



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

*О некоторых новостях  
из мира  
отечественной радиофотоники*

*Автор и докладчик:  
Вольхин Ю.Н., ведущий инженер ОАО «ЦКБА»*



**ЛЮБИТЕ ИСКУССТВО  
В СЕБЕ, А НЕ СЕБЯ В  
ИСКУССТВЕ !!!!!!!**

# Семинар №2



# Семинар №13



# Семинар №50



# Семинар №52



# Семинар №53

[www.radiofotonika.ru](http://www.radiofotonika.ru)

*Этот сайт должен стать:*

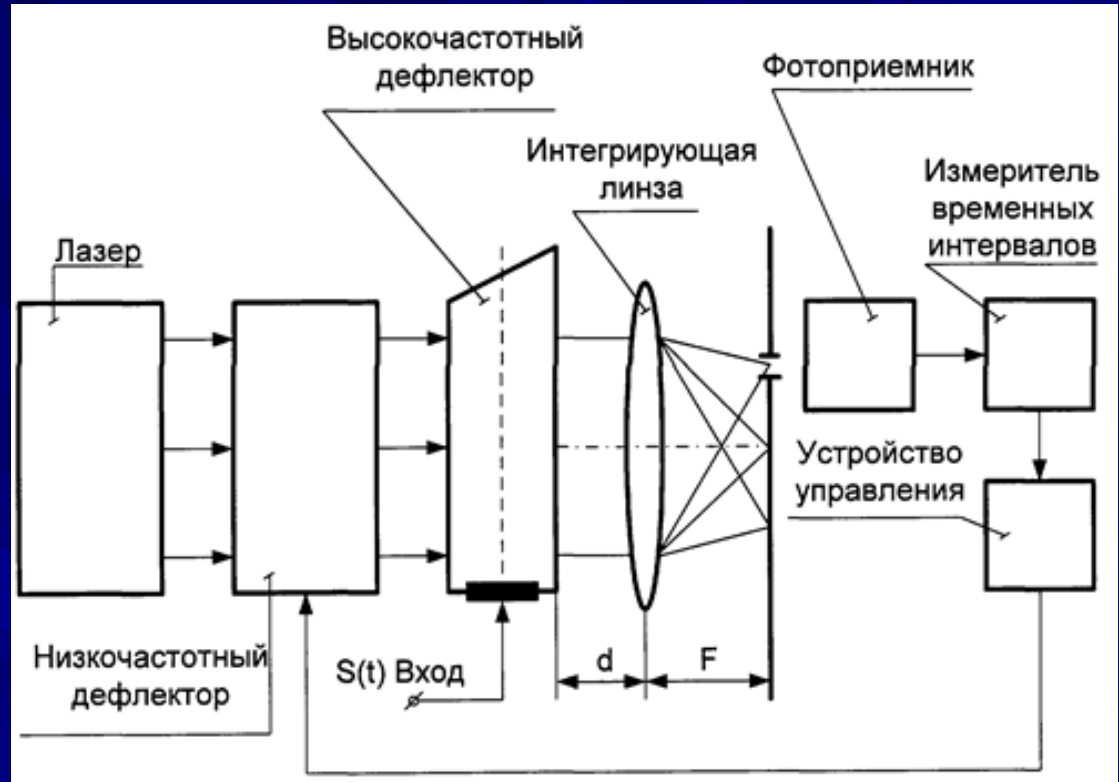
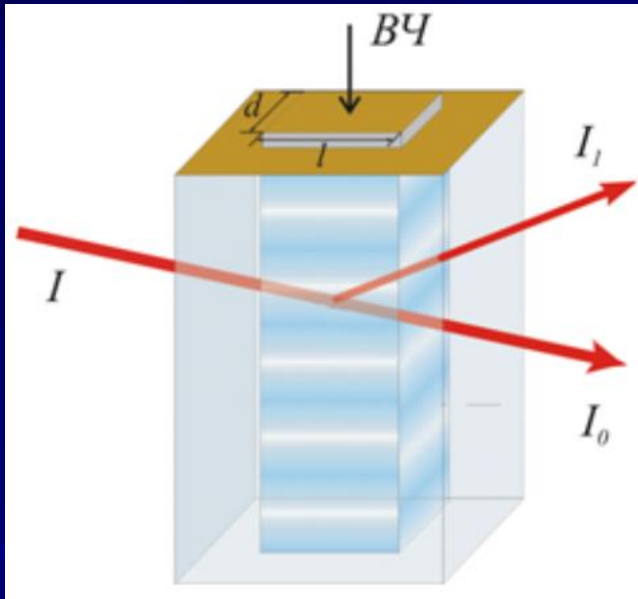
- коллективным популяризатором и популятизатором знаний по фотонике и радиофотонике
- постоянно - действующей площадкой для общения специалистов в области фотоники и радиофотоники
- информативным центром, на котором будут открыты новости из мира фотоники и радиофотоники и пр., пр., пр.

# Семинар №74

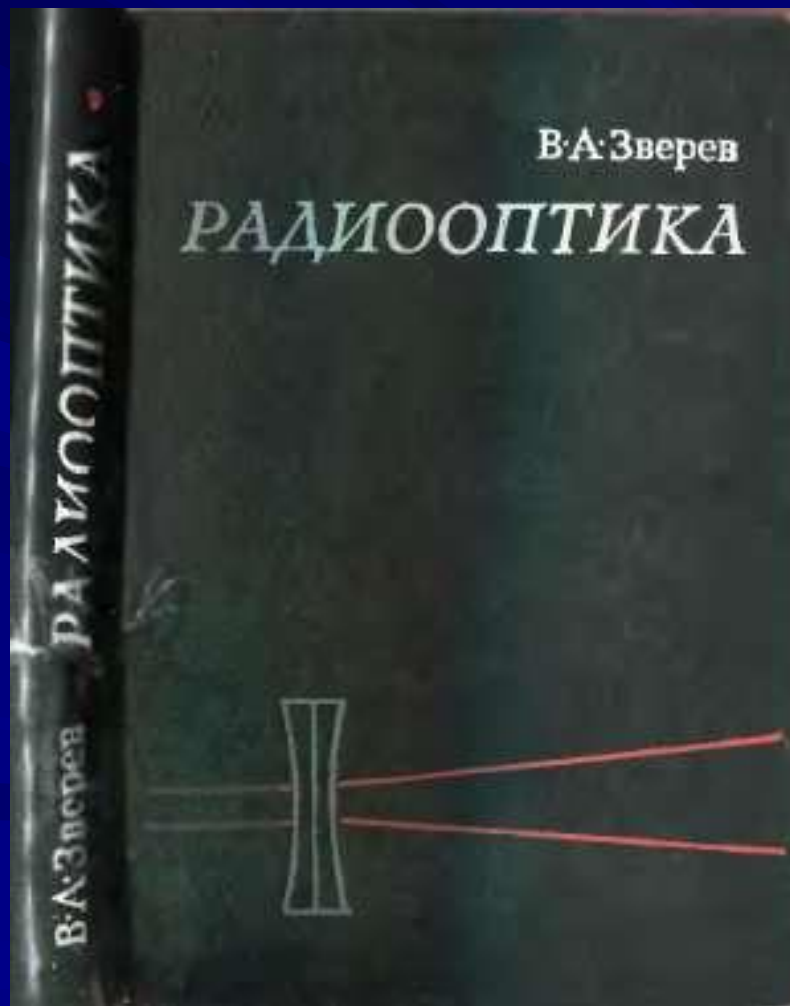




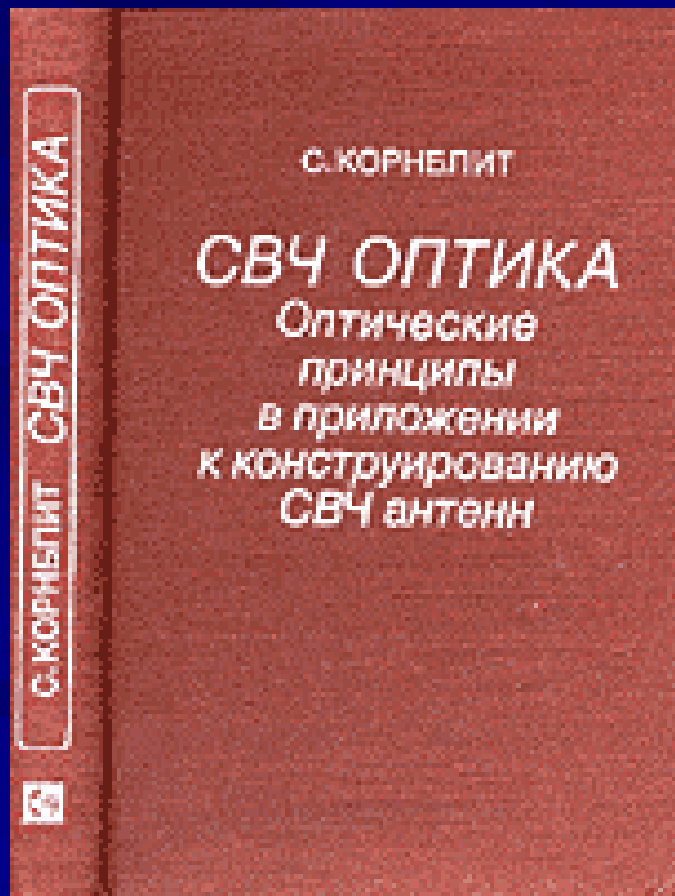
# Акусто-оптический Фурье-преобразователь



*Зверев В.А. Радиооптика. Преобразование сигналов в радио и оптике.- М.: Сов. Радио, 1975 г.*



**Корнблит С. СВЧ оптика. Оптические  
принципы в приложении к конструированию  
СВЧ антенн: Пер. с англ./Под. ред. О. П.  
Фролова.- М.: Связь, 1980.-360 с., ил.**



*РАДИОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА, 2009, том 54, № 8, с. 901–914*

---

---

**ОБЗОР**

---

---

*УДК 621.373*

**НОВОЕ НАПРАВЛЕНИЕ ФОТОНИКИ – СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНАЯ  
ОПТОЭЛЕКТРОНИКА**

**© 2009 г. М. Е. Белкин, А. С. Сигов**

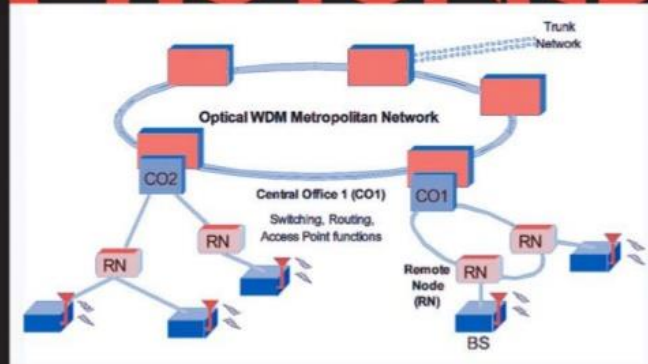
Поступила в редакцию 11.07.2008 г.

**Санкт-Петербургский Национальный  
Исследовательский университет  
информационных технологий, механики и  
оптики Кафедра оптики  
квантоворазмерных систем**

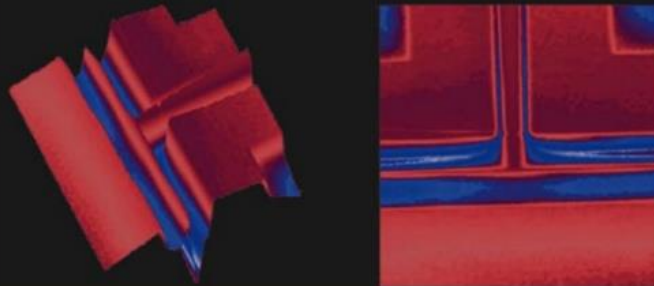
**ЛАБОРАТОРИЯ РАДИОФОТОНИКИ**

**[www.faculty.ifmo.ru/oks/radiofotonika](http://www.faculty.ifmo.ru/oks/radiofotonika)**

# MICROWAVE PHOTONICS



Edited by  
**Chi H. Lee**



 **CRC Press**  
Taylor & Francis Group



# Microwave Photonic Links

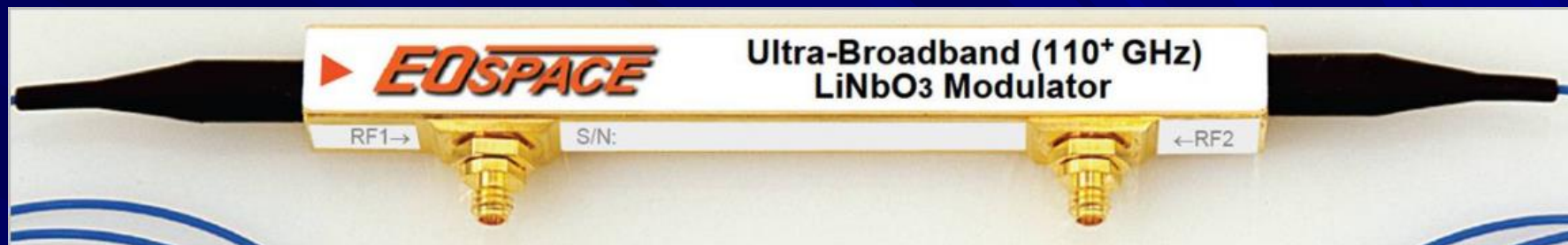
*Components and Circuits*

**Christian Rumelhard**  
**Catherine Algani**  
**Anne-Laure Billabert**

 **ISTE**

 **WILEY**

# Элементная база радифотоники



*электро-оптический модулятор Маха-Цандера*

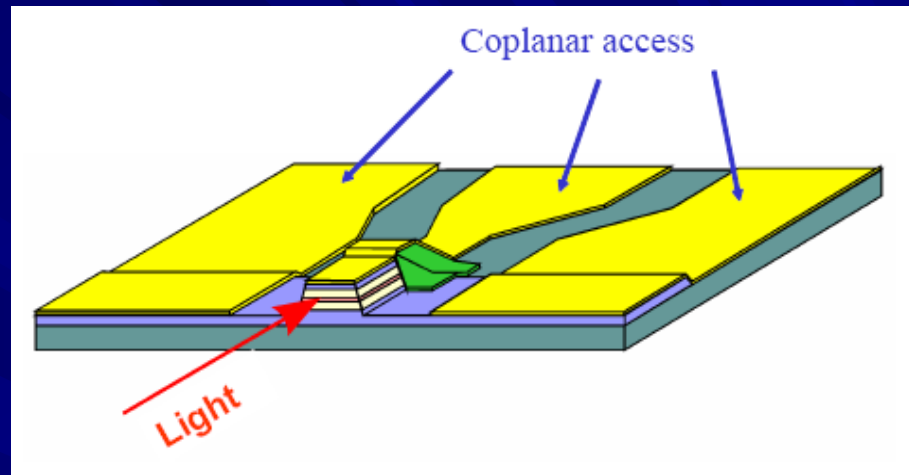
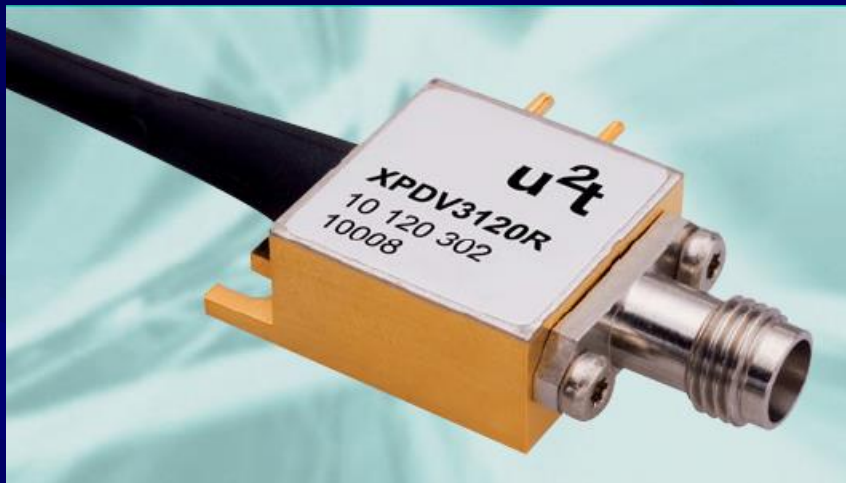


*электро-поглощающий модулятор*

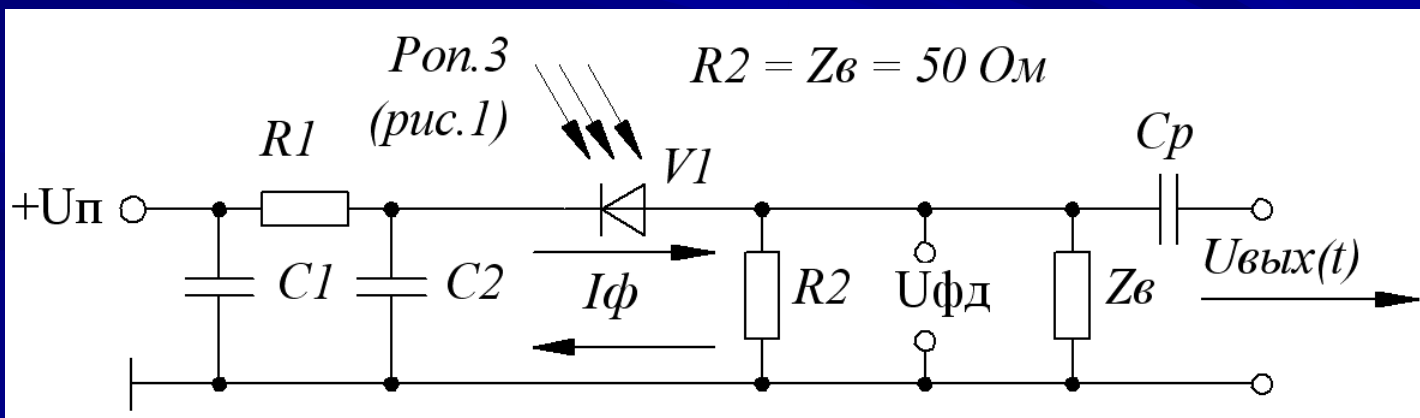


*лазерный диод с прямой модуляцией*

# Элементная база радифотоники

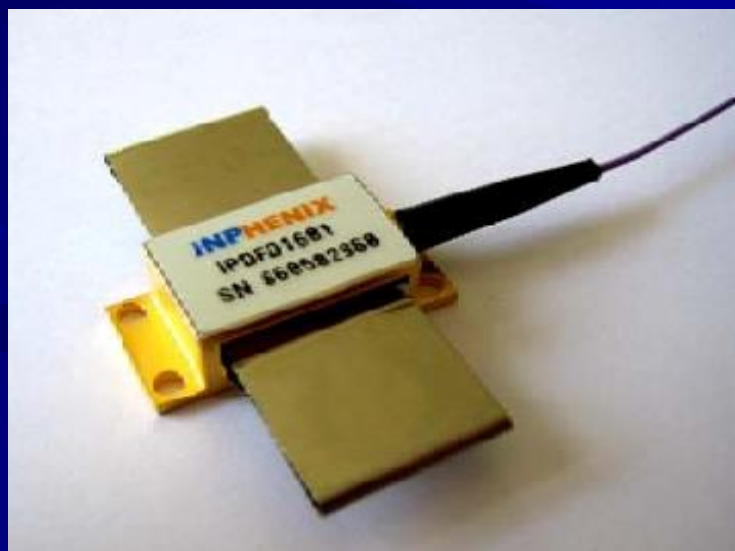


## фотодетекторы





# Элементная база радифотоники

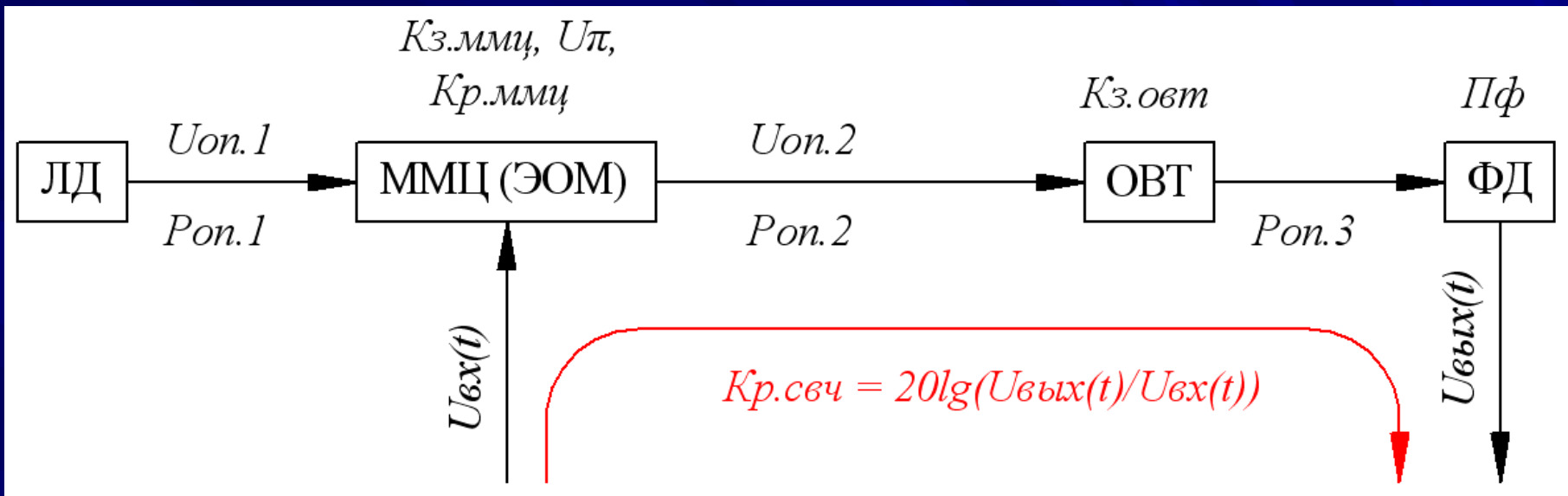


*Полупроводниковы  
лазеры*

# Опто-волоконный кабель



## Схема аналогового РФТ СВЧ



**ЛД - лазерный диод,**

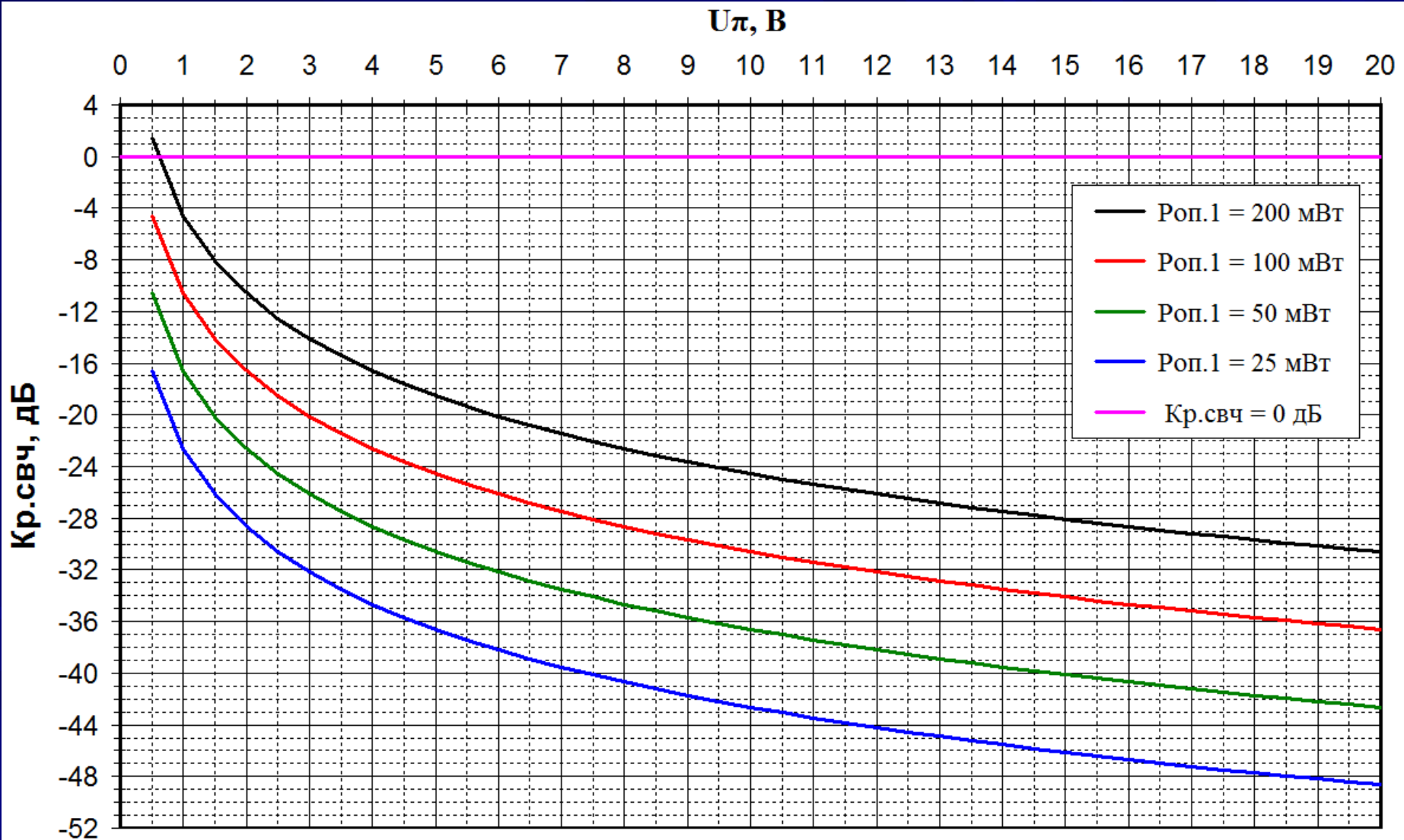
**ММЦ - модулятор Маха-Цандера,**

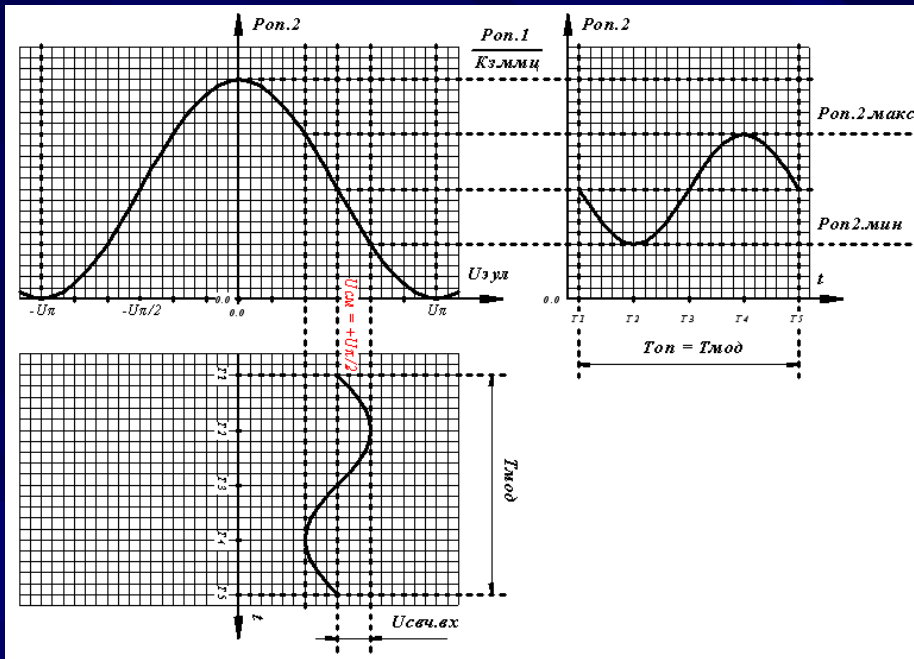
**ОВТ - оптоволоконный тракт,**

**ФД - фотодетектор,**

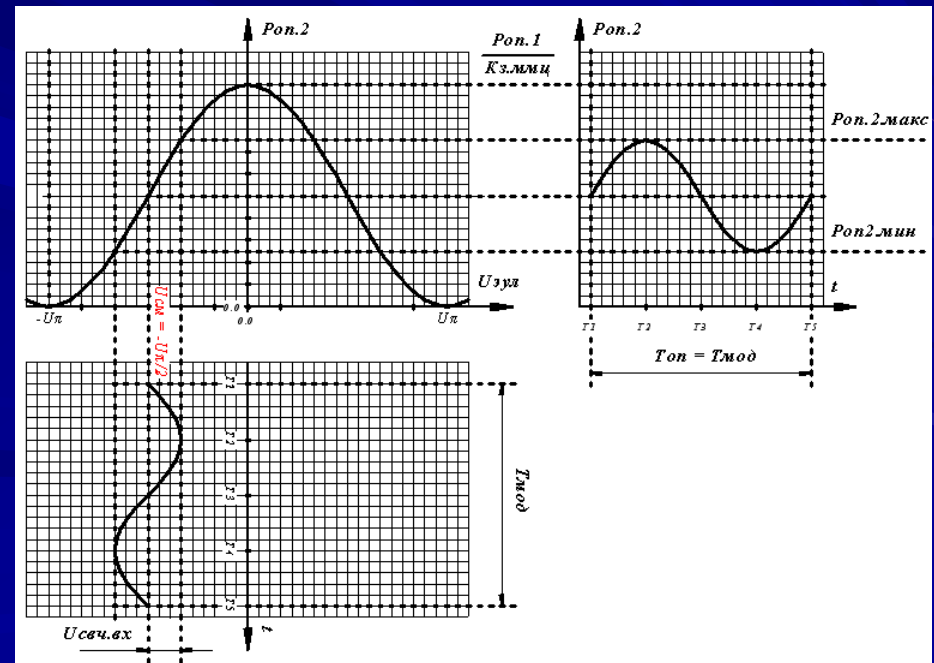
**ЭОМ - электрооптический модулятор**

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)

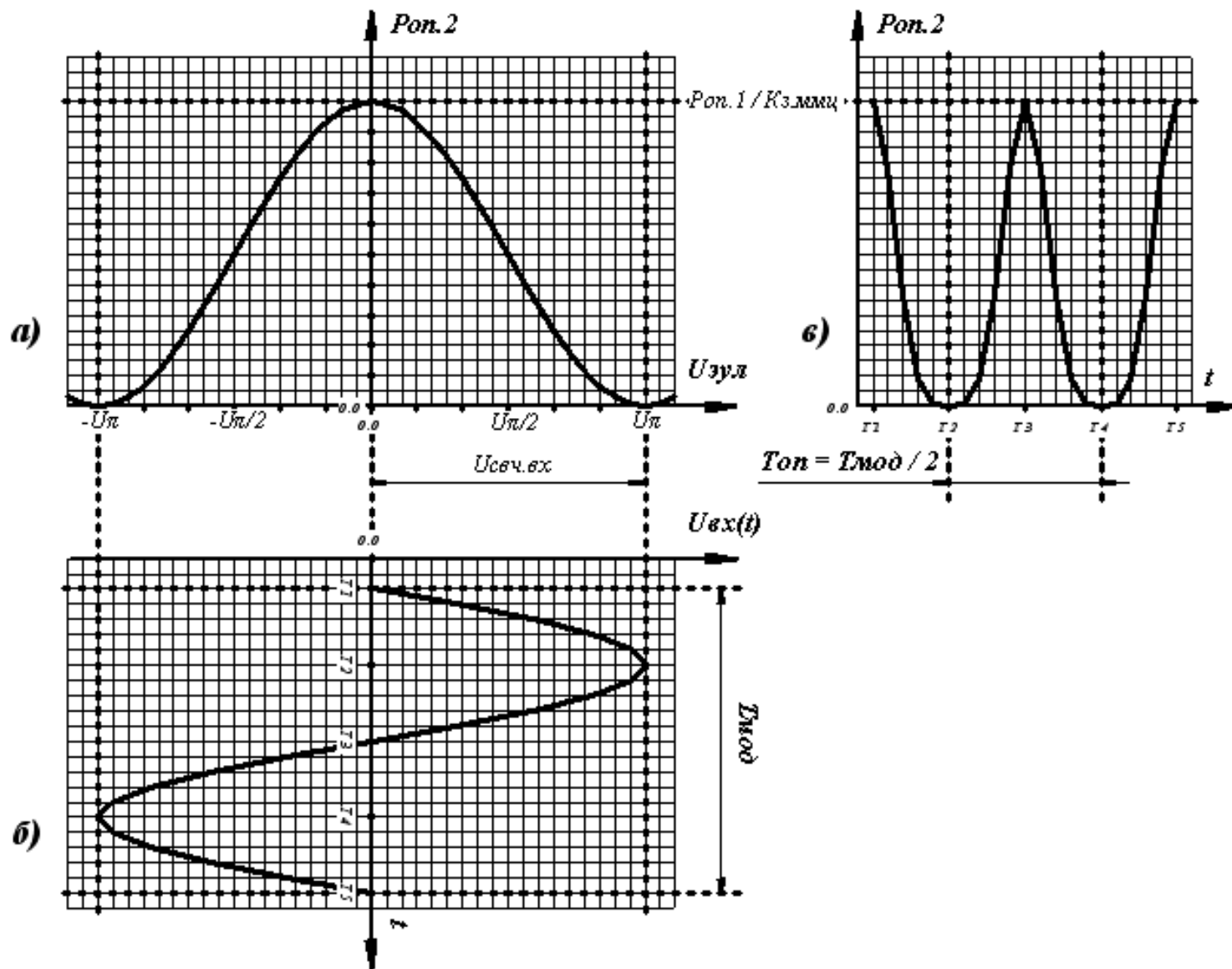




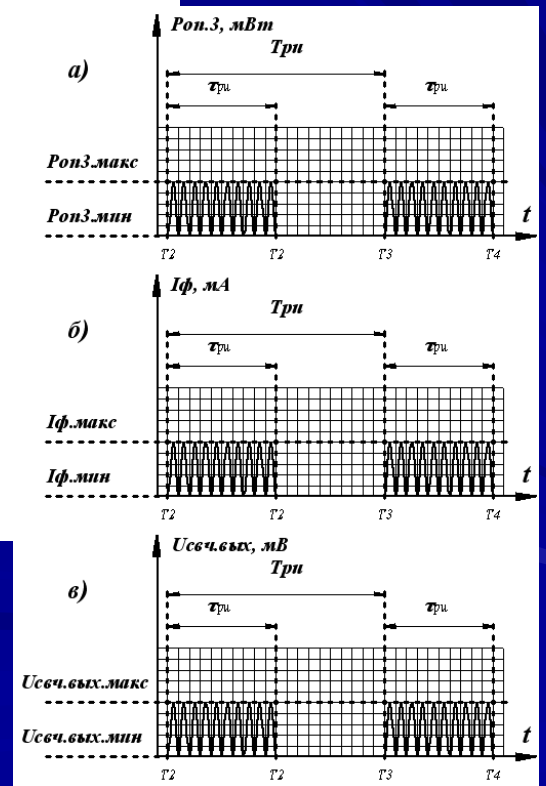
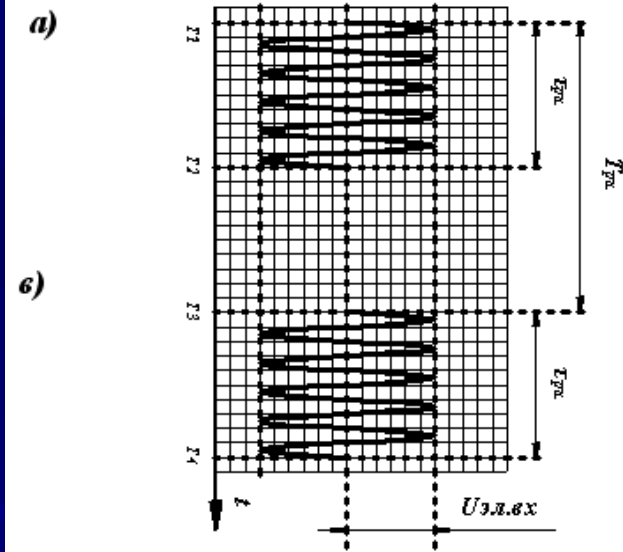
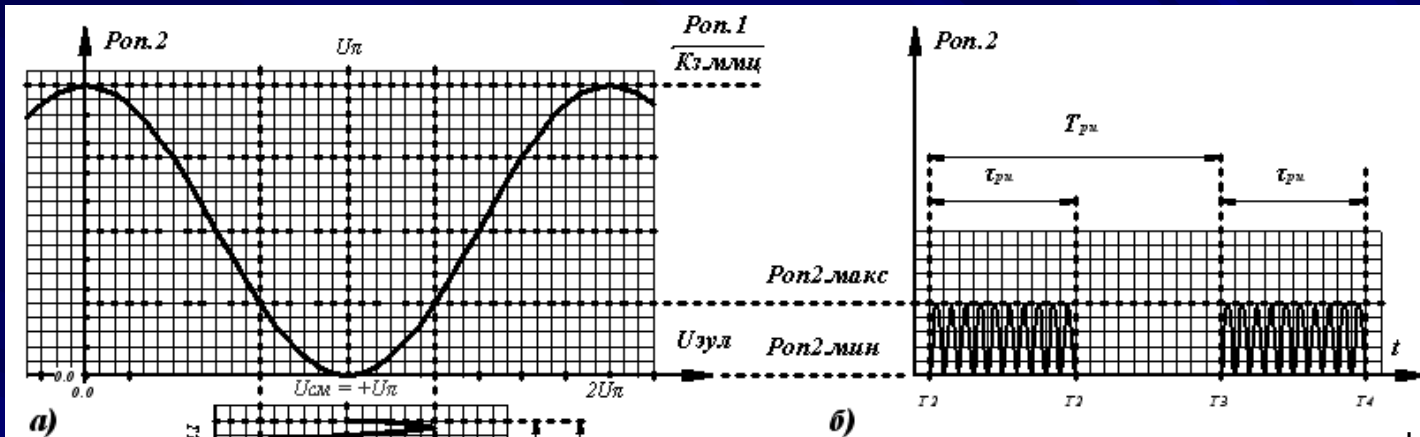
# Фазовая манипуляция в радиофотонном тракте



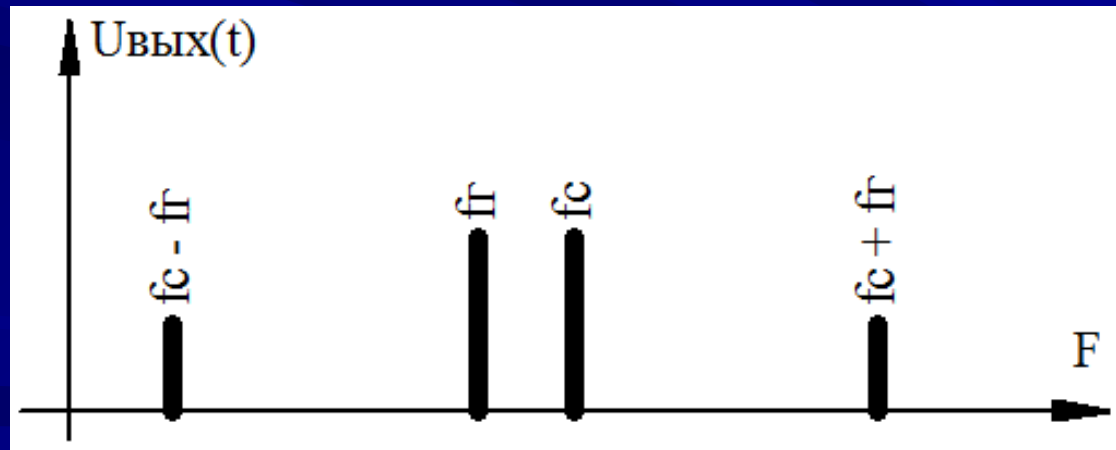
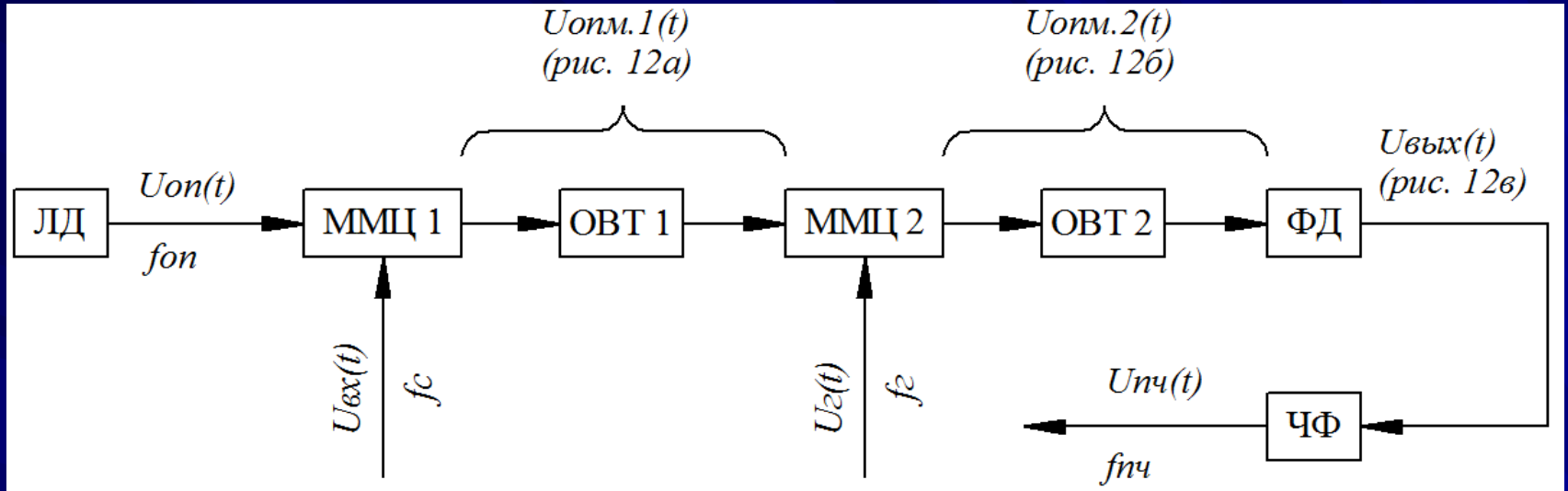
# Умножение частоты в радиофотонном тракте



# Детектирование радиоимпульсов



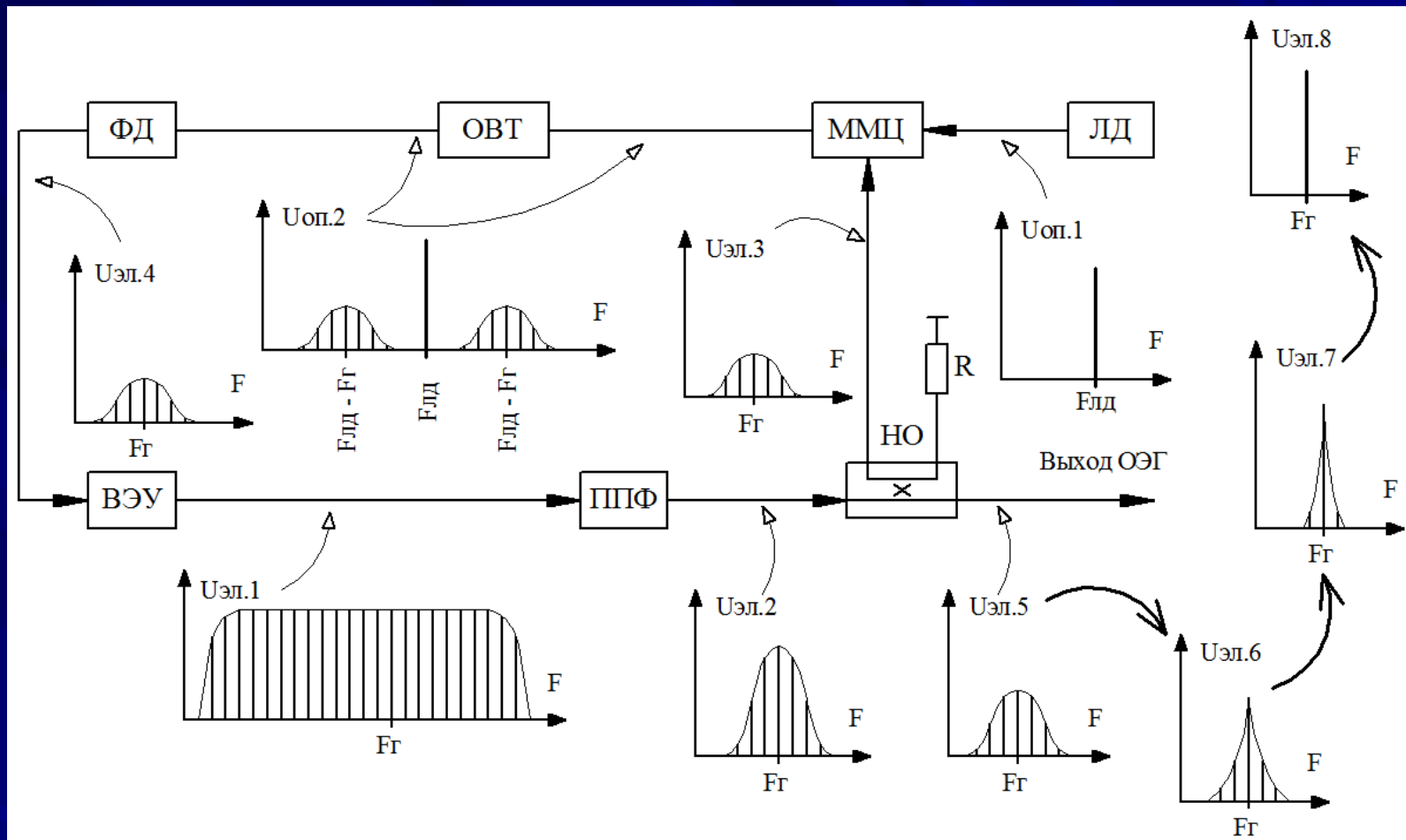
# Преобразование частоты сигнала в радиофотонном тракте



**Спектр оптического сигнала на выходе ФД**



# Радиофотонный автогенератор



**ВЭУ - высокочастотный электронный усилитель, ЛД - лазерный диод, ММЦ - модулятор Маха-Цандера, НО - направленный ответвитель, ОВТ - оптоволоконный тракт, ППФ - полоснопропускающий фильтр, ФД – фотодетектор**

# Многоканальное селективное устройство

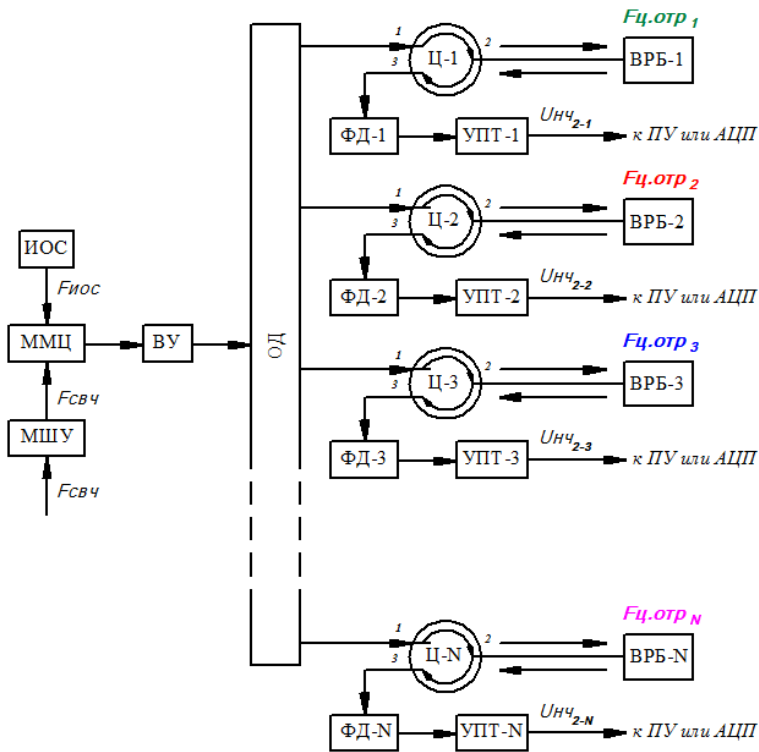


Рис.3. Схема многоканального радиофотонного МИЧ

(АЦП - аналогово-цифровой преобразователь, ВРБ-1 - ВРБ-N - волоконные решётки Брэгга, ИОС - источник оптического сигнала, ММЦ - модулятор Маха - Цандера, ОД - оптический делитель, ПУ - пороговое устройство, УПТ - усилитель постоянного тока, ФД-1 - ФД-N - фотодетекторы, Ц-1 - Ц-N - циркуляторы)

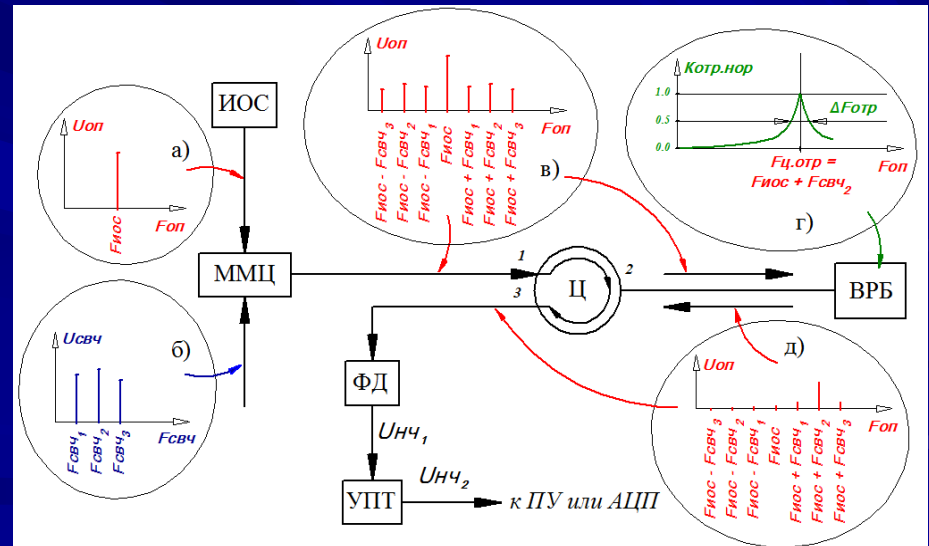
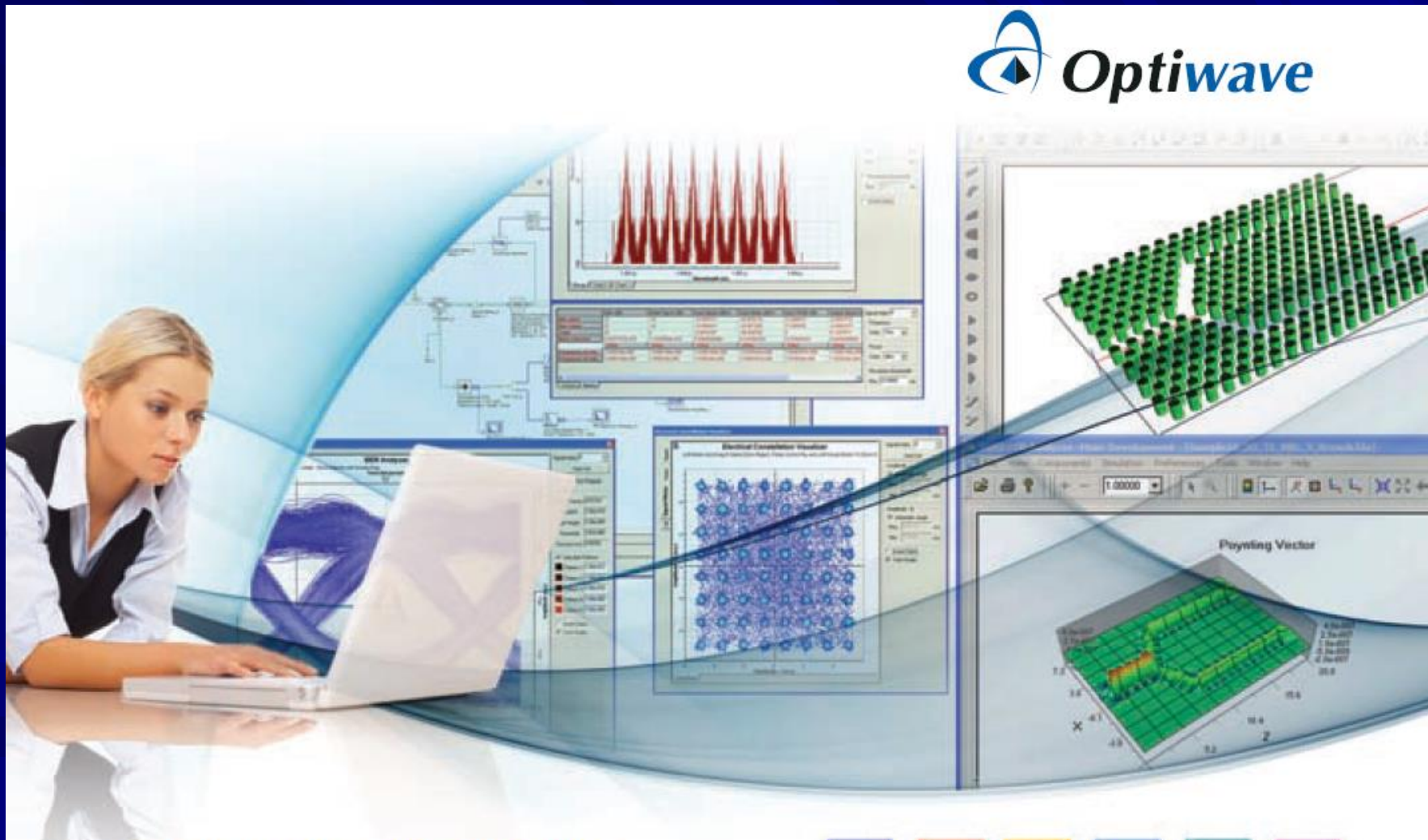


Схема простейшего одноканального радиофотонного МИЧ

(АЦП - аналогово-цифровой преобразователь, ВРБ - волоконная решётка Брэгга, ИОС - источник оптического сигнала, ММЦ - модулятор Маха - Цандера, ПУ - пороговое устройство, УПТ - усилитель постоянного тока, ФД - фотодетектор, Ц - циркулятор)

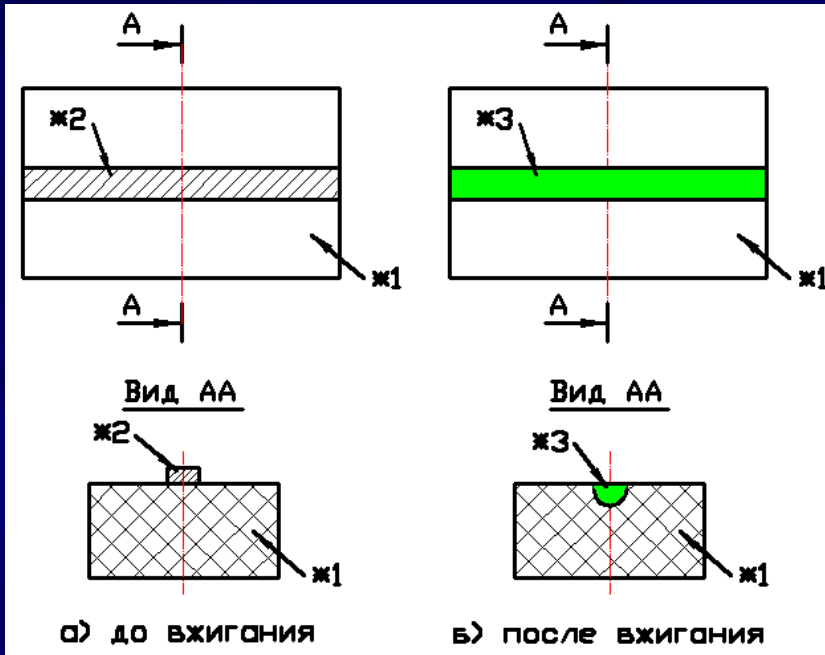
*САПР фирмы Optiwave Systems Inc.*  
*([www.optiwave.com](http://www.optiwave.com))*



DESIGN SOFTWARE FOR PHOTONICS

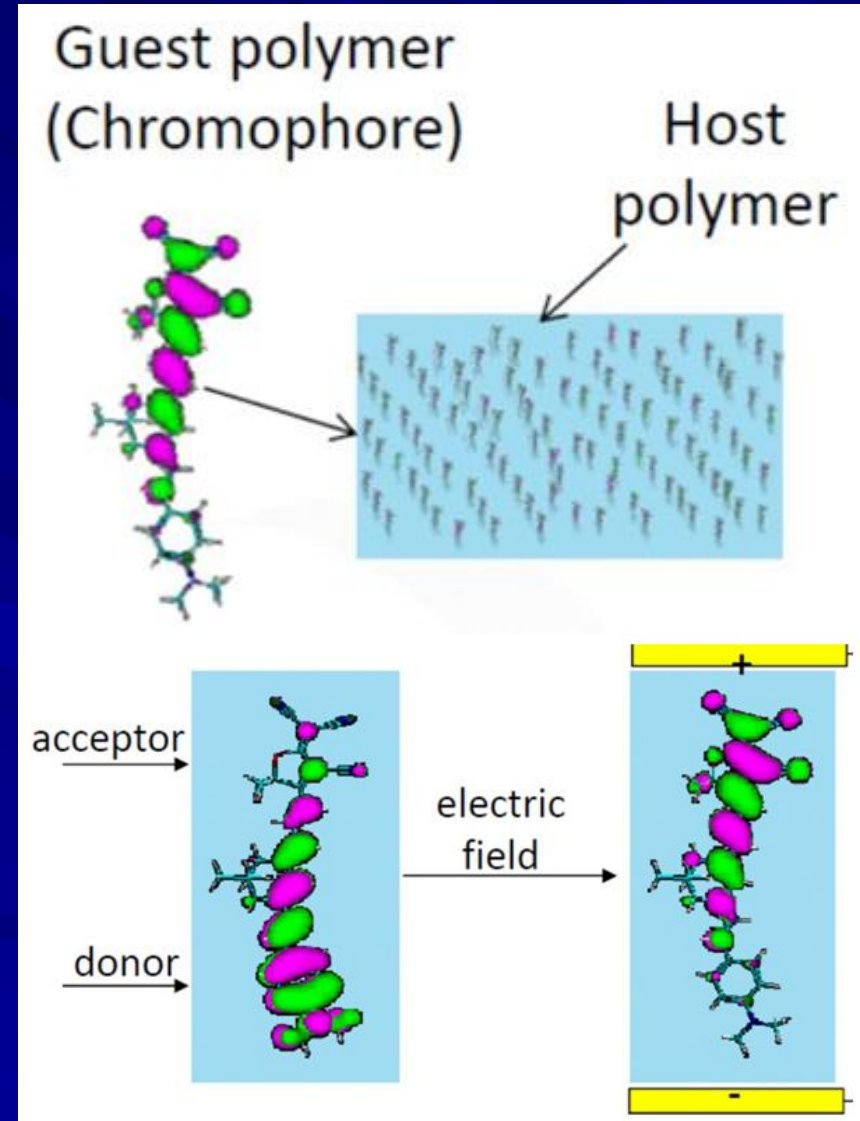


# Технологии радиофотоники



**Формирование  
световодных каналов  
в сегнетоэлектриках**

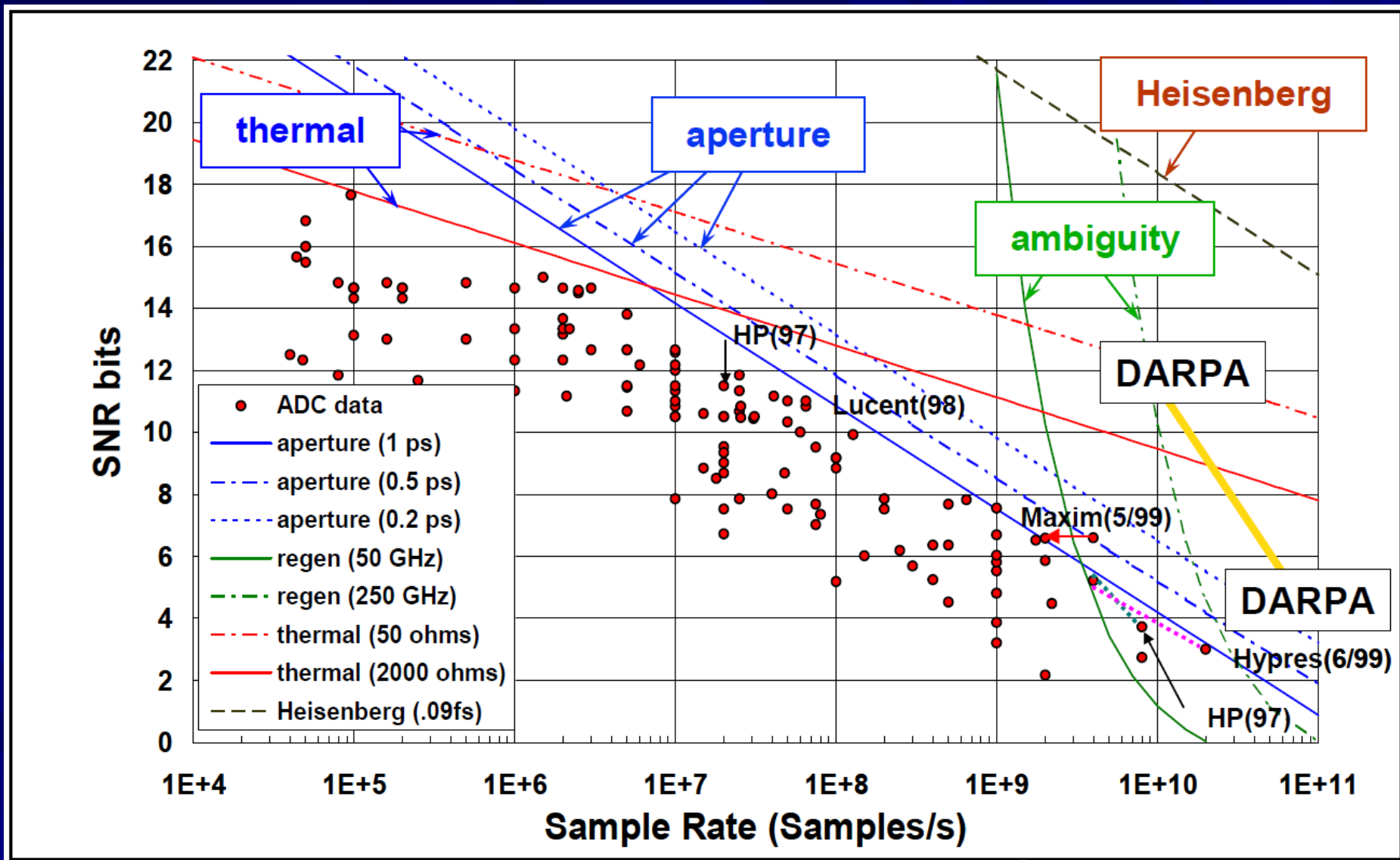
**Формирование  
электро-оптического  
полимера**



# *Сверхширокополосная измерительная система*



# Эффективная разрешающая способность и частота дискретизации



# Принцип неопределённости Гейзенберга

$$\Delta x \times \Delta p \geq \hbar / 2$$

---

$$\Delta E \times \Delta t > \hbar / 2\pi,$$

*где  $\Delta E$  - это энергия наименее различимого сигнала;*

*$\Delta t$  - половина периода выборки;*

*$\hbar$  - постоянная Планка.*

*Потенциальные возможности АЦП:*

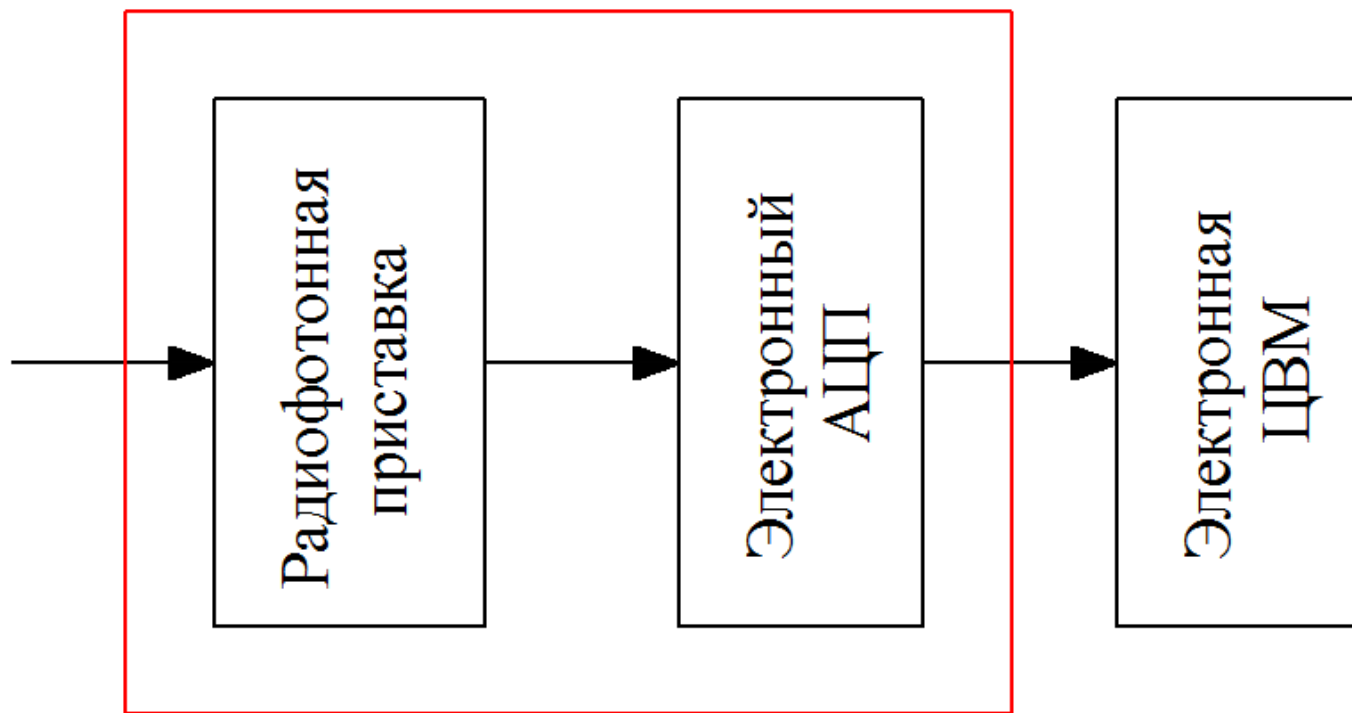
*скорость : 840 гигавыборок / сек*

*разрешение : 12 бит,*

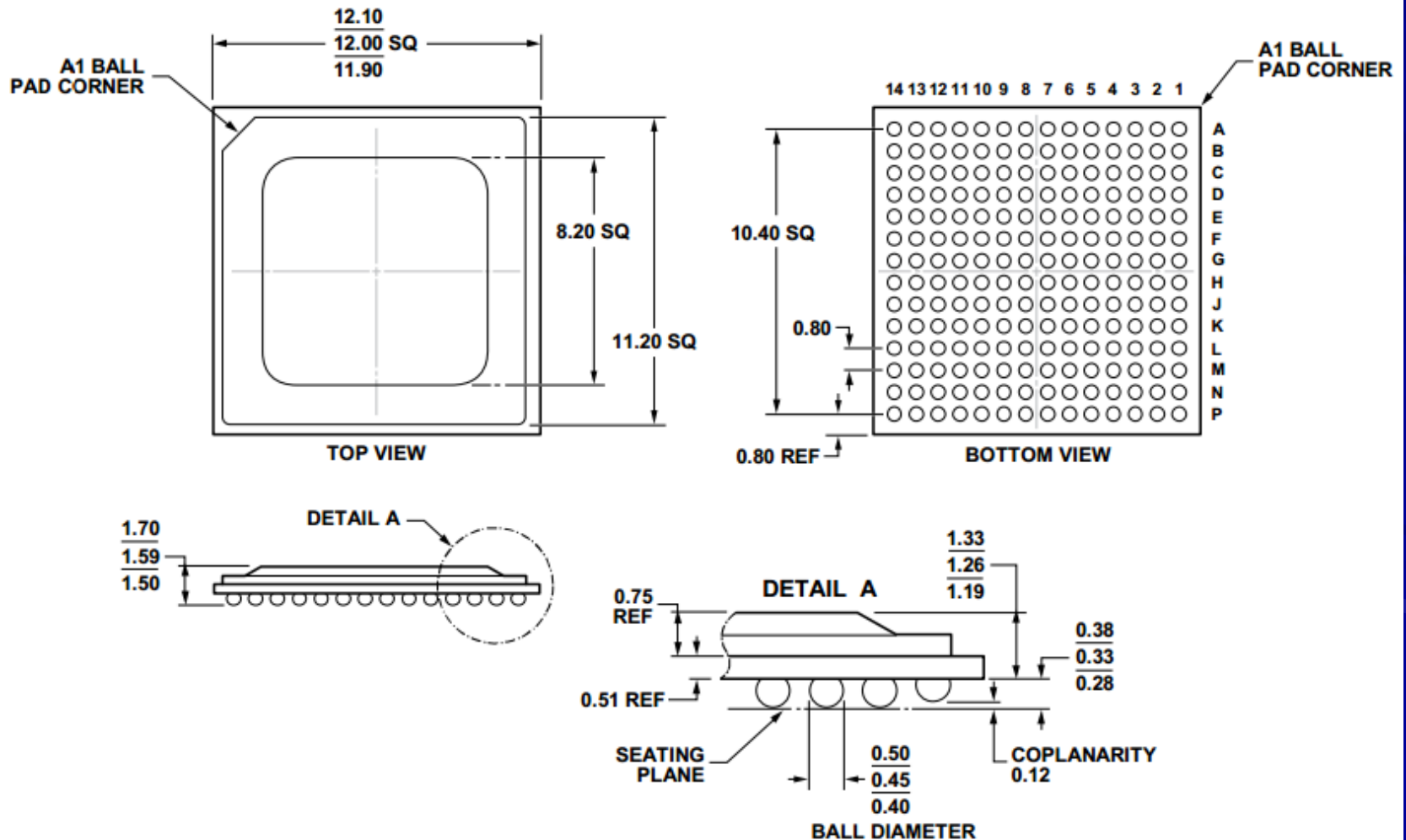
# Электронный АЦП с радиофотонной приставкой

## Радиофотонный АЦП

*Входной  
аналоговый  
сигнал*









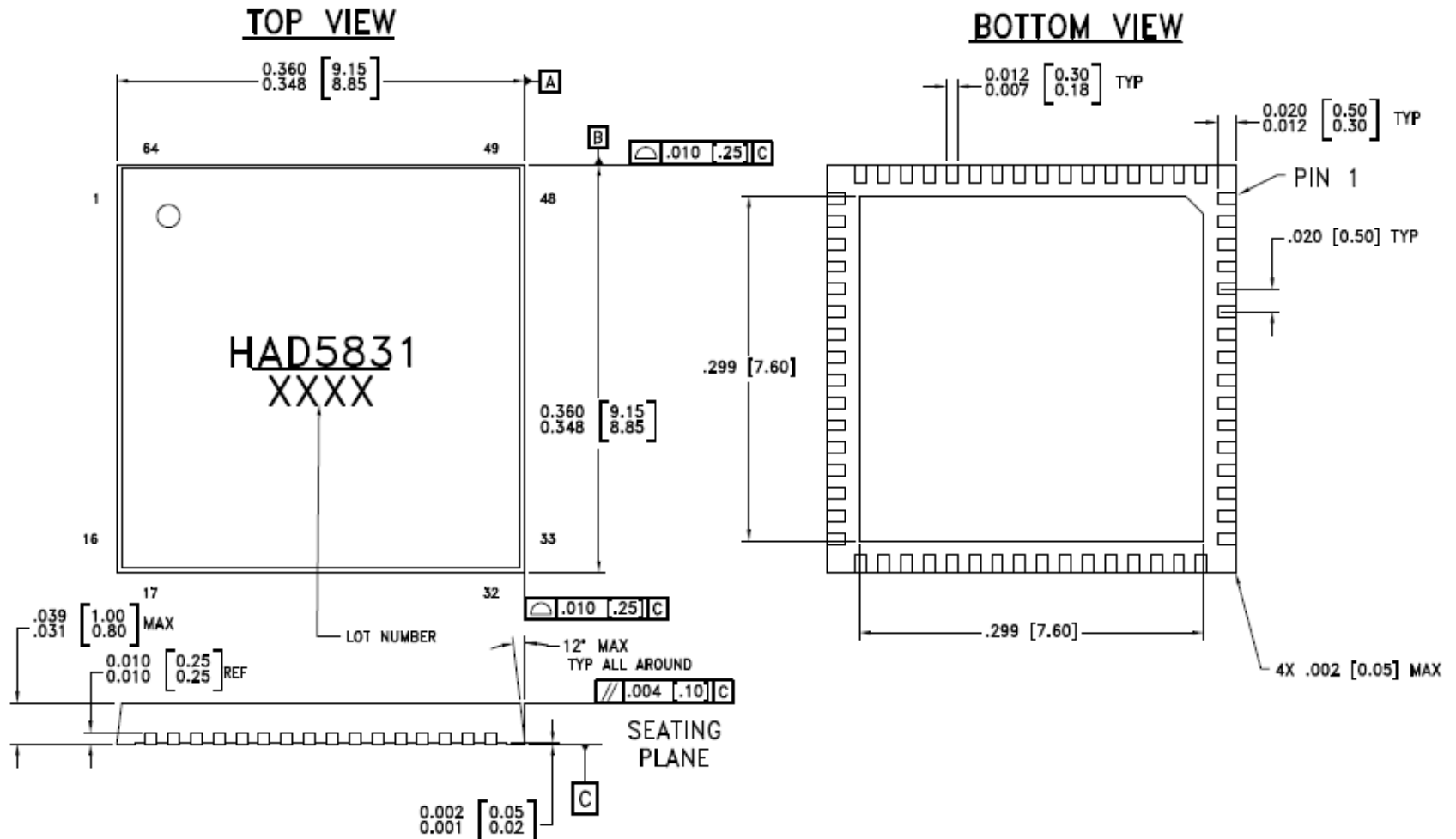
# Hittite

MICROWAVE CORPORATION v02.0713

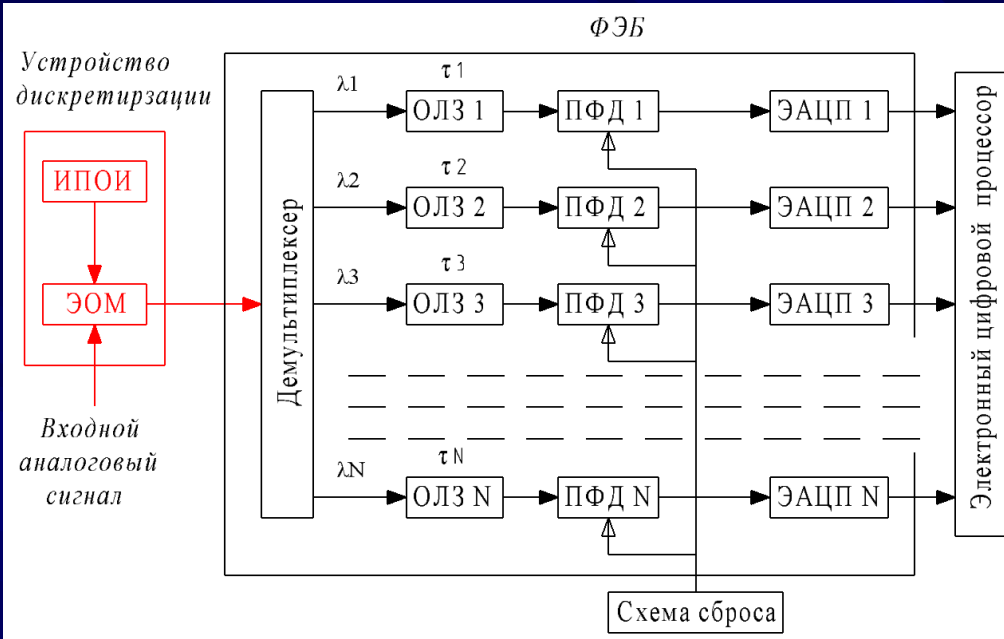
# HMCAD5831LP9BE

## 3-BIT 26 GSPS ANALOG-TO-DIGITAL

### Outline Drawing

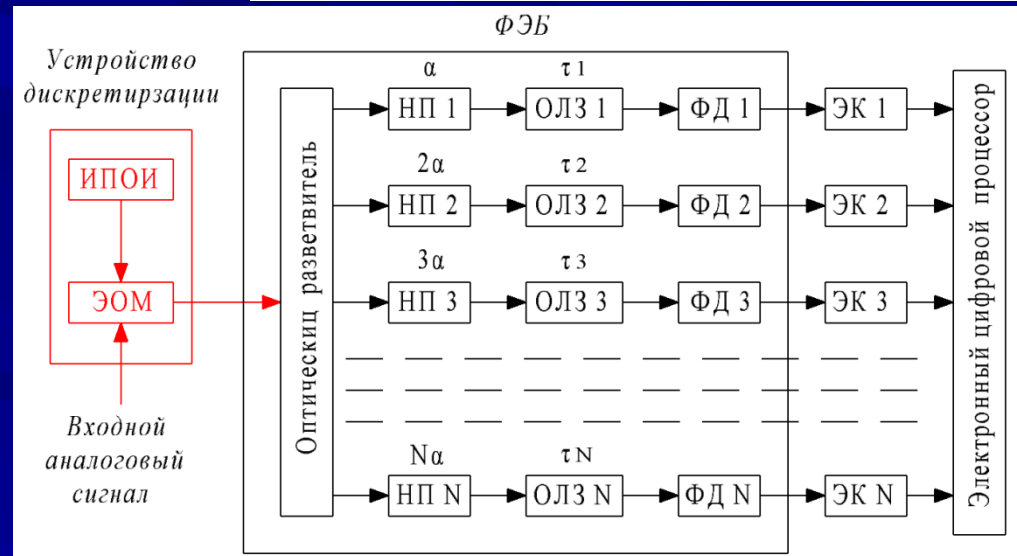


# Дискретизация



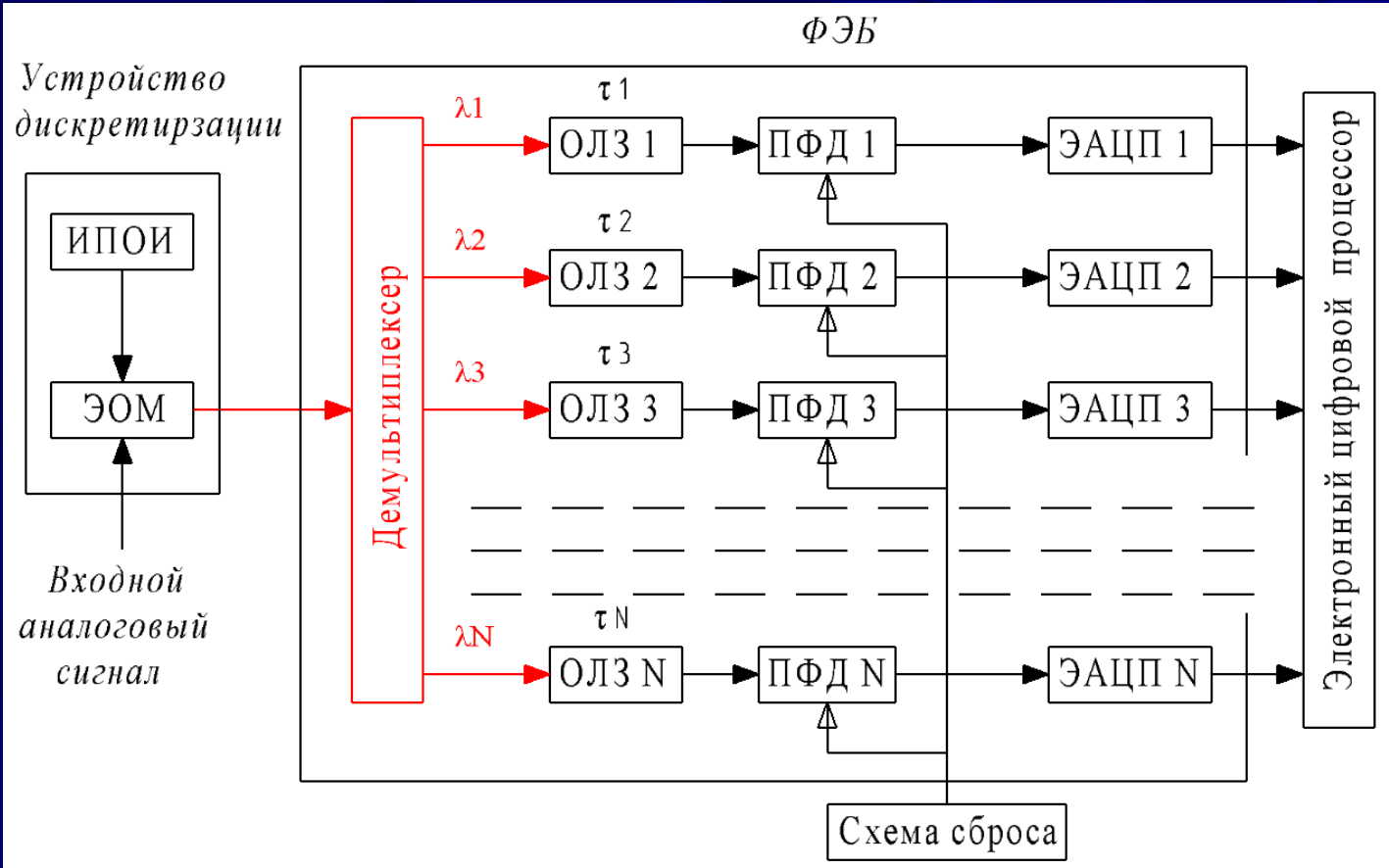
ИПОИ - источник последовательности оптических импульсов  
 ОЛЗ 1 - ОЛЗ N - оптические линии задержки  
 ПФД 1 - ПФД N - пиковые фотодетекторы  
 ЭАЦП 1 - ЭАЦП N - электронные АЦП  
 ЭОМ - электро-оптический модулятор

АД 1 - АД N - амплитудные детекторы  
 ИПОИ - источник последовательности оптических импульсов  
 НП 1 - НП N - насыщающиеся поглотители  
 ОЛЗ 1 - ОЛЗ N - оптические линии задержки  
 ЭК 1 - ЭК N - электронные коммутаторы  
 ЭОМ - электро-оптический модулятор



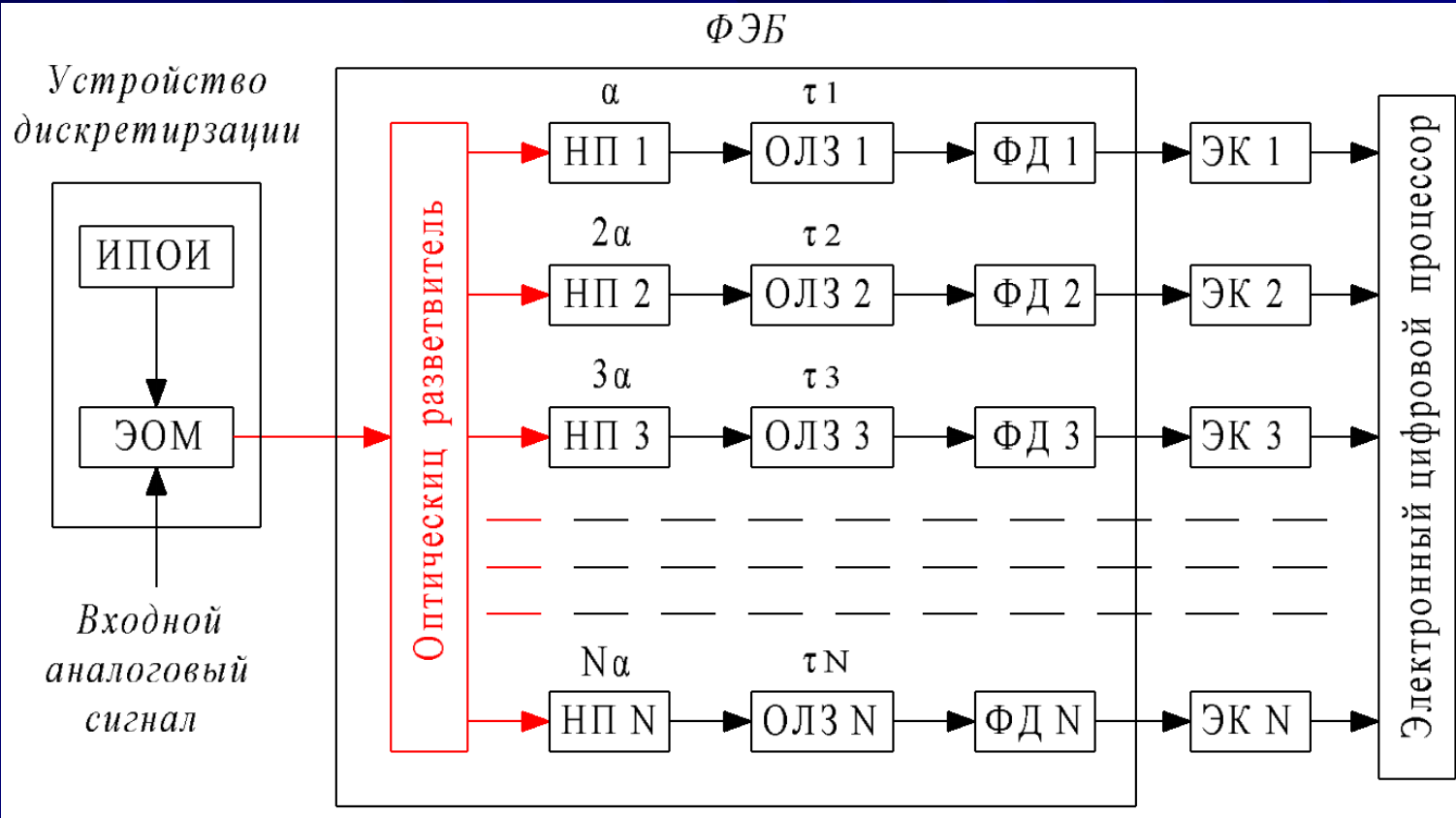
Входной аналоговый сигнал

# Разветвление по частотам (длинам волн)



- ИПОИ** - источник последовательности оптических импульсов  
**ОЛЗ 1 - ОЛЗ N** - оптические линии задержки  
**ПФД 1 - ПФД N** - пиковые фотодетекторы  
**ЭАЦП 1 - ЭАЦП N** - электронные АЦП  
**ЭОМ** - электро-оптический модулятор

# Деление по мощности



АД 1 - АД N - амплитудные детекторы

ИПОИ - источник последовательности оптических импульсов

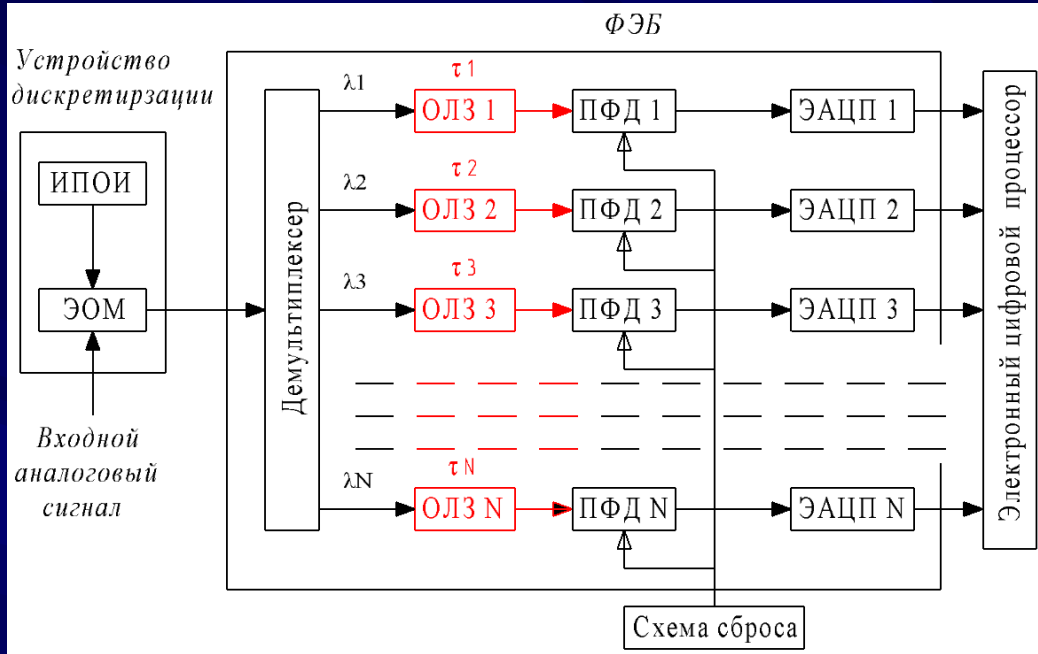
НП 1 - НП N - насыщающиеся поглотители

ОЛЗ 1 - ОЛЗ N - оптические линии задержки

ЭК 1 - ЭК N - электронные коммутаторы

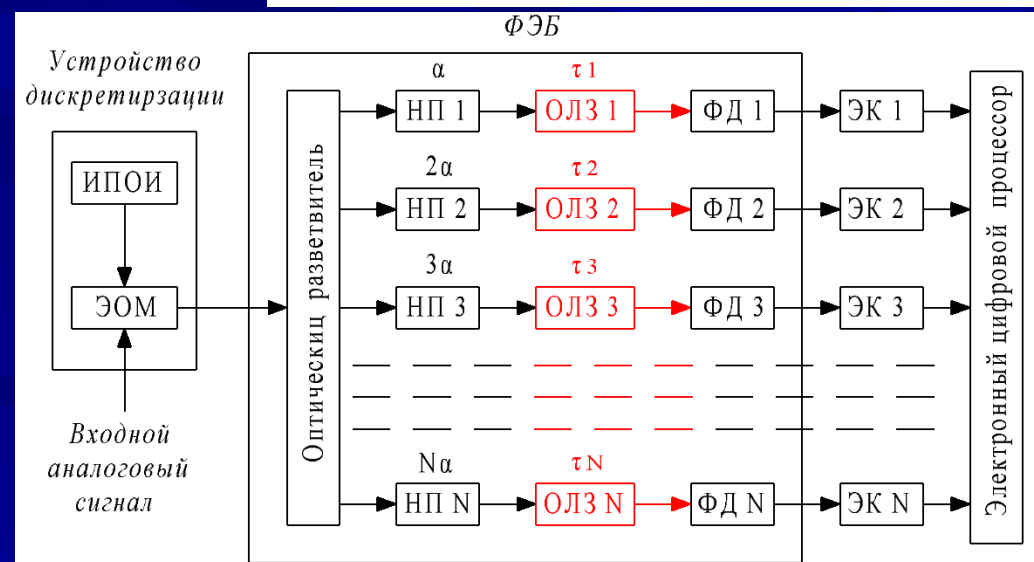
ЭОМ - электро-оптический модулятор

# Выравнивание по времени

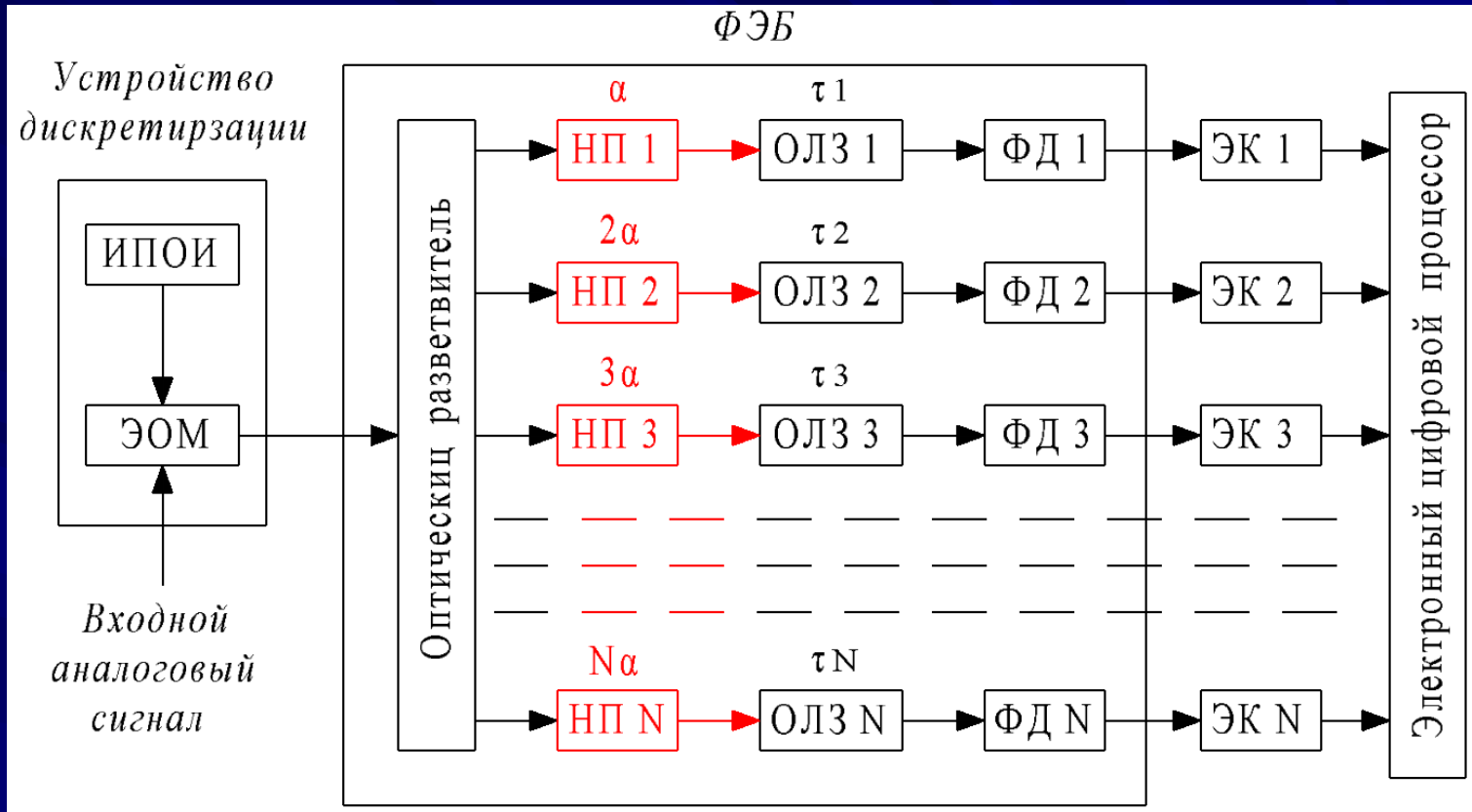


АД 1 - АД N - амплитудные детекторы  
 ИПОИ - источник последовательности оптических импульсов  
 НП 1 - НП N - насыщающиеся поглотители  
 ОЛЗ 1 - ОЛЗ N - оптические линии задержки  
 ЭК 1 - ЭК N - электронные коммутаторы  
 ЭОМ - электро-оптический модулятор

ИПОИ - источник последовательности оптических импульсов  
 ОЛЗ 1 - ОЛЗ N - оптические линии задержки  
 ПФД 1 - ПФД N - пиковые фотодетекторы  
 ЭАЦП 1 - ЭАЦП N - электронные АЦП  
 ЭОМ - электро-оптический модулятор



# Предварительное квантование



АД 1 - АД N - амплитудные детекторы

ИПОИ - источник последовательности оптических импульсов

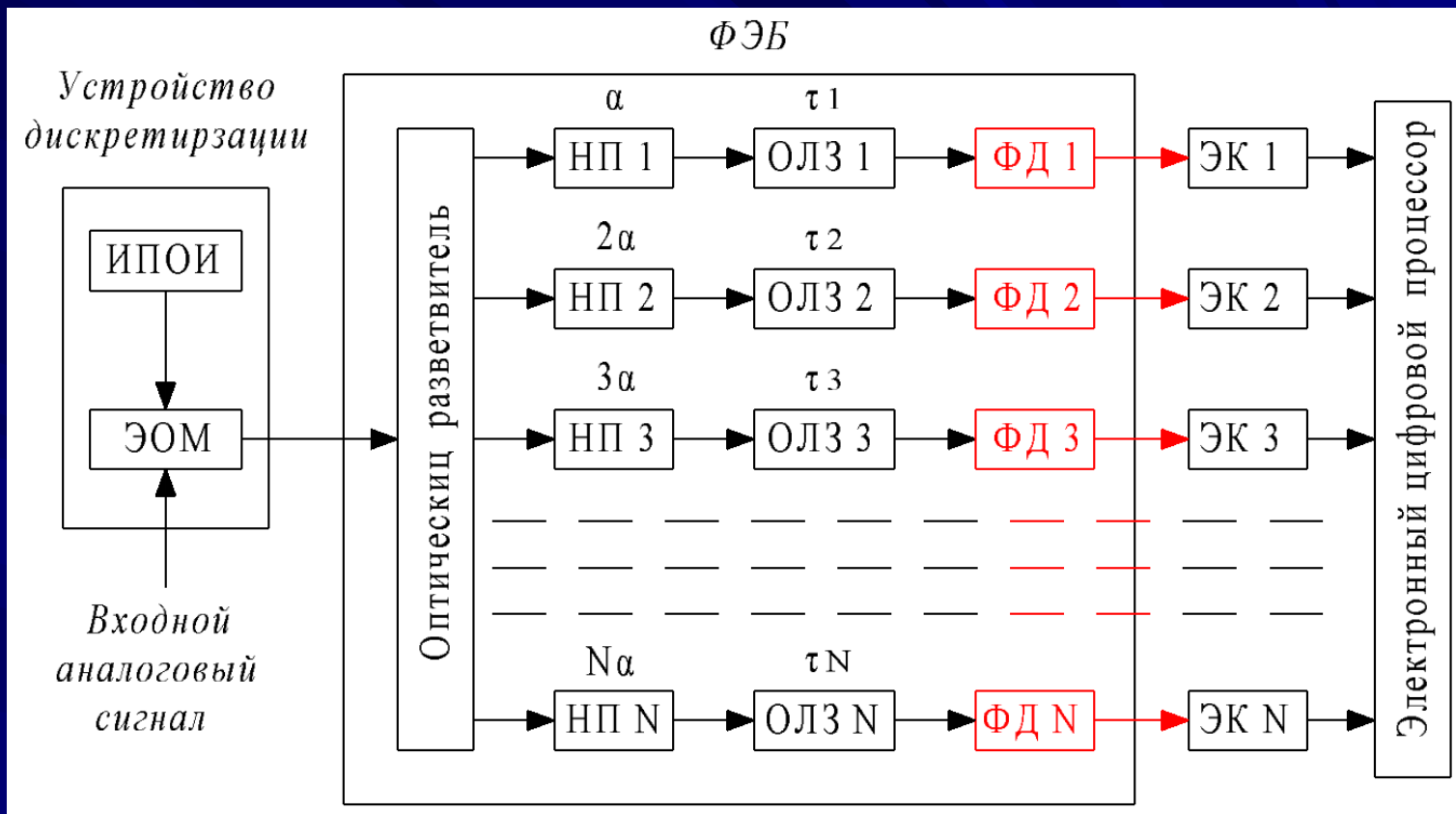
НП 1 - НП N - насыщающиеся поглотители

ОЛЗ 1 - ОЛЗ N - оптические линии задержки

ЭК 1 - ЭК N - электронные коммутаторы

ЭОМ - электро-оптический модулятор

# «Традиционное» детектирование



**АД 1 - АД N - амплитудные детекторы**

**ИПОИ - источник последовательности оптических импульсов**

**НП 1 - НП N - насыщающиеся поглотители**

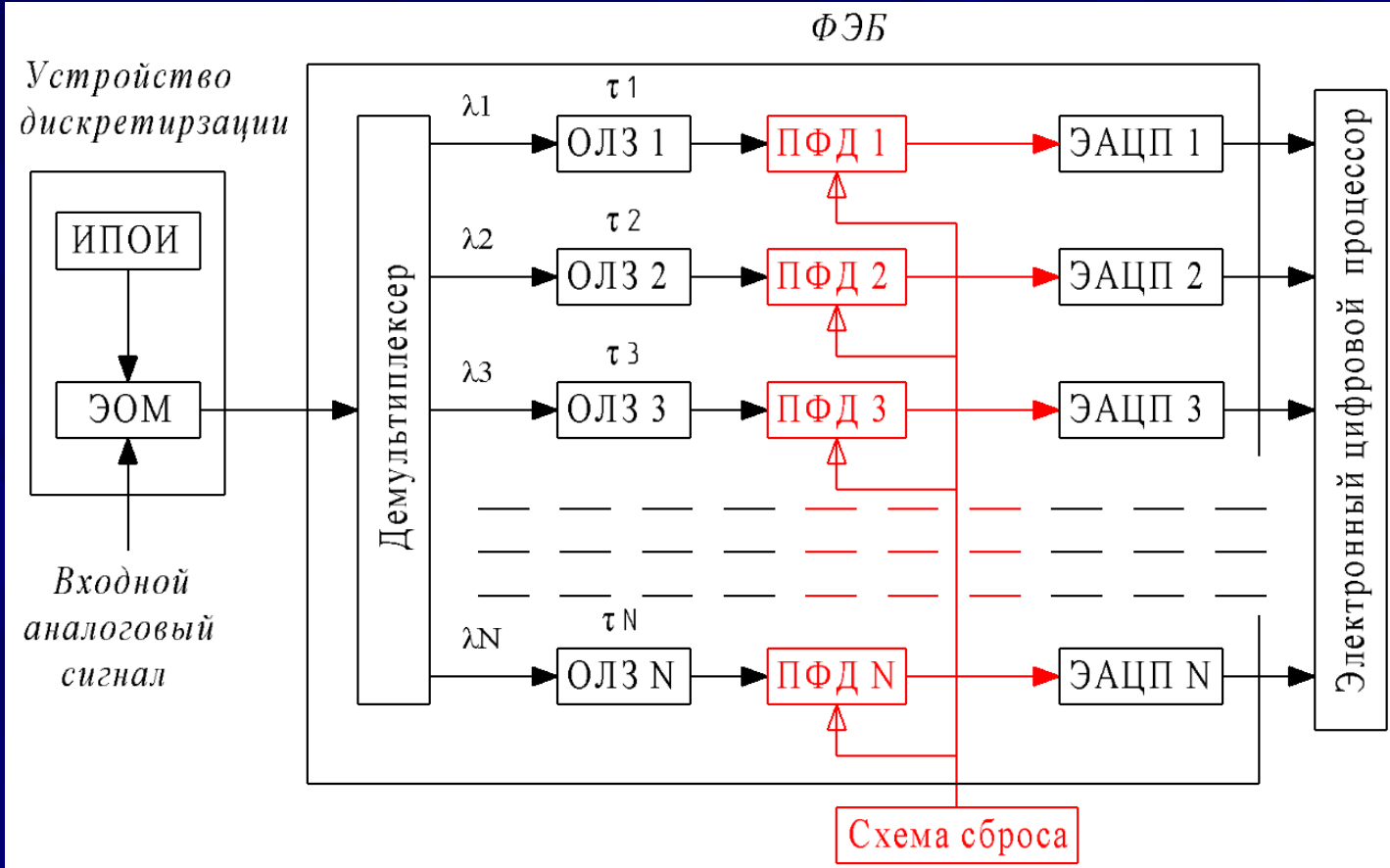
**ОЛЗ 1 - ОЛЗ N - оптические линии задержки**

**ЭК 1 - ЭК N - электронные коммутаторы**

**ЭОМ - электро-оптический модулятор**

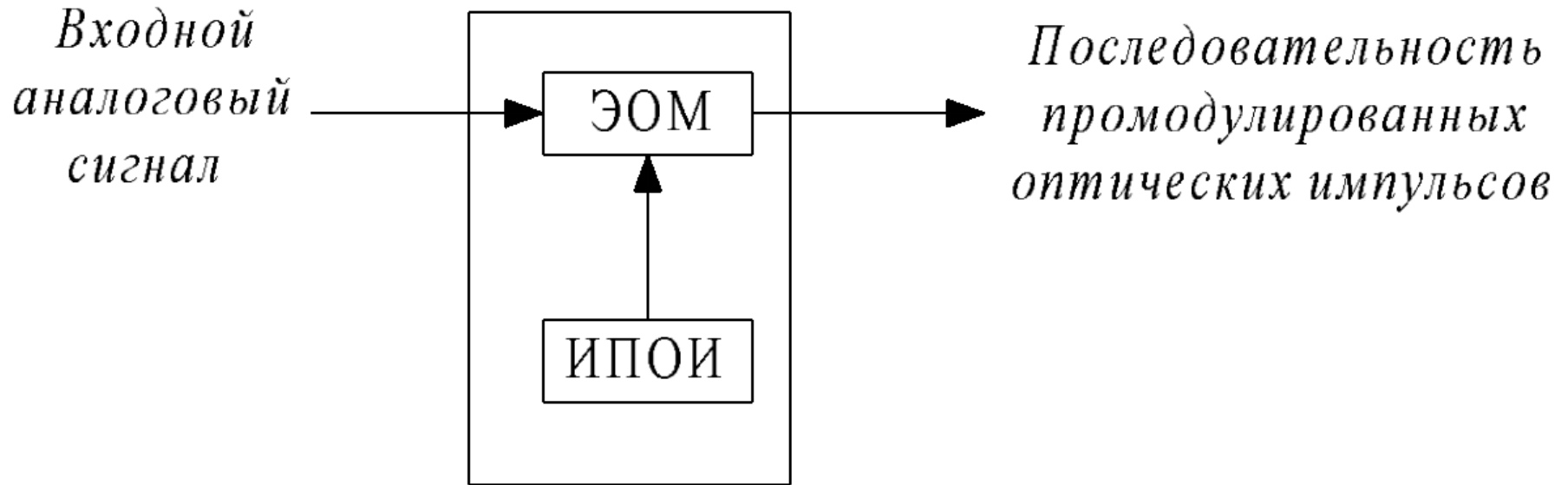


# «Пиковое» детектирование



- ИПОИ** - источник последовательности оптических импульсов  
**ОЛЗ 1 - ОЛЗ N** - оптические линии задержки  
**ПФД 1 - ПФД N** - пиковые фотодетекторы  
**ЭАЦП 1 - ЭАЦП N** - электронные АЦП  
**ЭОМ** - электро-оптический модулятор

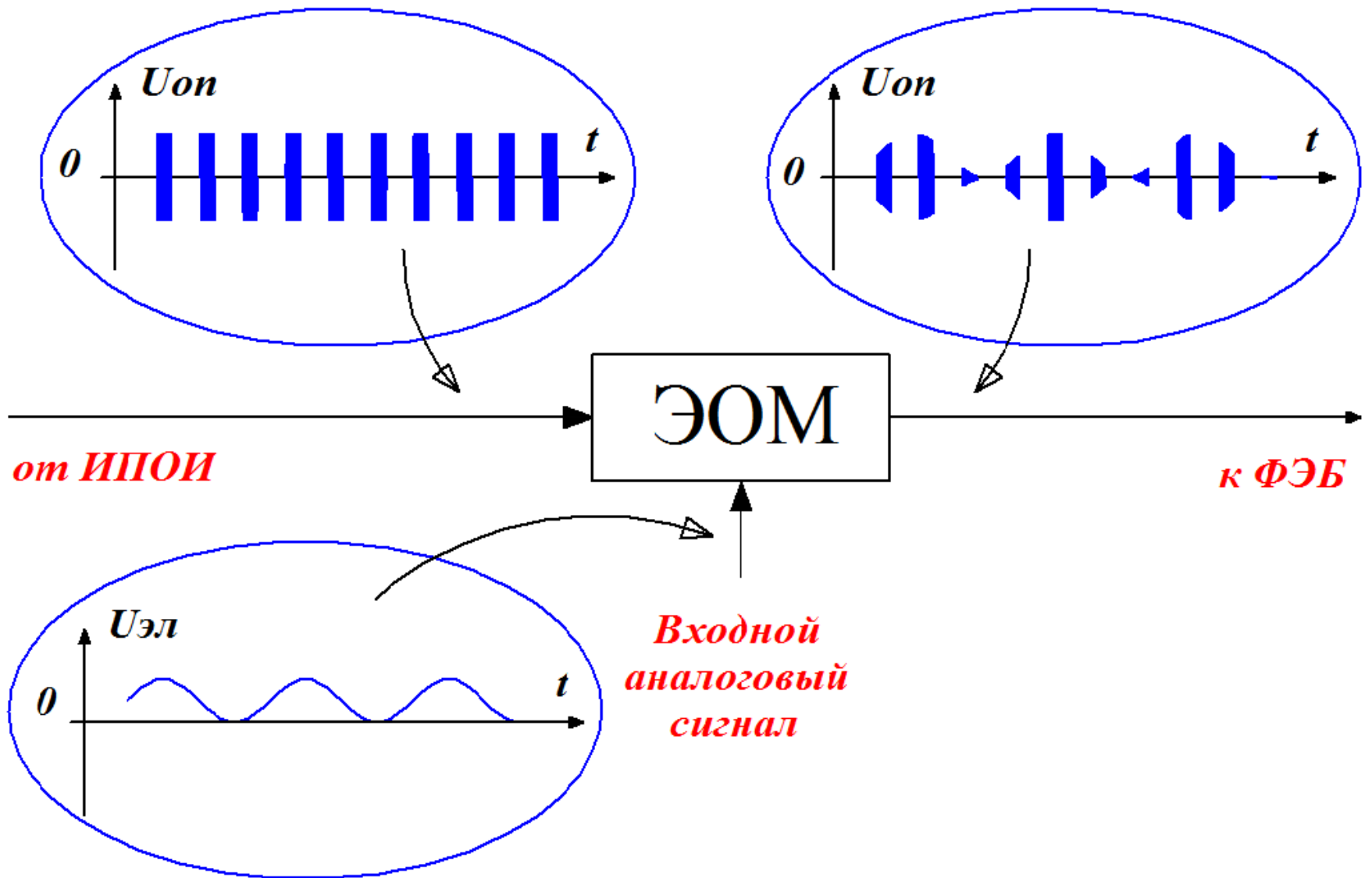
# Дискретизатор



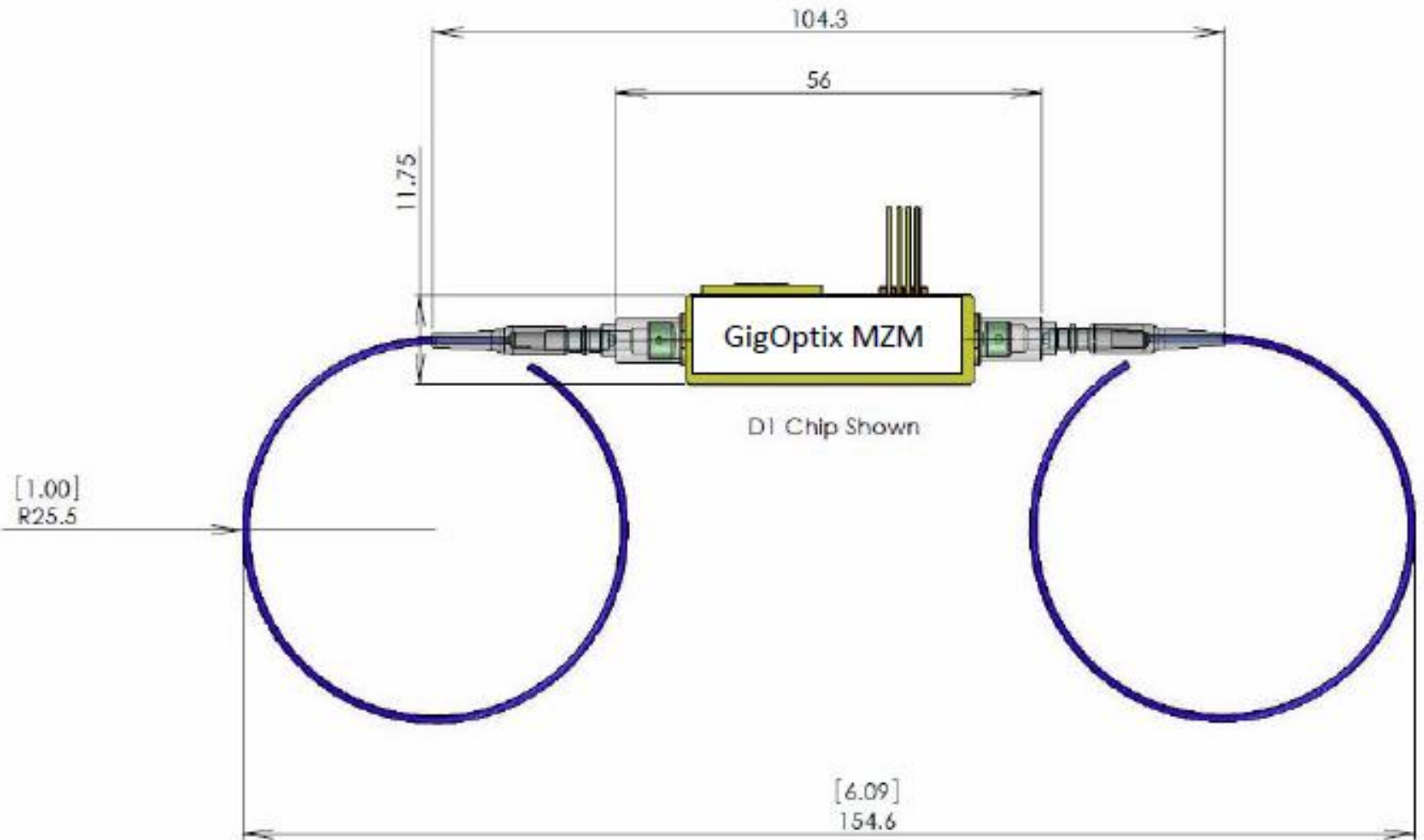
*ИПОИ - источник последовательности оптических импульсов*

*ЭОМ - электро-оптический модулятор*

# Реализация процесса дискретизации

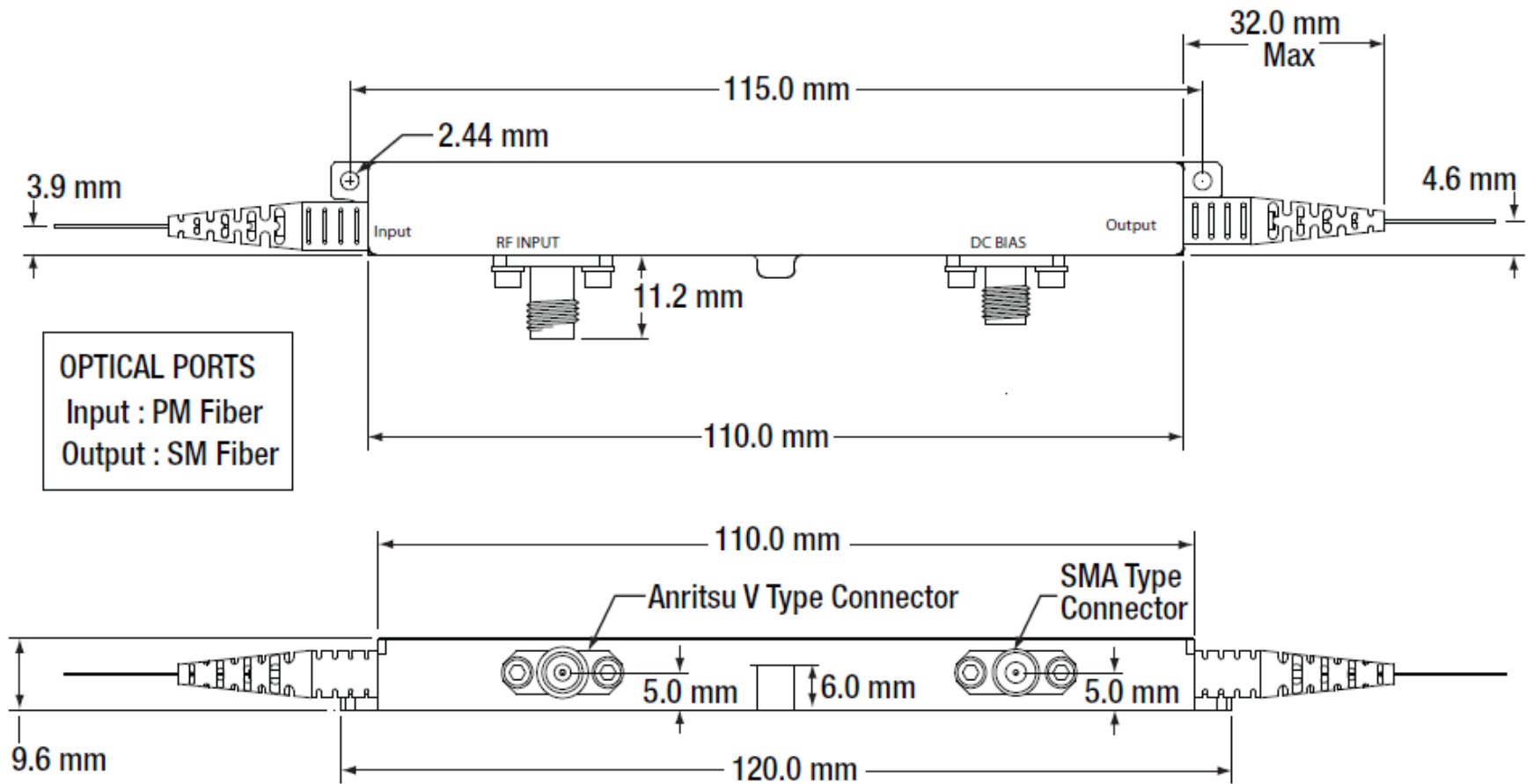


# Модулятор Маха-Цандера на электрооптическом полимере



# Сегнетоэлектрический модулятор Маха-Цандера

## 40 GHz Modulator Package Drawing

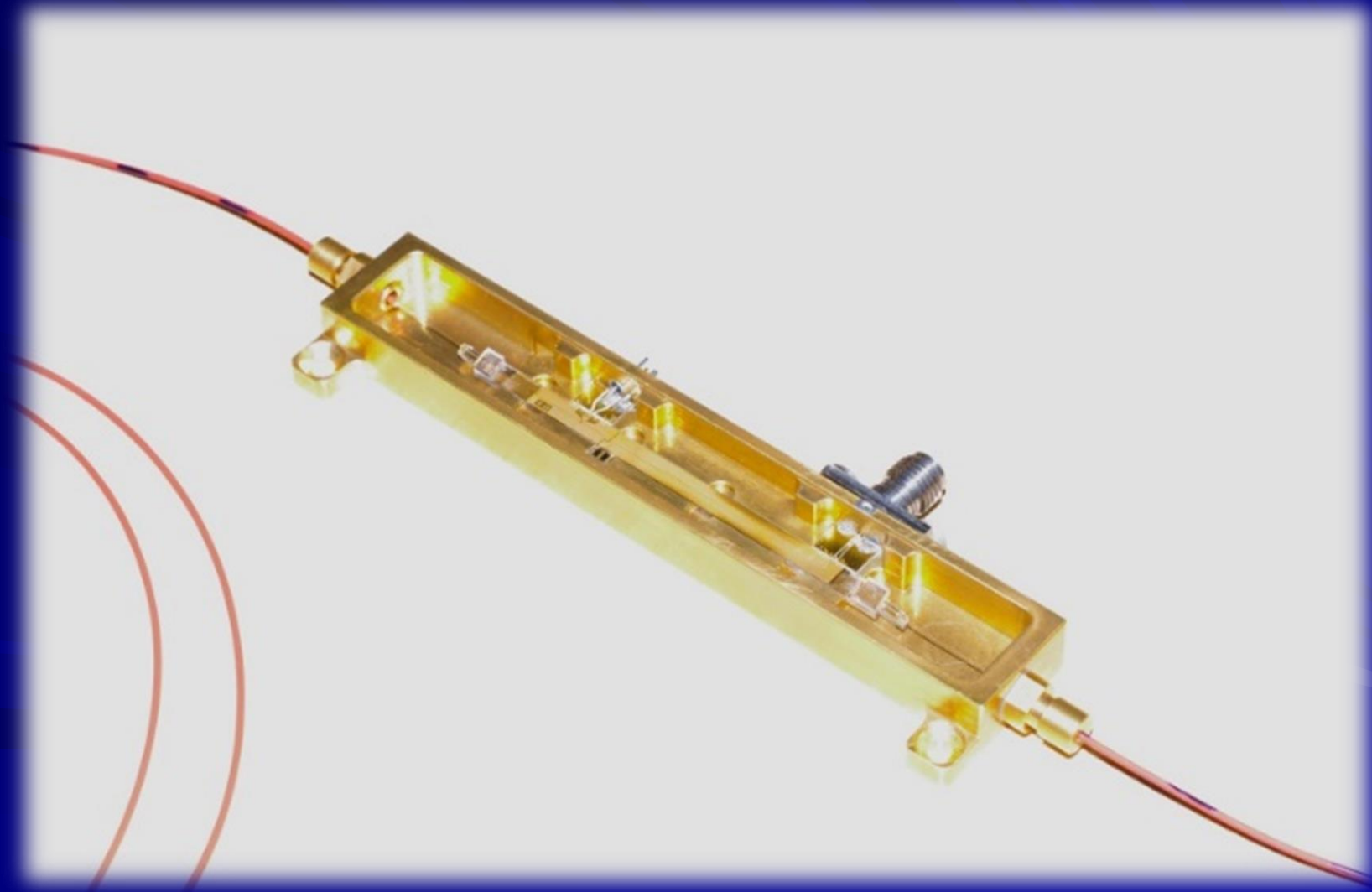


Please refer to our website for complete models and drawings.

Сегнтоэлектрический модулятор Маха-Цандера  
(~ 20 ГГц)



Сегнетоэлектрический модуляторы Маха-Цандера  
производства ПАО «ЛНППК»  
(~ 20 ГГц)



*Michael E Manka.*

*Microwave Photonics for Electronic Warfare Applications //  
Microwave photonics, 2008. jointly held with the 2008  
asia-pasific microwave photon ics conference. mwp/apmp  
2008. international topical meeting on.*



*Лазер с синхронизированными модами*

*или*

*Mode Locked Laser - MLL*



Волоконный лазер PERL-OEM

	Длина волны	Длительность импульса	Средняя мощность	Энергия в импульсе	Частота повторения
<b>YFOA</b>	1030...1053 нм	<200 фс...300 пс	100 мВт...15 Вт	1.5...250 нДж	60+/-5 МГц
<b>ANTAUS</b>	1030/1040/1050 нм	<250 фс	>20 Вт	>20 мкДж	до 5 МГц
<b>PERL</b>	1560/790 нм	50 фс...5 пс	110 мВт	1.2 нДж	30...100 МГц
<b>EFO</b>	1560±10 нм	50 фс...5 пс	10 мВт...5 Вт	0.15...70 нДж	25...80 МГц
<b>EFOA-SH</b>	780/1560 нм	80...120 фс	200/440 мВт	3/6.8 нДж	65 МГц
<b>EFOA-UB</b>	1100-2000 нм	-	>150 мВт	3 нДж	50...70 МГц
<b>EFOA-SH-UB</b>	780/1560/1100-2000 нм	<150 фс	50/150/130 мВт	0.7...2.1 нДж	70 МГц
<b>EFO-COMB</b>	520-2200 нм	-	до 250 мВт	3.85 нДж	Frep = 100 МГц



## TiF-15. Титан-сапфировый фемтосекундный лазер

- Длительность импульса <math>< 12\text{ фс}</math>
- Диапазон перестройки 750-860 нм (30 фс)
- Выходная мощность >500 мВт
- Перестройка длительности импульса (опция)
- Автоматический мод-локинг
- Монолитный корпус с термостабилизацией



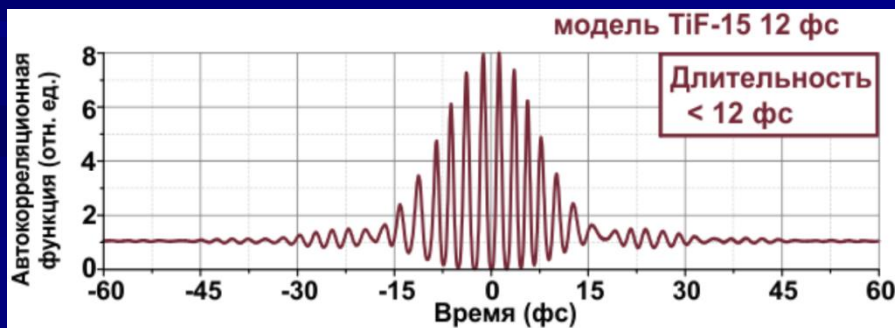
## Фемтосекундный лазер на хром-форстерите


- Диапазон перестройки 1230-1270 нм
- Выходная мощность до 800 мВт
- Энергия в импульсе более 20 нДж
- Возможность интеграции накачки
- Длительность импульса от 35 фс



## TeMa. Иттербиевый твердотельный фемтосекундный лазер

- Высокая средняя мощность >7 Вт на 1050 нм
- Короткая длительность импульса <math>< 70\text{ фс}</math>
- Монолитный корпус с термостабилизацией
- Встроенный источник диодной накачки
- Самозапуск фемтосекундного режима





# Всероссийская конференция по волоконной оптике

Место и время проведения:  
г.Пермь, 3-6 октября 2017 г.

## ВКВО – 2017



НЦВО  
РАН

### Стендовая сессия-1(C1)

C1-18

*Полупроводниковый лазер с пассивной синхронизацией мод, излучающий на длине волны 1550 нм, для оптического аналого-цифрового преобразователя*

Колодезный Е.С.(1), Новиков И.И. (1,2), Бабичев А.В. (1,2), Курочкин А.С. (1,2), Гладышев А.Г. (1,2), Карачинский Л.Я. (1,2), Гаджиев И.М. (1,3), Буяло М.С. (1,3), Усикова А.А. (3), Бугров В.Е. (1), Егоров А.Ю. (1)  
(1) Университет ИТМО, г. Санкт-Петербург, (2) ООО «Коннектор Оптикс», г. Санкт-Петербург, (3) ФТИ им. А.Ф. Иоффе, г. Санкт-Петербург

## Федеральная целевая программа

«Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014—2020 годы»

### Информационно-телекоммуникационные системы

**Тема:** *Разработка компонентной базы радиофотоники для создания современных оптических аналогово-цифровых преобразователей*

**Соглашение** 14.581.21.0013  
на период 2015 – 2017 гг.

**Руководитель проекта:** *Бугров Владислав Евгеньевич,  
зав. каф. световых технологий и оптоэлектроники*

**Получатель субсидии:** *Университет ИТМО*

#### Связанные соглашения комплексного проекта:

14.579.21.0096, «Разработка технологии эпитаксиального выращивания приборных полупроводниковых гетероструктур на основе InP: лазеров с пассивной синхронизацией мод и фотоприемников спектрального диапазона 1300-1550 нм», получатель субсидии: ООО "Коннектор Оптикс»

14.578.21.0100, 2015-2016, «Разработка технологии изготовления фотонных интегральных схем лазеров с пассивной синхронизацией мод и фотоприемников спектрального диапазона 1300-1550 нм», получатель субсидии: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

#### Цели и задачи проекта

Целью настоящих ПНИЭР, реализуемых в рамках комплексного проекта, является разработка компонентной базы радиофотоники для создания современных оптических аналогово-цифровых преобразователей (АЦП), а именно лазеров с пассивной синхронизацией мод (лазер ПСМ) и PIN фотоприемников (ФП PIN).

Ограничивающим фактором к использованию цифровой обработки сигнала в радиофотонике обычно является быстродействие и компактность электронных АЦП. Переход от аналоговых к цифровым сигналам является ключевой задачей радиофотоники на ближайшие годы.

#### Ожидаемые результаты проекта

1. Лазер с пассивной синхронизацией мод (лазер ПСМ) спектрального диапазона 1300-1550 нм, частота следования импульсов 10 ГГц, длительность импульсов 5-10 пс, оптическая мощность 10 мВт + КД + ТД.
2. Фотоприемник (ФП) спектрального диапазона 1300-1550 нм, предельная частота модуляции 20 ГГц + КД + ТД.

Полностью оптические АЦП в настоящее время реализованы только на уровне лабораторных результатов. Достигнутое эффективное число битов ENOB=4 при частотах до 10 ГГц [Stanford Microwave Integrated Circuits Laboratory].

# Физическая аппаратура и ее элементы

УДК 621.315.592

## СВЧ-фотодетекторы для аналоговой оптоволоконной связи

*И. Б. Чистохин, К. С. Журавлев*

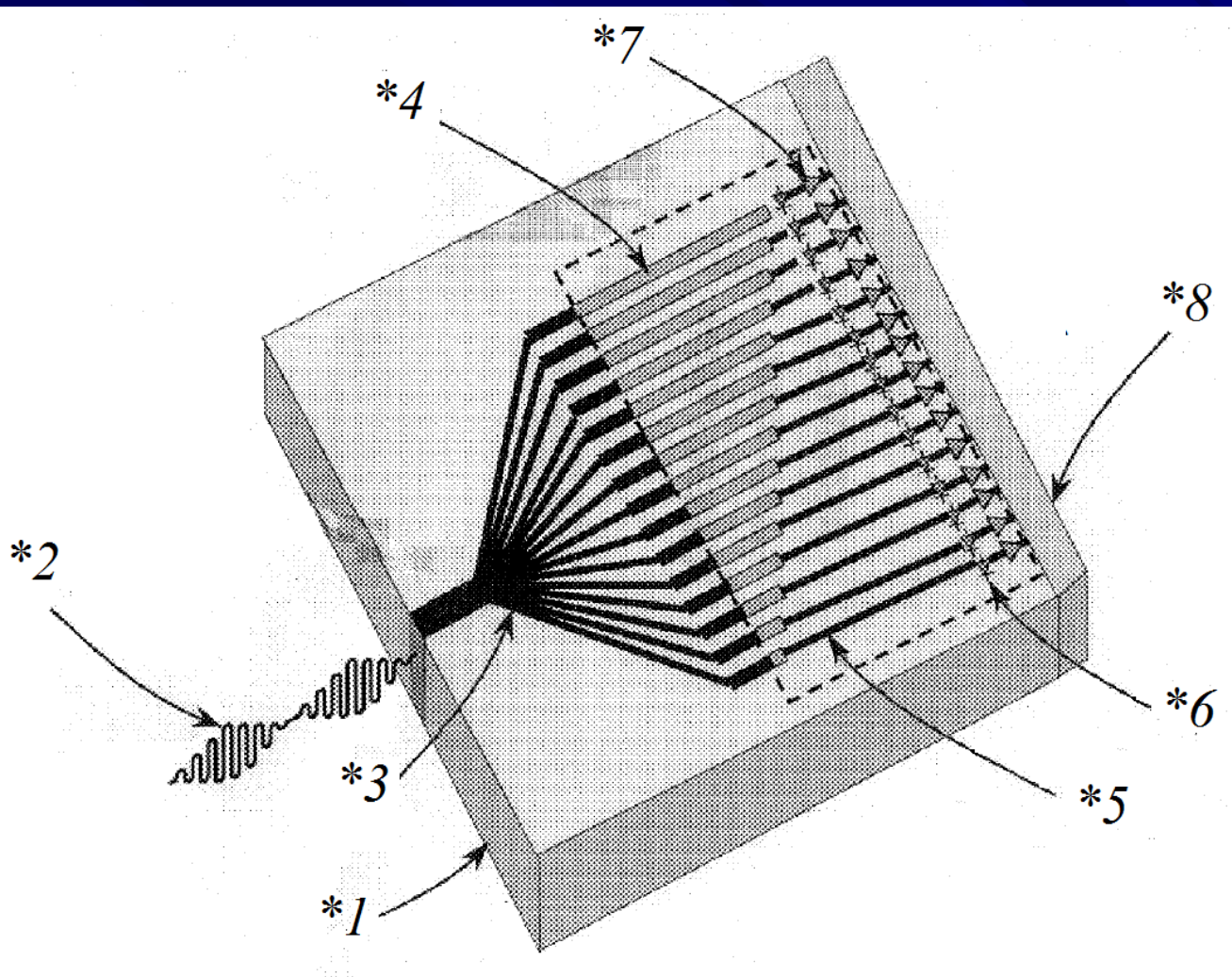
*Представлены физические принципы работы сверхвысокочастотных (СВЧ)  $p-i-n$ -фотодиодов на основе полупроводниковых соединений  $A_3B_5$ , а также проведен анализ физических явлений, ограничивающих их характеристики. Рассмотрены конструкции СВЧ-фотодетекторов, разрабатываемых для линий аналоговой оптоволоконной связи и систем радиофотоники для радиолокации.*

PACS: 07.57.-c

*Ключевые слова:* радиофотоника, фотодетекторы,  $p-i-n$ -фотодиоды, эпитаксиальные гетероструктуры, приборы на InP/InGaAs.

# Фрагмент планарной структуры фотонного АЦП

(Патент США, 2001, № US 6,326,910 B1)



- 1- полупроводниковая пластина,
- 2 - модулированный оптический сигнал,
- 3 - делитель мощности оптических импульсов,
- 4 - линейка насыщающихся поглотителей,
- 5 - линейка оптических линий задержки,
- 6 - линейка фотодетекторов,
- 7 - линейка электронных компараторов,
- 8 - цифровой процессор,

## Высокоскоростные оптические модуляторы на основе нелинейно-оптических полимеров

А.И. Плеханов

Институт автоматики и электрометрии СО РАН, Новосибирск, 630090,  
пр. Академика Коптюга, 1  
тел (383) 3333-174, факс: (383) 330-88-78

В последние годы электрооптические полимеры привлекают значительное внимание для изготовления различных оптических устройств в области телекоммуникаций. Они демонстрируют значительные преимущества по сравнению с традиционными оптическими материалами и могут быть использованы для получения высокопроизводительных, дешевых устройств, таких как электрооптические модуляторы, регулируемые оптические аттенюаторы и перестраиваемые фильтры.

Полимерные оптические устройства могут быть изготовлены из тонкопленочной многослойной структуры, содержащей подложку (стекло, кремний и т.д.), нижний электрод (золото и т.д.), центральный волноводный слой выполнен из полимера, обладающего большим показателем преломления, чем у слоев верхней и нижней обкладок и второй электрод.

Несмотря на то, что в настоящее время ниобат лития является доминирующим материалом для электрооптических модуляторов, которые имеют полосу пропускания около 10-70 ГГц с  $V_{\pi} \sim 5-6$  V и низкие вносимые потери (0,5-5 дБ), модуляторы на основе электрооптических полимеров имеют много потенциальных преимуществ. Полимерные модуляторы могут достичь очень высокой ширины полосы 100-200 ГГц на уровне -3 дБ в силу близости показателя преломления полимера на оптических и миллиметровых длинах волн. Электрооптические полимеры имеют низкую относительную диэлектрическую проницаемость, что позволяет интегрировать отдельные высокоскоростные модуляторы близко друг к другу без значительных перекрестных помех. Эта особенность допускает возможность создания интегрированных оптических чипов. Еще одним преимуществом полимерных электрооптических материалов является их значительно более низкое напряжение работы  $V_{\pi} \sim 5-6$  V.

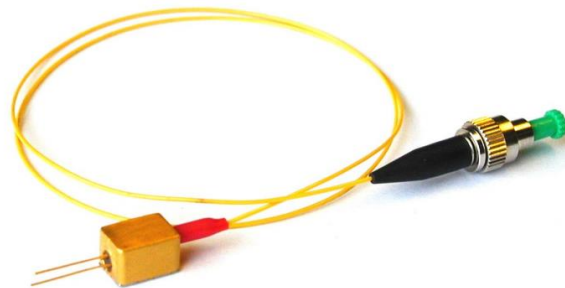
В докладе будет представлен обзор современного состояния исследований в области электрооптических модуляторов.



Russia, Moscow  
 Tel. \ fax: (495) 333-93-01  
[www.nolatech.ru](http://www.nolatech.ru)  
[nolatech@mail.ru](mailto:nolatech@mail.ru)



**DFB Laser Module 1550nm 10mW**



DFB-1550-AX distributed feedback laser is uncooled semiconductor InGaAsP MQW-DFB laser working at 1550nm wavelength. The device is delivered in hermetic coaxial package with integrated InGaAs photodiode for optical power monitoring. It is suitable for applications up to 2.5 Gbps in FTTX networks.

**Optical and electrical characteristics: (T = 25°C)**

Item	Symbol	Test condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
Output Power, CW	$P_f$	CW		5	10	mW
Output Power, Pulse	$P_p$	Pulse		20	30	mW
Rise and Fall time	$T_r, T_f$	CW, $I_F = I_{th} + 20mA$ , 20-80%			120	ps
Forward Voltage	$V_F$	$P_f = 5mW$			2	V
Threshold Current	$I_{th}$		8	10	12	mA
Forward Current	$I_F$	$P_f = 5mW$		50	70	mA
Center Wavelength	$\lambda_c$	$P_f = 5mW$	1545	1550	1555	nm
Spectral Width	$\Delta\lambda$	$P_f = 5mW$	2	5	10	MHz



# ФОТОНИКА

ПЕРМСКИЙ КЛАСТЕР  
ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ  
ТЕХНОЛОГИЙ



## ПРОТОКОЛ

заседания президиума Совета при Президенте  
Российской Федерации по модернизации экономики  
и инновационному развитию России

---

г. Екатеринбург

от 9 июля 2014 г. № 4

ПРЕДСЕДАТЕЛЬСТВОВАЛ  
ПРЕДСЕДАТЕЛЬ ПРАВИТЕЛЬСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Д.А.МЕДВЕДЕВ

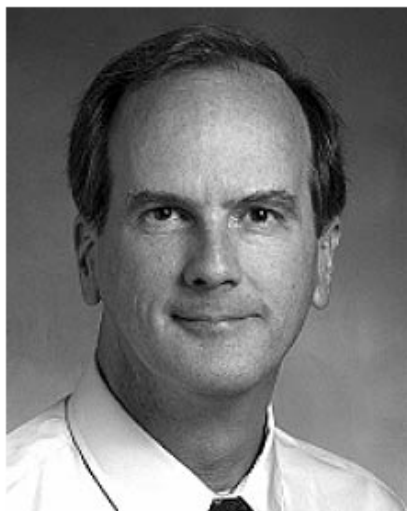
2. Минпромторгу России (Д.В.Мантурову), Минобрнауки России (Д.В.Ливанову), Минэкономразвития России (А.В.Улюкаеву), Минкомсвязи России (Н.А.Никифорову) совместно с ФАНО России, Роскосмосом, Госкорпорацией "Росатом", РФФИ, РФФИ, ФПИ и институтами развития представить в установленном порядке в Правительство Российской Федерации предложения по внесению изменений в "дорожную карту" по развитию оптоэлектронных технологий (фотоники) в части ее дополнения мероприятиями по развитию перспективных направлений, в том числе радиофотоники, разработке квантовых оптических материалов и новых

***Спасибо  
за внимание!***

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

# *Analog-to-Digital Converter Survey and Analysis*

**IEEE JOURNAL ON SELECTED AREAS IN COMMUNICATIONS,  
VOL. 17, NO. 4, APRIL 1999**



**Robert H. Walden** (S'62–M'63) received the B.E.S., M.E.E., and Ph.D. degrees, all from New York University, Bronx, NY.

He joined Bell Telephone Laboratories in 1966, where he was engaged in solid-state device and circuit research, including charge-coupled devices and a variety of integrated circuit designs. He then joined Hughes in 1978, and participated in several silicon integrated circuit designs. He has been at the HRL Laboratories, LLC, Malibu, CA, since 1985 and is presently a Principal Research Scientist in the Microelectronics Laboratory. He is studying exploratory analog-to-digital conversion techniques, as well as high-speed optical receivers. He has authored or coauthored over 50 technical publications and holds 15 U.S. patents.

Dr. Walden is a member of Eta Kappa Nu and the Optical Society of America. He has won a Hughes Research Labs Outstanding Achievement Award, and was a corecipient of a Hughes Research Labs Outstanding Paper of the Year Award and an R&D 100 Award.



*Программа AFRL / SNDP*

*Разработка АЦП для ВВС с габаритами 2 × 2 дюйма*

# ***pHEMT с восьмизубцовым затвором ( WIN Semiconductors )***

$f_T$  85 GHz  
 $f_{max}$  200 GHz

Source

Drain

Source

0.15  $\mu\text{m}$  T-gate

S4700 15.0kV 11.4mm x600 SE(M) 3/6/01 10:33 50

Gate

