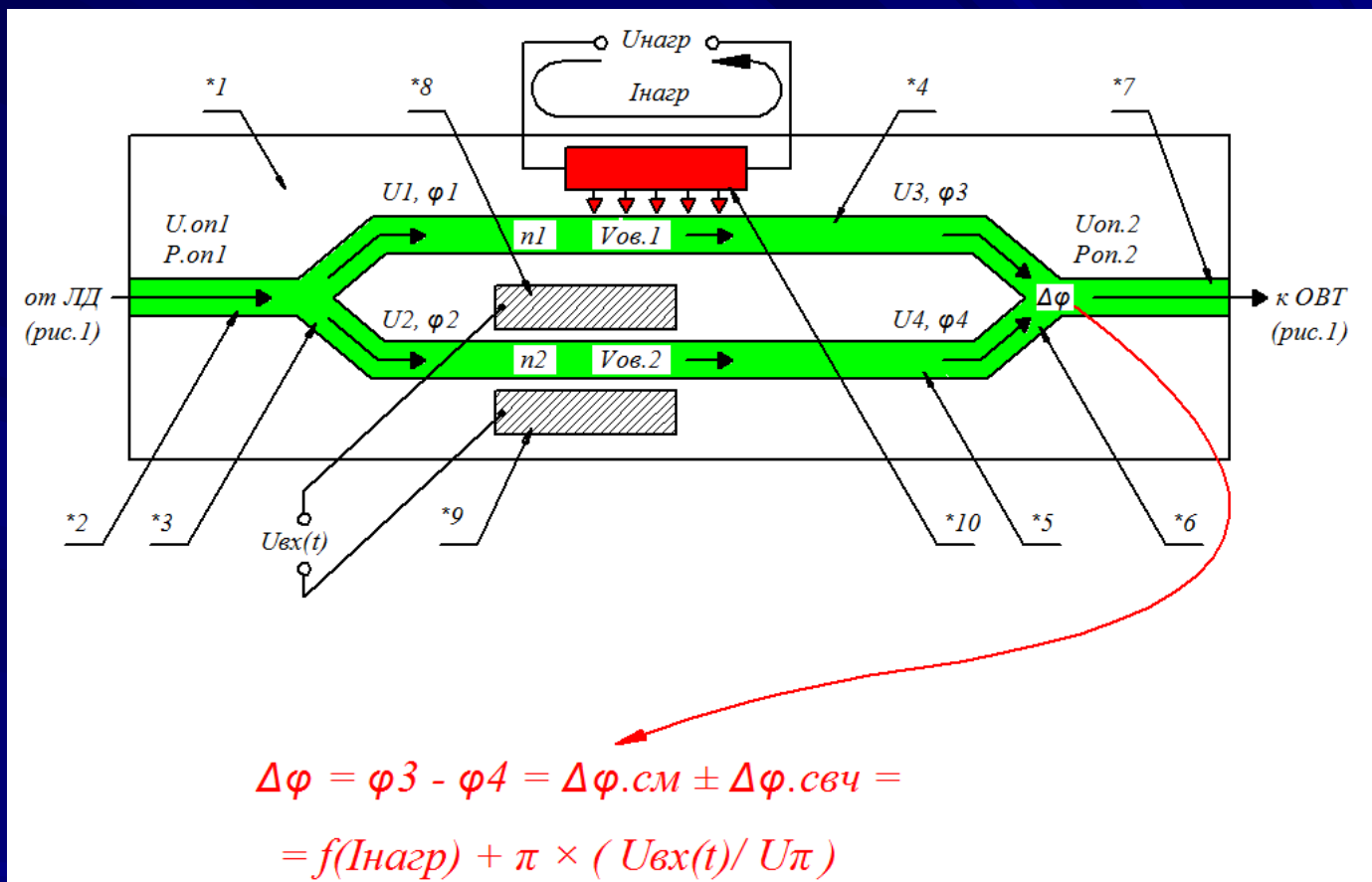


$$\Delta\phi = \phi_3 - \phi_4 = \Delta\phi_{\text{см}} \pm \Delta\phi_{\text{свч}} =$$

$$= \pi \times (U_{\text{см}} / U_{\text{п.см}}) + \pi \times (U_{\text{вх}}(t) / U_{\text{п.свч}})$$

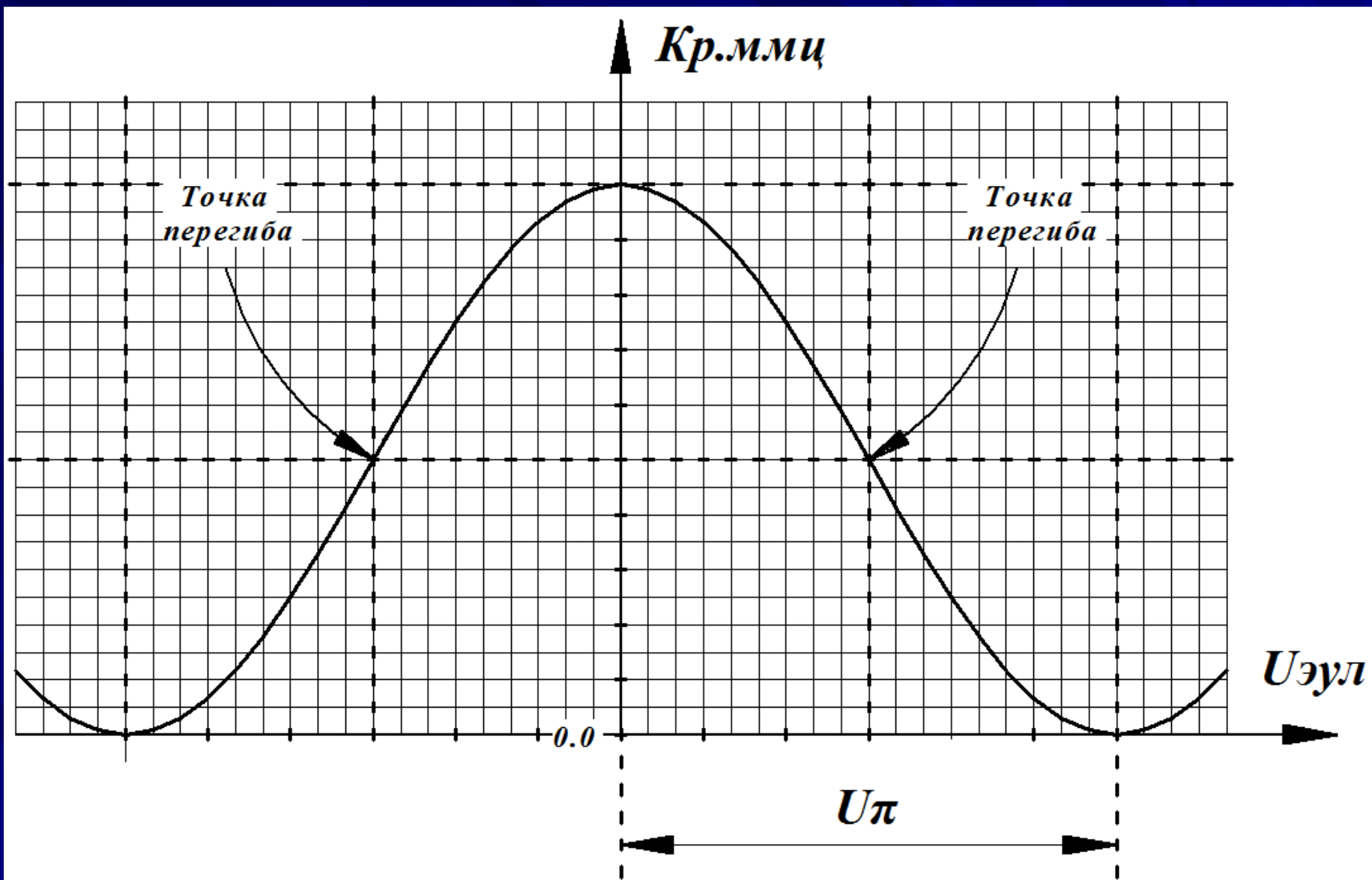
\*1 - пластина из сегнетоэлектрика, \*2 - входной световодный канал, \*3 - входной Y-разветвитель,  
 \*4,\*5 - первый и второй параллельные световодные каналы, \*6 - выходной Y-светвитель, \*7- выходной  
 световодный канал, \*8,\*9 - первый и второй электроды управляющей линии СВЧ, \*10,\*11 - электроды  
 внутренней ЦПНС

## Схема формирования исходного фазового сдвига с использованием термооптического эффекта

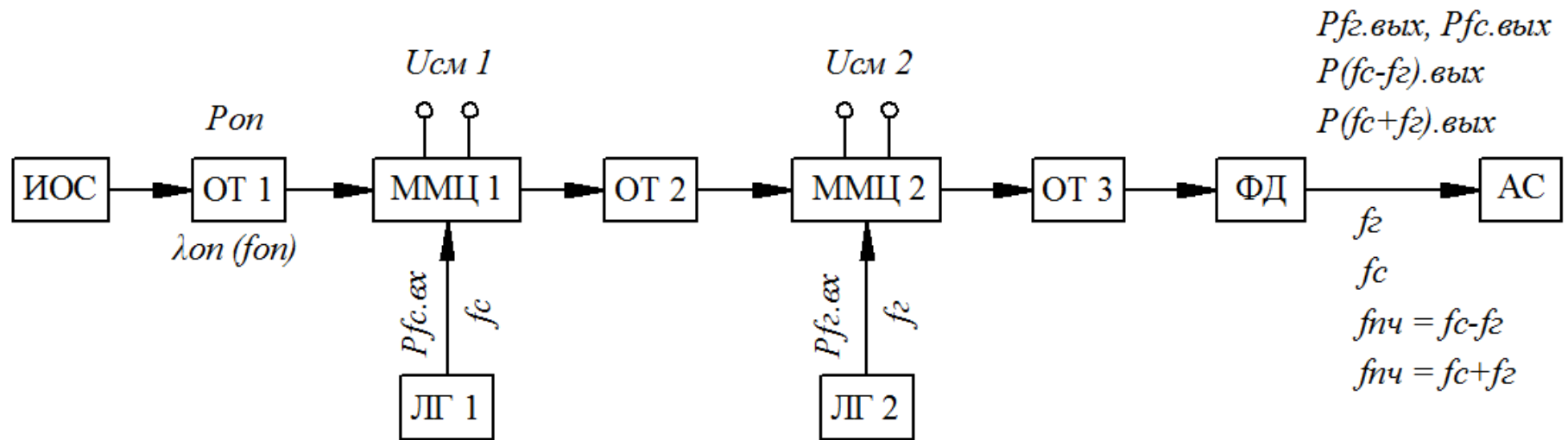


- \*1 - пластина из сегнетоэлектрика, \*2 - входной световодный канал, \*3 - входной Y-разветвитель, \*4,\*5 - первый и второй параллельные световодные каналы, \*6 - выходной Y-световитель, \*7- выходной световодный канал, \*8,\*9 - первый и второй электроды управляющей линии СВЧ, \*10 - термоэлектрический элемент*

# Модуляционная характеристика ММЦ



# Схема структурная радиофотонного смесителя



**АС** - анализатор спектра,

**ИОС** - источник оптического сигнала,

**ЛГ 1, ЛГ 2** - лабораторные генераторы,

**ММЦ 1, ММЦ 2** - модуляторы Маха-Цандера,

**ОТ 1, ОТ 2** - оптические тракты в виде PMF-28,

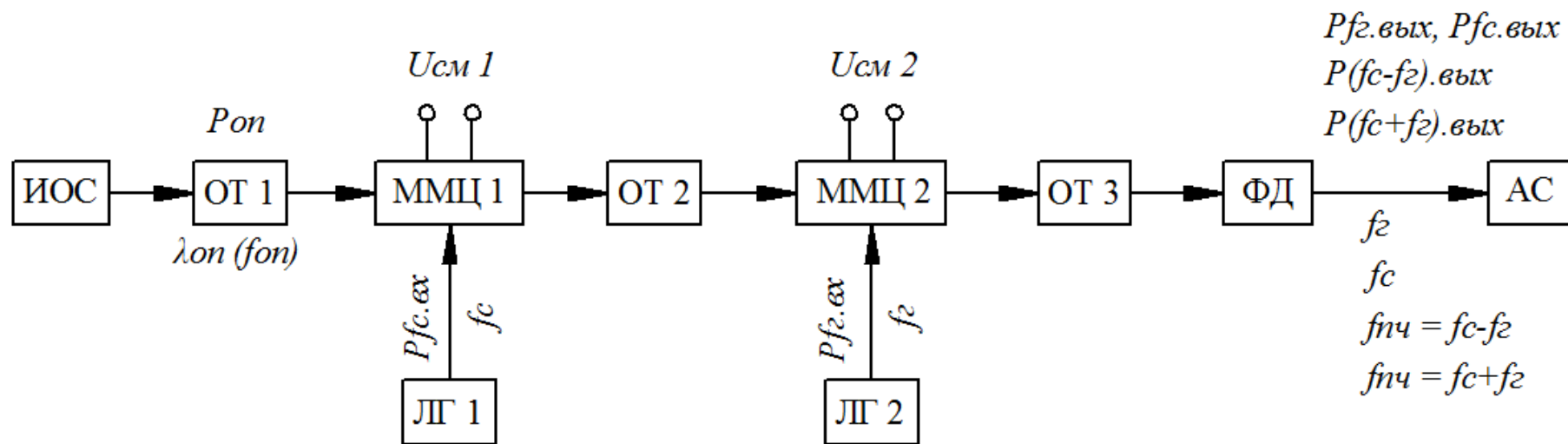
**ОТ 3** - оптический тракт в виде SMF-28,

**ФД** - фотодетектор

## *Спектр сигнала на выходе ММЦ 1*



# Схема структурная радиофотонного смесителя



**АС** - анализатор спектра,

**ИОС** - источник оптического сигнала,

**ЛГ 1, ЛГ 2** - лабораторные генераторы,

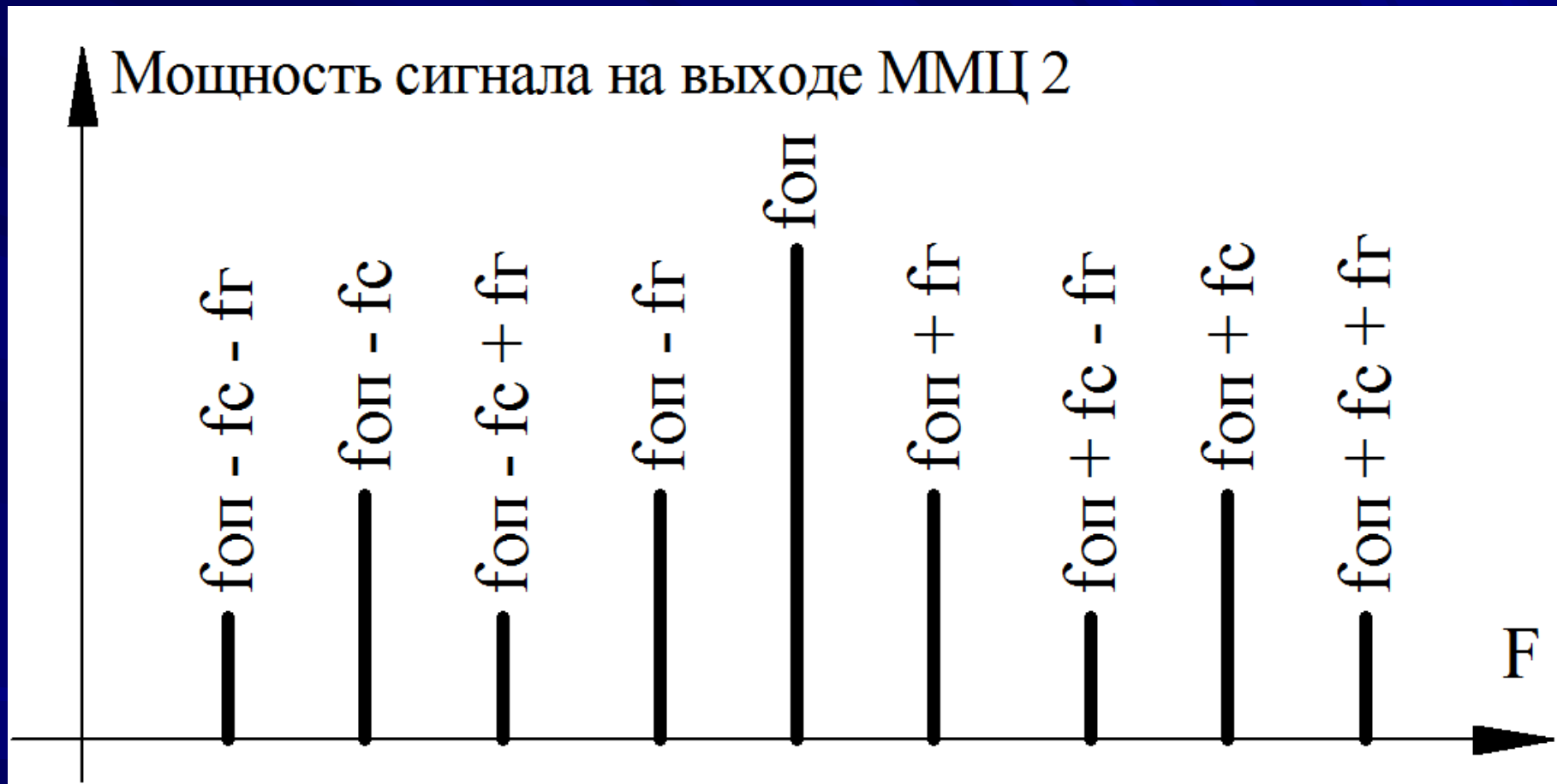
**ММЦ 1, ММЦ 2** - модуляторы Маха-Цандера,

**ОТ 1, ОТ 2** - оптические тракты в виде PMF-28,

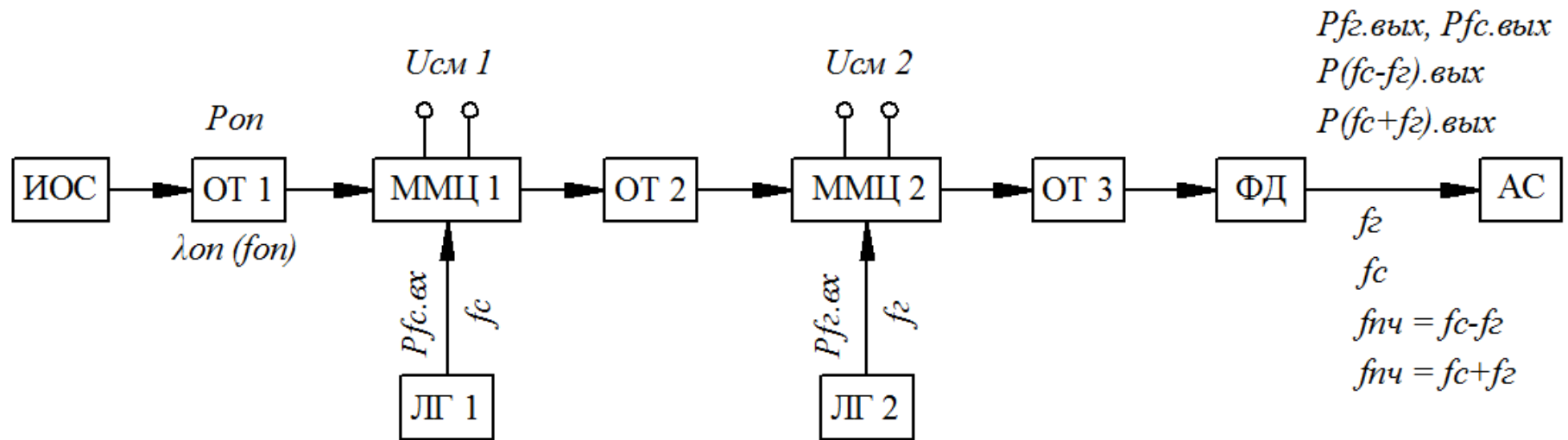
**ОТ 3** - оптический тракт в виде SMF-28,

**ФД** - фотодетектор

## Спектр сигнала на выходе ММЦ 2



# Схема структурная радиофотонного смесителя



**АС** - анализатор спектра,

**ИОС** - источник оптического сигнала,

**ЛГ 1, ЛГ 2** - лабораторные генераторы,

**ММЦ 1, ММЦ 2** - модуляторы Маха-Цандера,

**ОТ 1, ОТ 2** - оптические тракты в виде PMF-28,

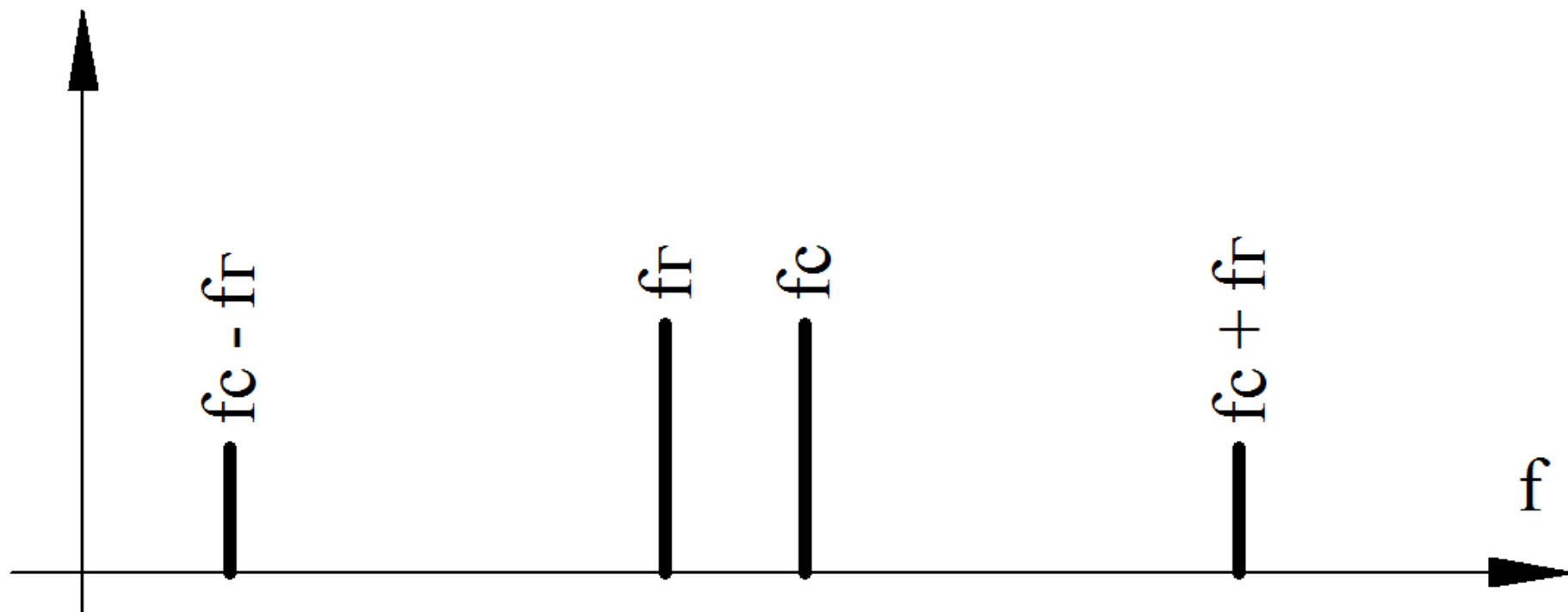
**ОТ 3** - оптический тракт в виде SMF-28,

**ФД** - фотодетектор

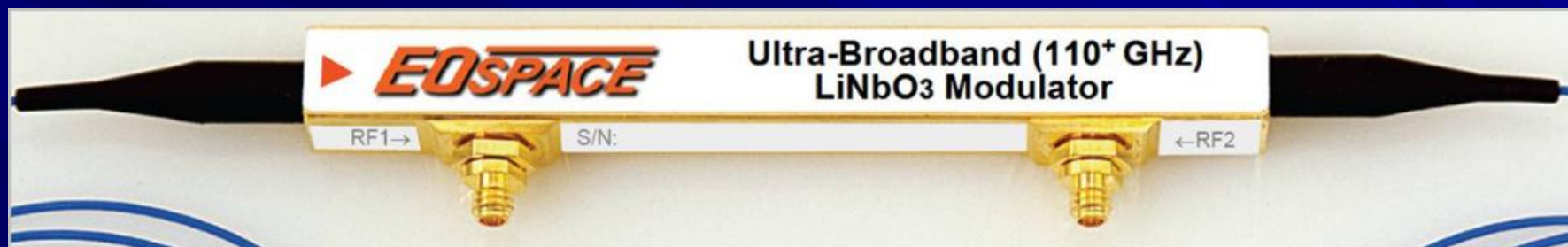


## *Спектр сигнала на выходе фотодетектора*

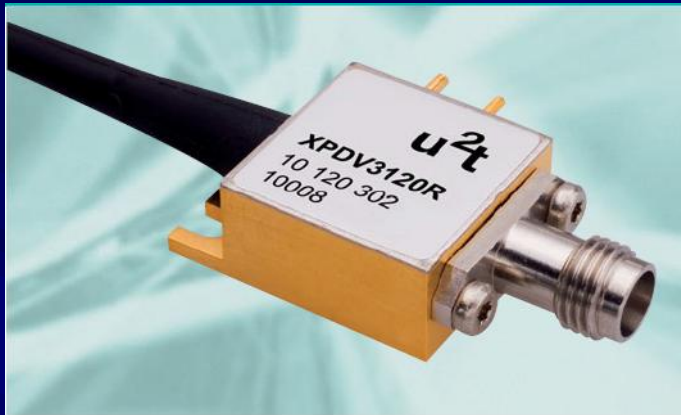
Мощность сигнала на выходе ФД



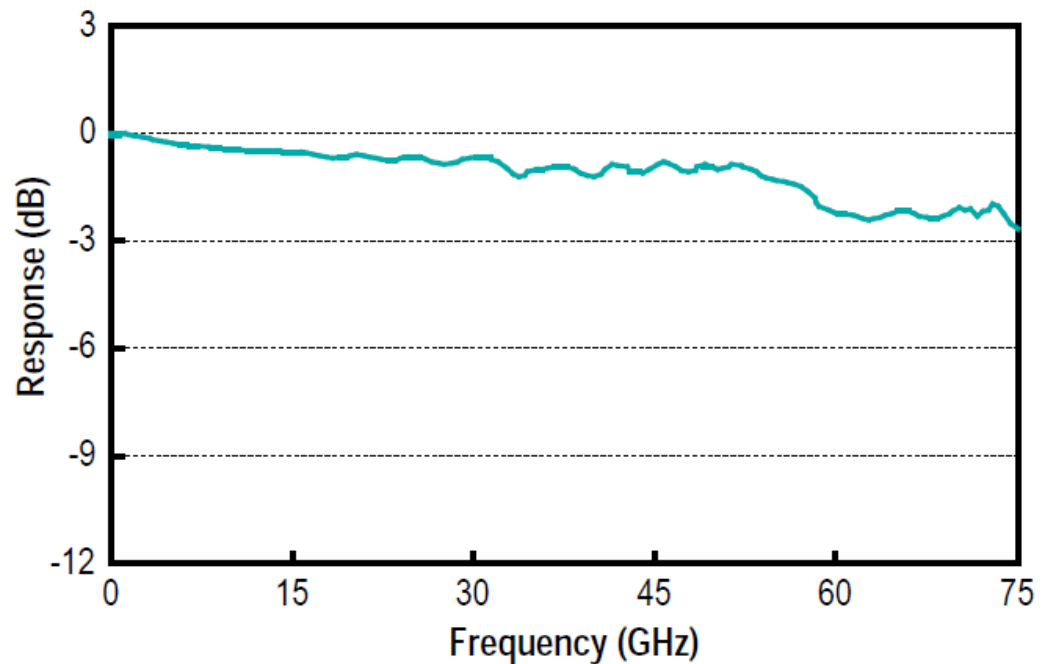
*Модулятор Маха-Цандера  
с диапазоном рабочих частот до 110 ГГц*



# Фотодетектор с диапазоном рабочих частот до 75 ГГц



## Frequency Response



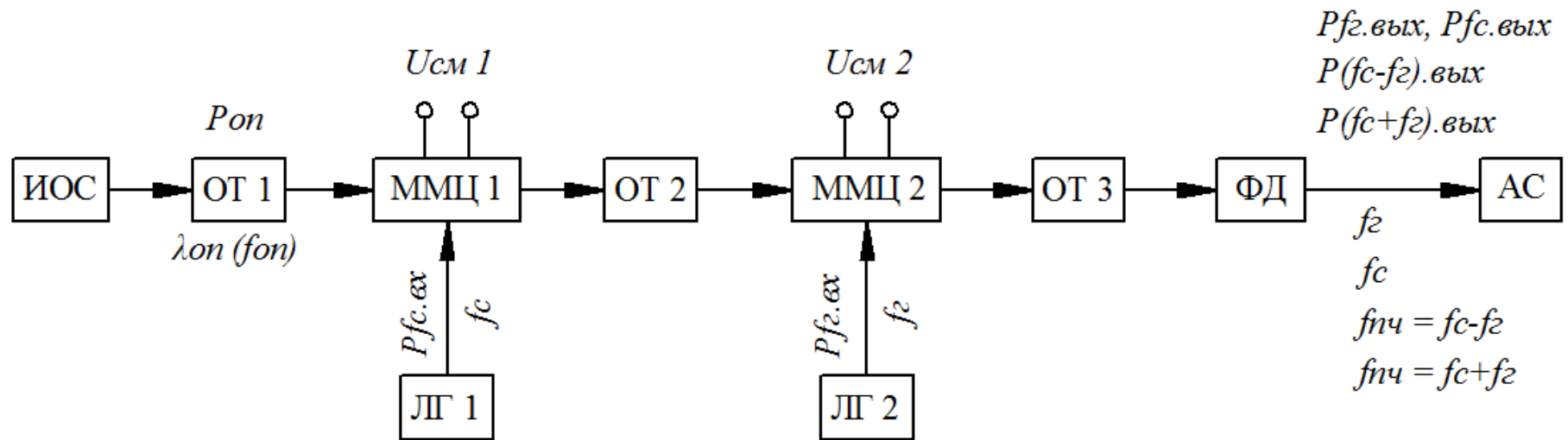
# *Фотодетектор с диапазоном рабочих частот до 100 ГГц*



## Advanced RF Optical Detectors and Receivers

Finisar's single and balanced photodetectors, which leverage advanced waveguide integrated photodiodes, offer a highly-linear frequency response from DC to over 100 GHz and high RF output power levels for Analog RF-over-Fiber applications. The detectors operate at various wavelengths including 1310 nm and 1550 nm. Finisar also offers receivers mating these advanced photodetectors with high-performance transimpedance amplifiers.

# Схема структурная радиофотонного смесителя



**АС** - анализатор спектра,

**ИОС** - источник оптического сигнала,

**ЛГ 1, ЛГ 2** - лабораторные генераторы,

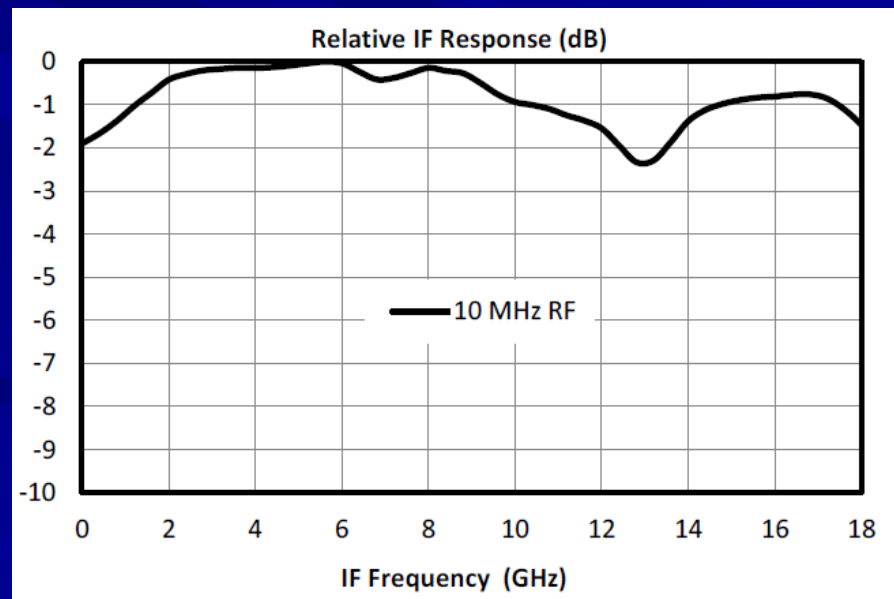
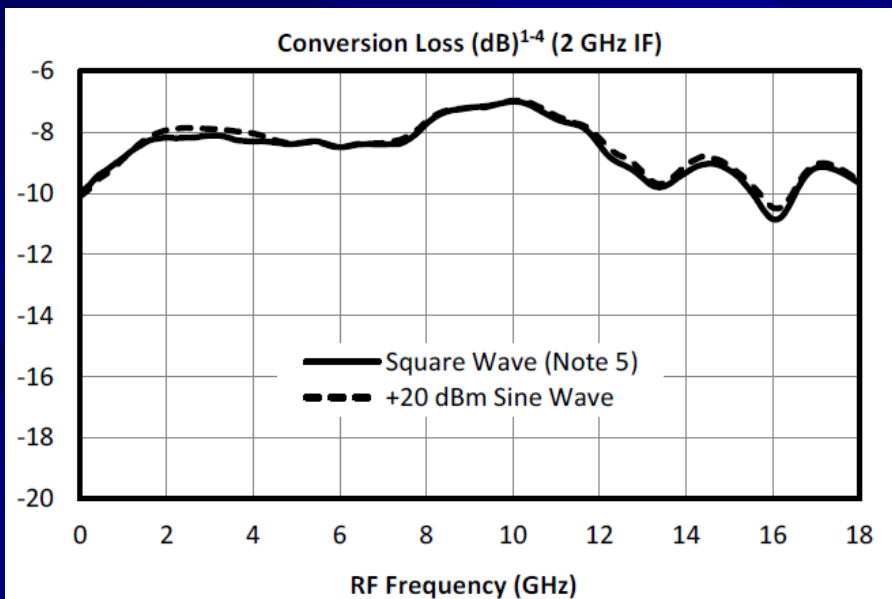
**ММЦ 1, ММЦ 2** - модуляторы Маха-Цандера,

**ОТ 1, ОТ 2** - оптические тракты в виде PMF-28,

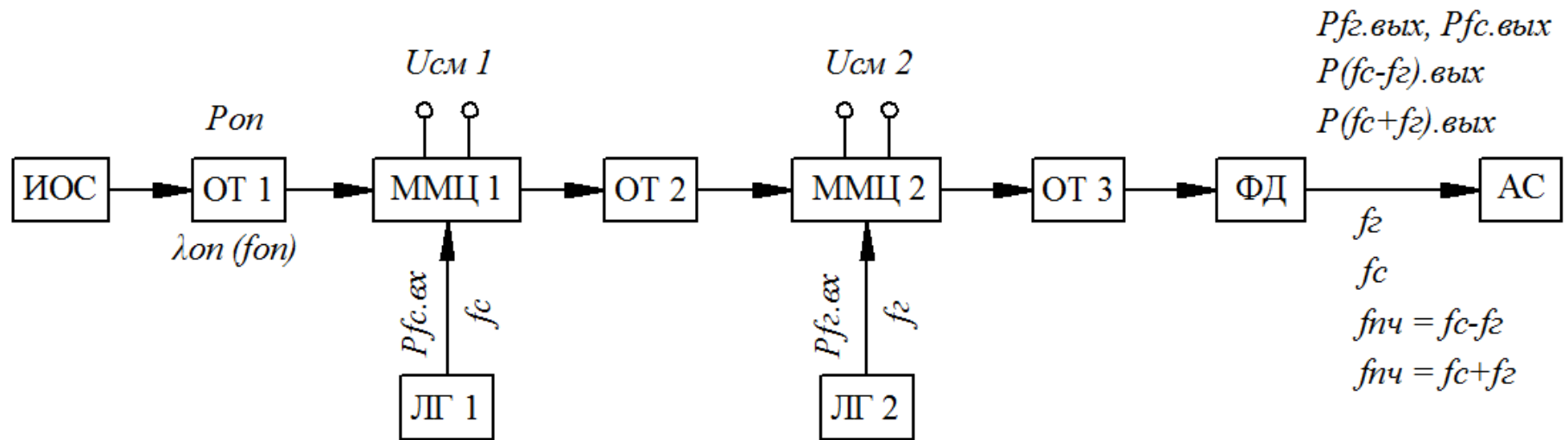
**ОТ 3** - оптический тракт в виде SMF-28,

**ФД** - фотодетектор

# Смесители фирмы Marki MicroWave (серия T3)



# Схема структурная радиофотонного смесителя



**АС** - анализатор спектра,

**ИОС** - источник оптического сигнала,

**ЛГ 1, ЛГ 2** - лабораторные генераторы,

**ММЦ 1, ММЦ 2** - модуляторы Маха-Цандера,

**ОТ 1, ОТ 2** - оптические тракты в виде PMF-28,

**ОТ 3** - оптический тракт в виде SMF-28,

**ФД** - фотодетектор

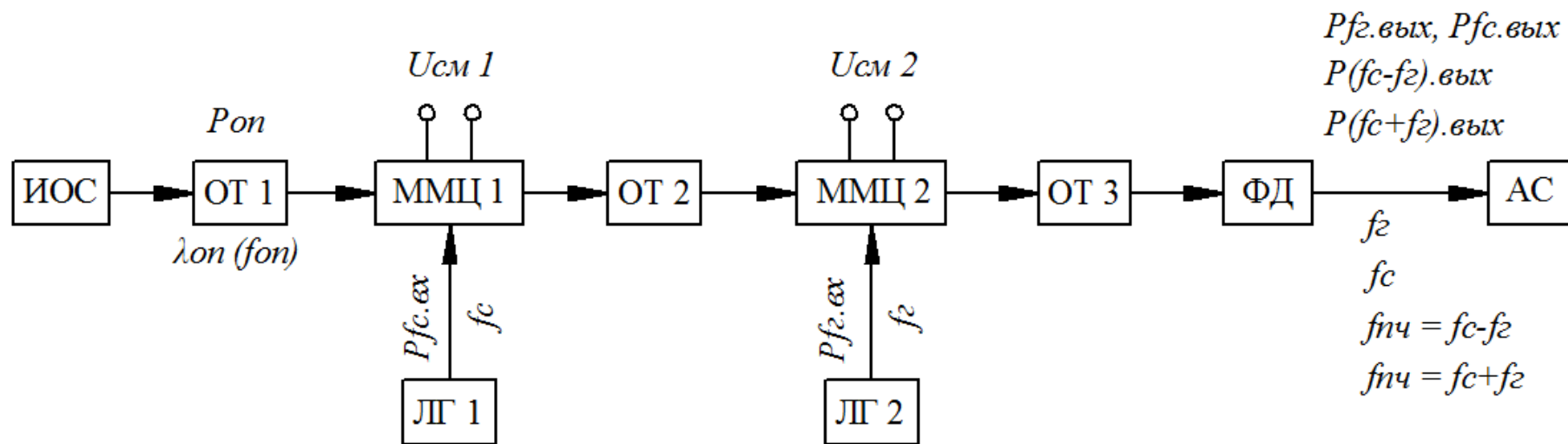
*Авторы выражают благодарность  
сотрудникам ЗАО "РТИ-Радио" ([www.rti-r.ru](http://www.rti-r.ru))  
и лично Алексею Николаевичу Шулунову  
за предоставленную возможность  
проведения данных экспериментальных работ.*



## *Параметры радиофотонных компонентов:*

- лабораторный ИОС с длиной волны излучения ( $\lambda_{оп}$ ) ~ 1.55 мкм и мощностью выходного сигнала ( $P_{оп}$ ) ~ 13 дБм,*
- первый ММЦ с верхней границей ДРЧ по электрическому входу ~ 12 ГГц, полуволновым напряжением ~ 4.4 В и потерями в оптическом тракте ~ 3.2 дБ,*
- второй ММЦ с верхней границей ДРЧ по электрическому входу ~ 40 ГГц, полуволновым напряжением ~ 3.3 В и потерями в оптическом тракте 4.5 дБ,*
- фотодетектор с верхней границей ДРЧ по электрическому выходу СПЧ ~ 16 ГГц и фоточувствительностью ~ 0.7 А/Вт*

# Схема структурная радиофотонного смесителя



**АС** - анализатор спектра,

**ИОС** - источник оптического сигнала,

**ЛГ 1, ЛГ 2** - лабораторные генераторы,

**ММЦ 1, ММЦ 2** - модуляторы Маха-Цандера,

**ОТ 1, ОТ 2** - оптические тракты в виде PMF-28,

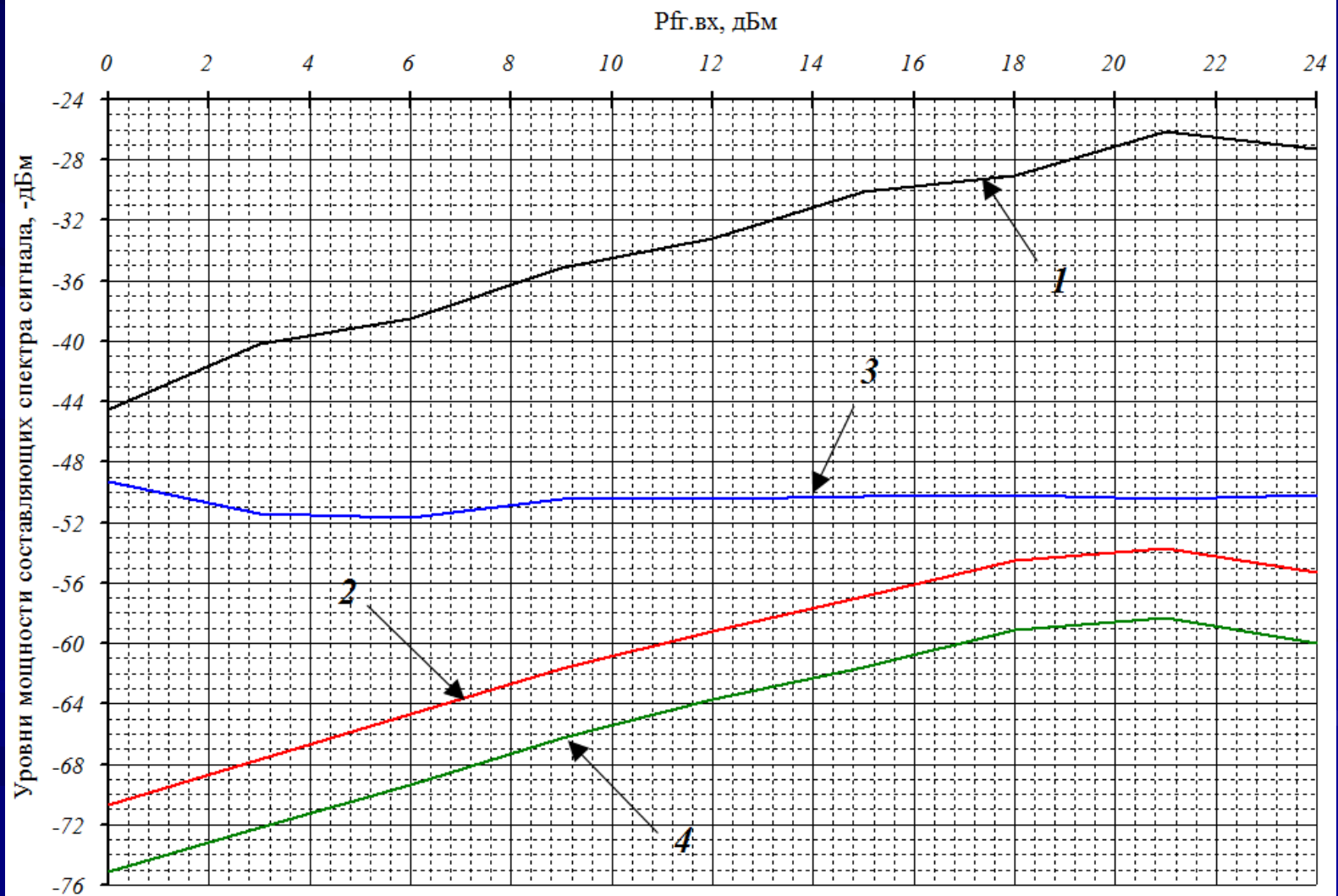
**ОТ 3** - оптический тракт в виде SMF-28,

**ФД** - фотодетектор

## Спектр сигнала на выходе фотодетектора

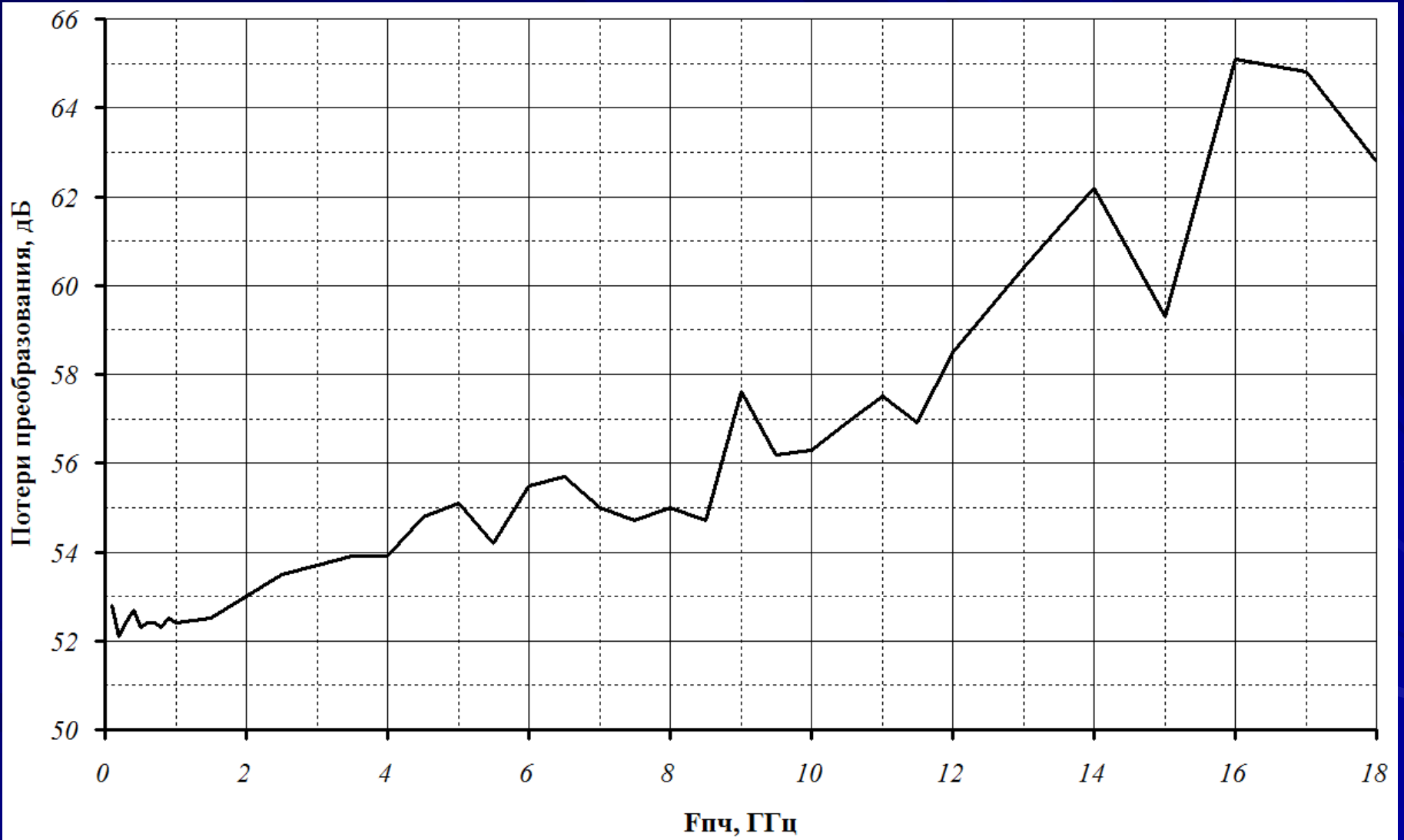


**Зависимость уровней мощности составляющих спектра на выходе фотодетектора от уровня мощности сигнала гетеродина при  $f_c = 10$  ГГц,  $P_{fc.вх} = 0$  дБм,  $f_2 = 3$  ГГц**

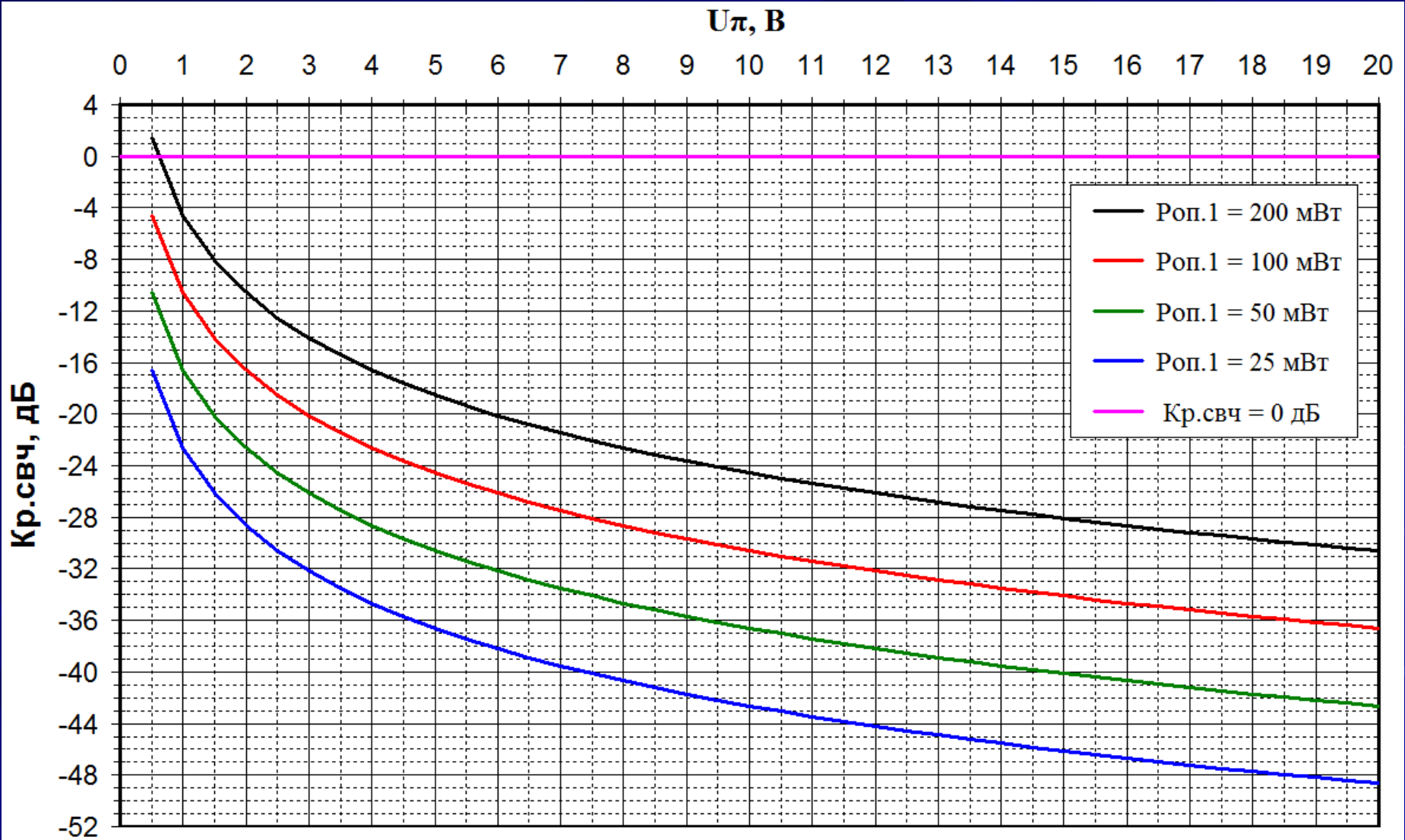


**1 -  $P_{f_2.вых}$ , 2 -  $P_{(f_c-f_2).вых}$ , 3 -  $P_{f_c.вых}$ , 4 -  $P_{(f_c+f_2).вых}$**

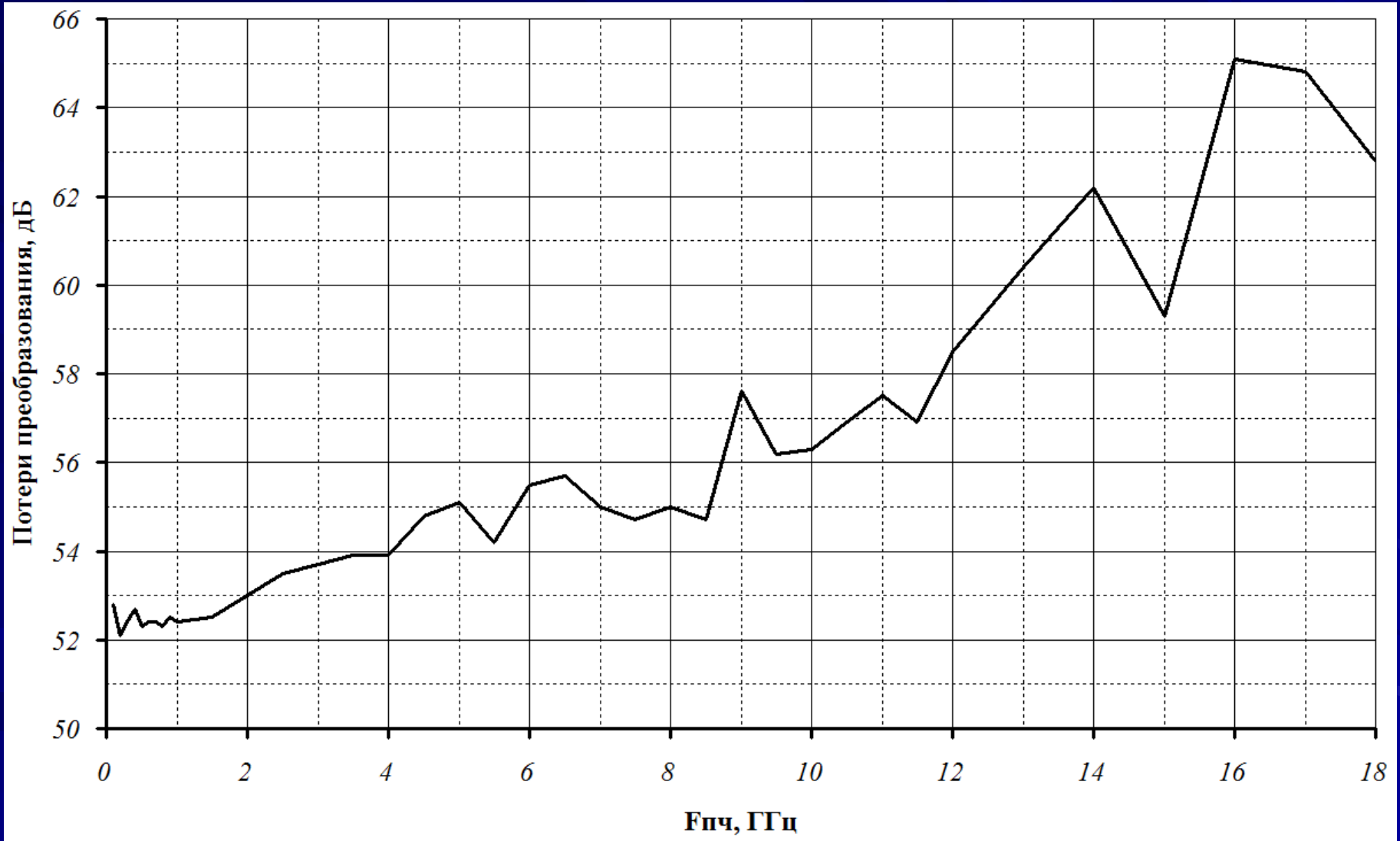
**Зависимость потерь преобразования от частоты в диапазоне ПЧ**  
 $f_c = 2 \text{ ГГц}$ ,  $P_{f_c.вх} = 0 \text{ дБм}$ ,  $f_2 = 2.1 - 20.0 \text{ ГГц}$ ,  $P_{f_2.вх} = 15 \text{ дБм}$



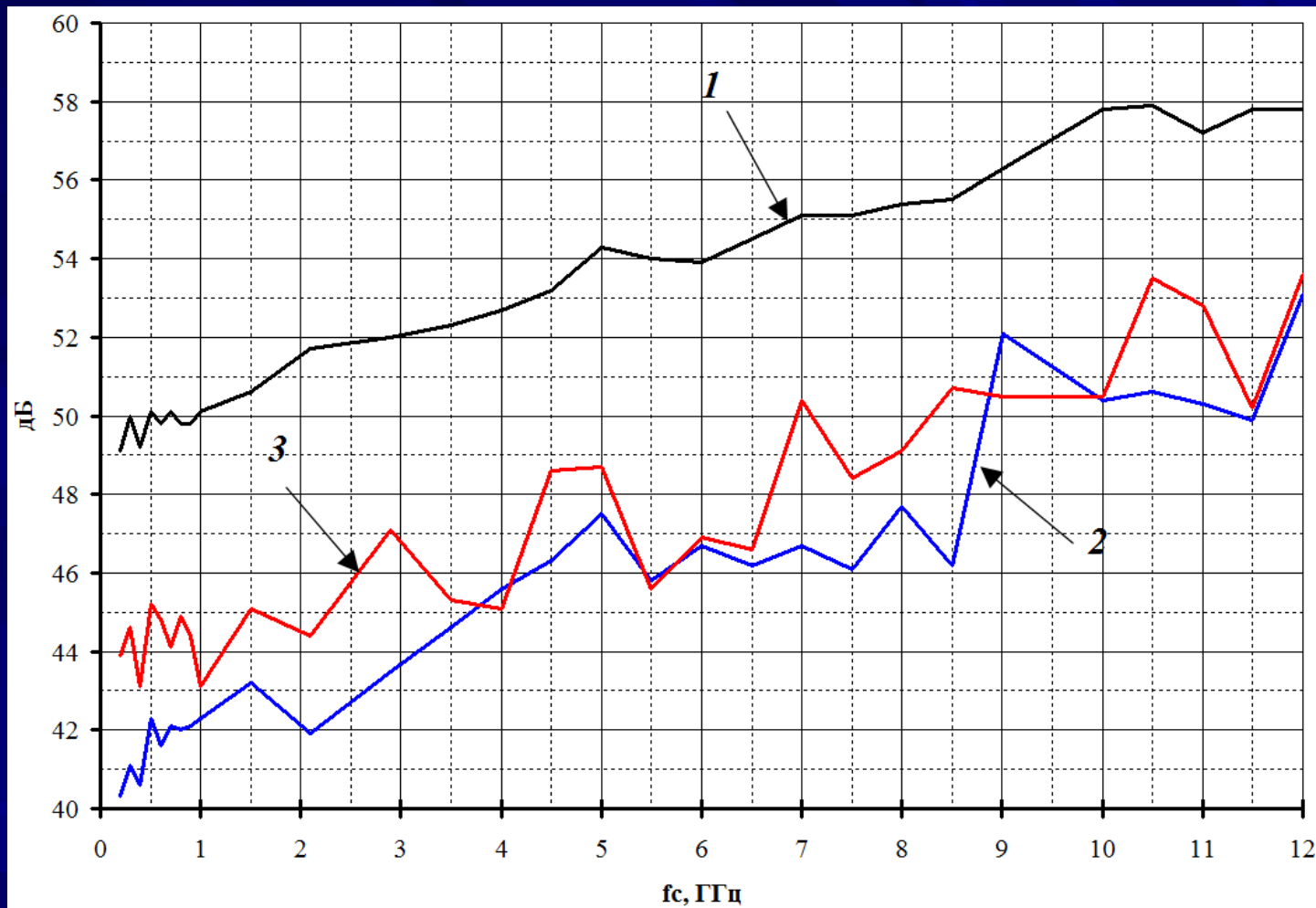
# Зависимости Кр.свч от $U_{\pi}$ при различных $P_{оп.1}$ ( $K_{з.мми}$ = 6 дБ, $U_{свч.вх}$ = 7 мВ, $P_{ф}$ = 0.6 А / Вт)



**Зависимость потерь преобразования от частоты в диапазоне ПЧ**  
 **$f_c = 2$  ГГц,  $P_{f_c.вх} = 0$  дБм,  $f_2 = 2.1 - 20.0$  ГГц,  $P_{f_2.вх} = 15$  дБм**



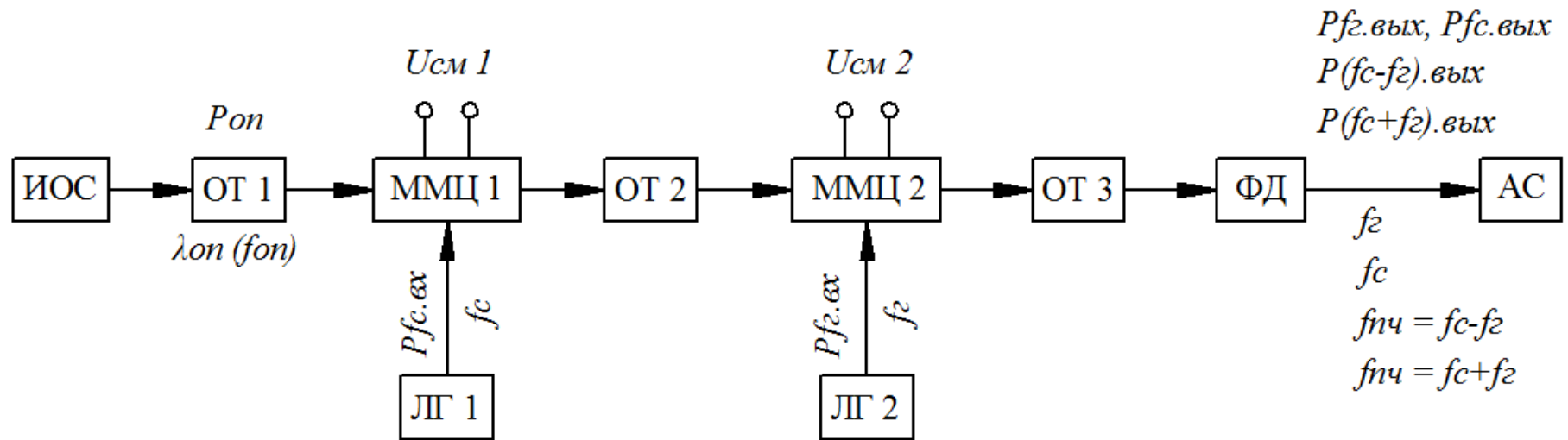
*Зависимость потерь преобразования от частоты в диапазоне входного сигнала  
 $f_c = 0.2 - 12.0$  ГГц,  $P_{f_c.vx} = 0$  дБм,  $f_2 = 4.2 - 14.0$  ГГц,  $P_{f_2.vx} = 15$  дБм*



*1 - потери преобразования, 2 - развязка между трактом радиосигнала и трактом сигнала ПЧ, 3 - развязка между трактом сигнала гетеродина и трактом сигнала ПЧ*



# Схема структурная радиофотонного смесителя



**АС** - анализатор спектра,

**ИОС** - источник оптического сигнала,

**ЛГ 1, ЛГ 2** - лабораторные генераторы,

**ММЦ 1, ММЦ 2** - модуляторы Маха-Цандера,

**ОТ 1, ОТ 2** - оптические тракты в виде PMF-28,

**ОТ 3** - оптический тракт в виде SMF-28,

**ФД** - фотодетектор

***Спасибо  
за внимание!***

***Конструктивная критика  
принимается по адресу  
[ur-vol@yandex.ru](mailto:ur-vol@yandex.ru)***