



**Открытое акционерное общество
«Центральное конструкторское бюро автоматики»**

Микроволновая фотоника

Аналоговые ВОЛС СВЧ с положительными коэффициентами передачи

Ведущий инженер ОАО «ЦКБА» Вольхин Ю.Н.

Студентка ОмГТУ Гамиловская А.В.

Докладчик: Гамиловская А.В.

ЦКБА - 2013

ВОЛС

это

волоконно-оптическая

линия

связи

Тематика доклада

- расчёт параметров аналоговых ВОЛС СВЧ по параметрам комплектующих элементов;
- определение требований к параметрам комплектующих элементов и определение оптимальных энергетических режимов эксплуатации этих элементов, при которых аналоговая ВОЛС СВЧ будет иметь положительный коэффициент передачи.

Проблема

аналоговая ВОЛС СВЧ



усилитель СВЧ

При каких условиях ??????????

Выражаем благодарность сотрудникам

Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе РАН

www.ioffe.ru

Пермской

Научно-Производственной Приборостроительной

Компании

www.ppk.perm.ru

Пермского государственного

национального исследовательского университета

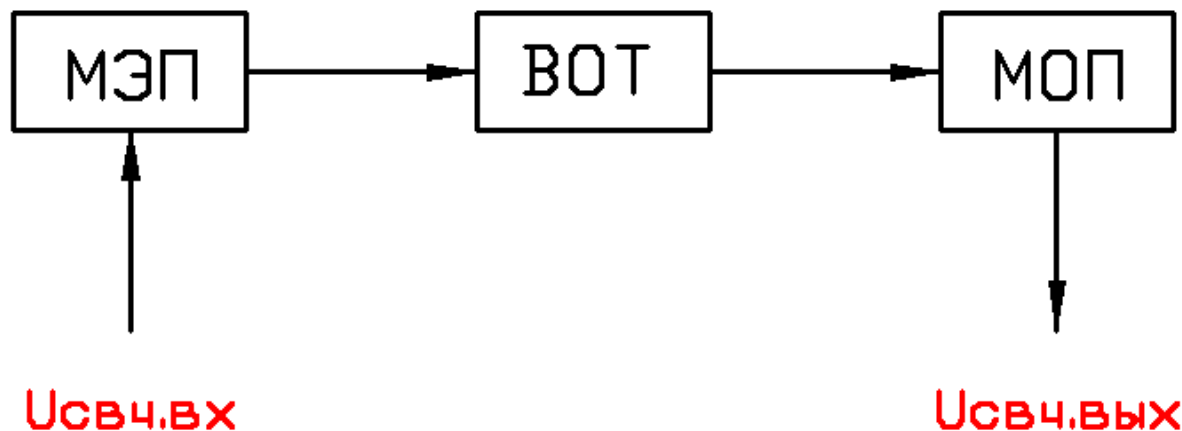
www.psu.ru

Омского Государственного Университета

им. Ф.М. Достоевского

www.omsu.ru

Укрупнённая схема аналоговой ВОЛС СВЧ



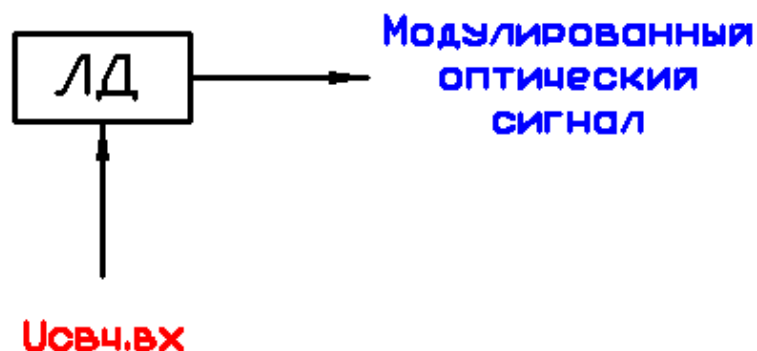
МЭП – модуль электро-оптического преобразования

МОП – модуль опто-электронного преобразования

ВОТ – волоконно-оптический тракт

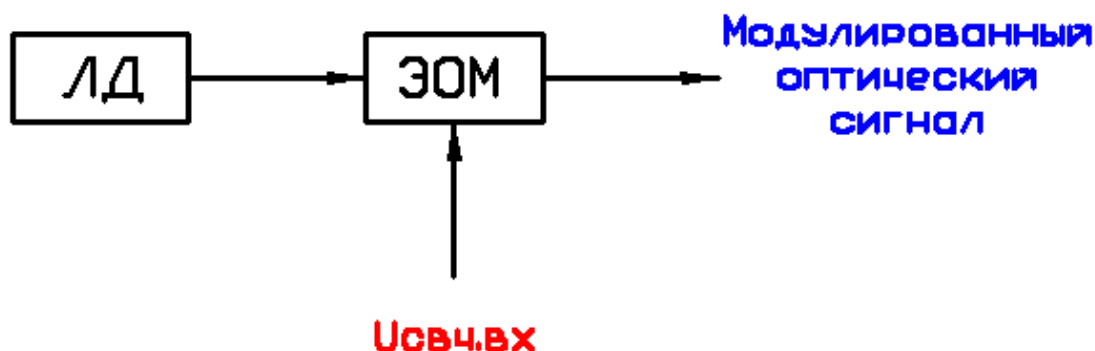
Модули электро-оптического преобразования с прямой и внешней модуляцией

А - Прямая модуляция



ЛД - лазерный диод
ЭОМ - электр-оптический
модулятор

Б - Внешняя модуляция



Типы электро-оптических модуляторов

Электро-поглощающие модуляторы

+

Эффект Келдыша-Франца

Интерферометры Маха-Цандера

+

Эффект Поккельса

MWP

MicroWave Photonic

Микроволновая фотоника

Радиофотоника

Волноводная фотоника

Радиоптика

www.radioseminar.omsu.ru

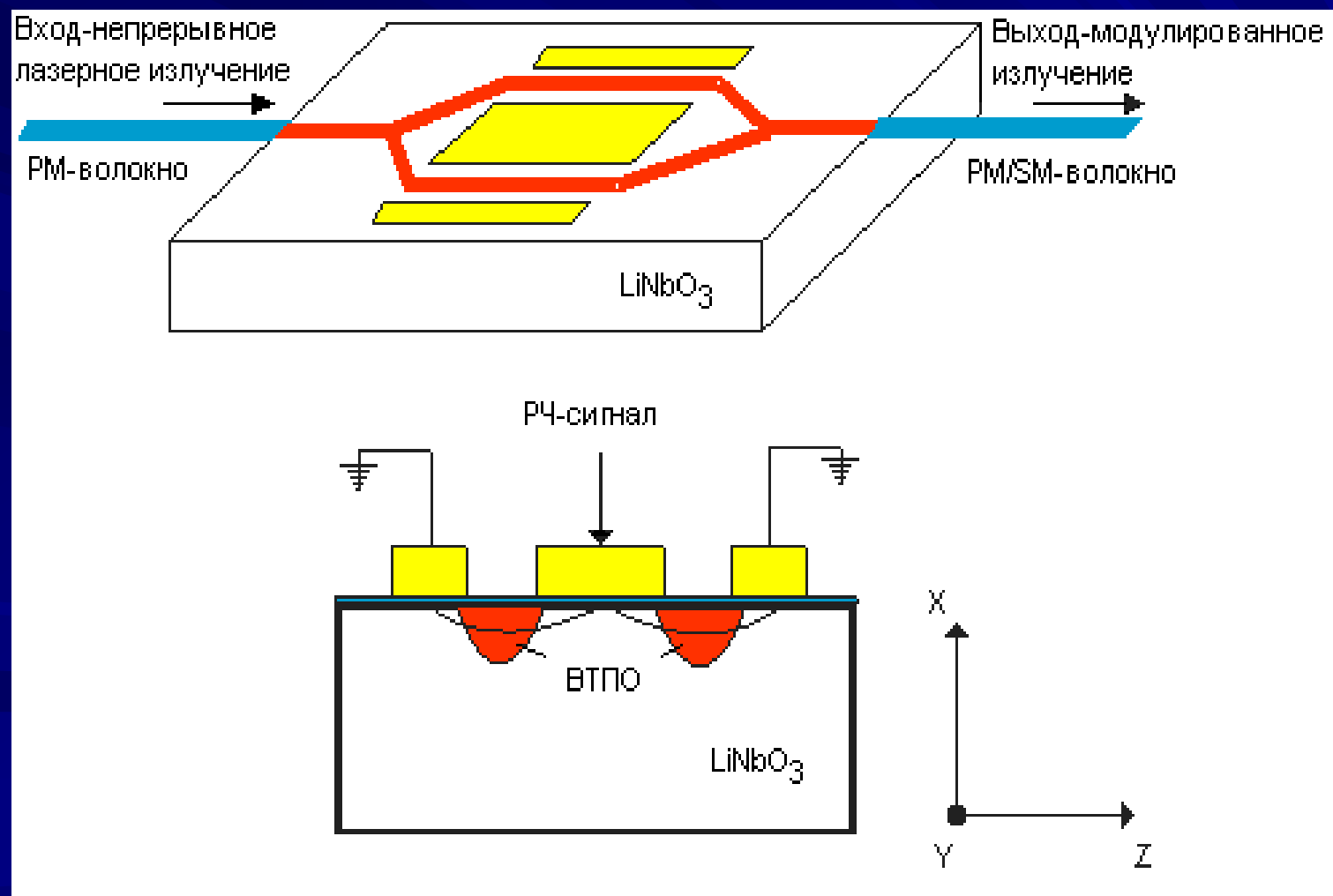
Омский

Научный семинар

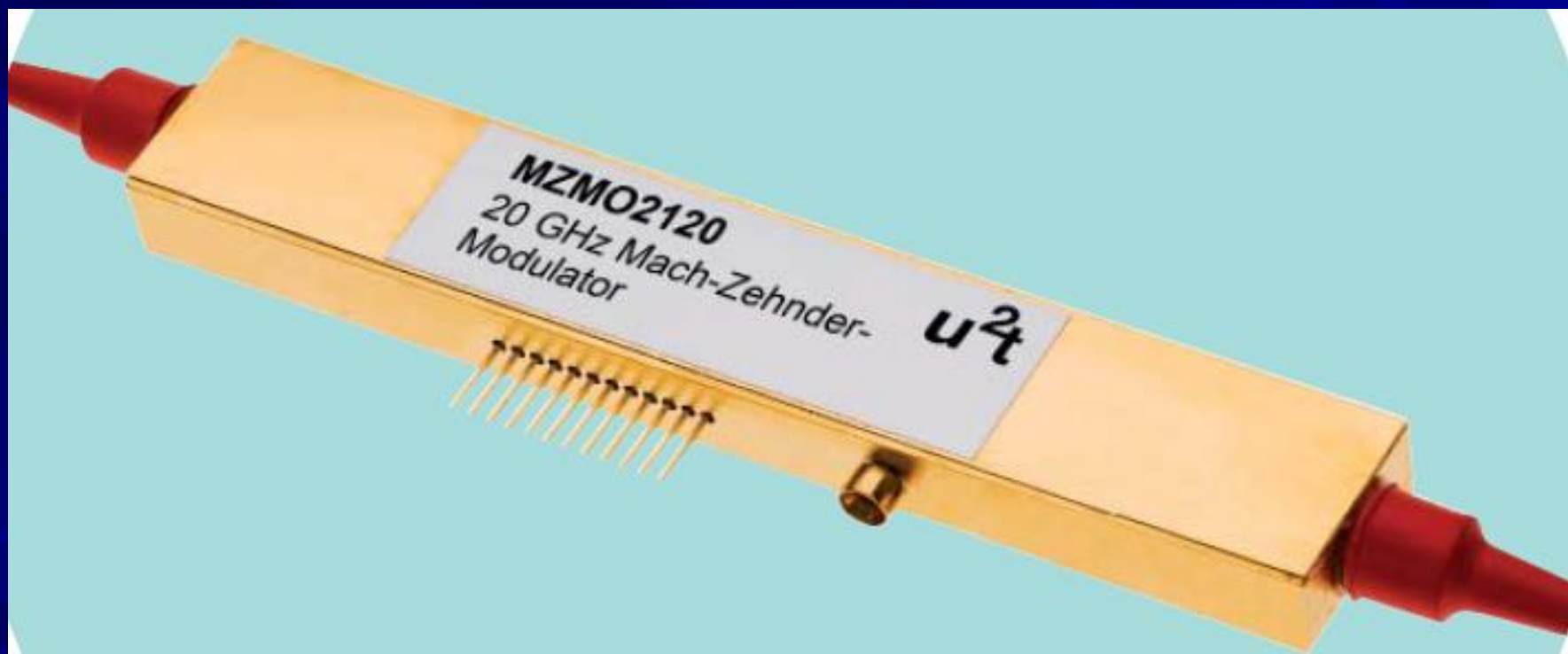
***«Современные проблемы
радиофизики и радиотехники»***

***Кафедра экспериментальной физики и радиофизики
Омского государственного Университета
им. Ф.М. Достоевского***

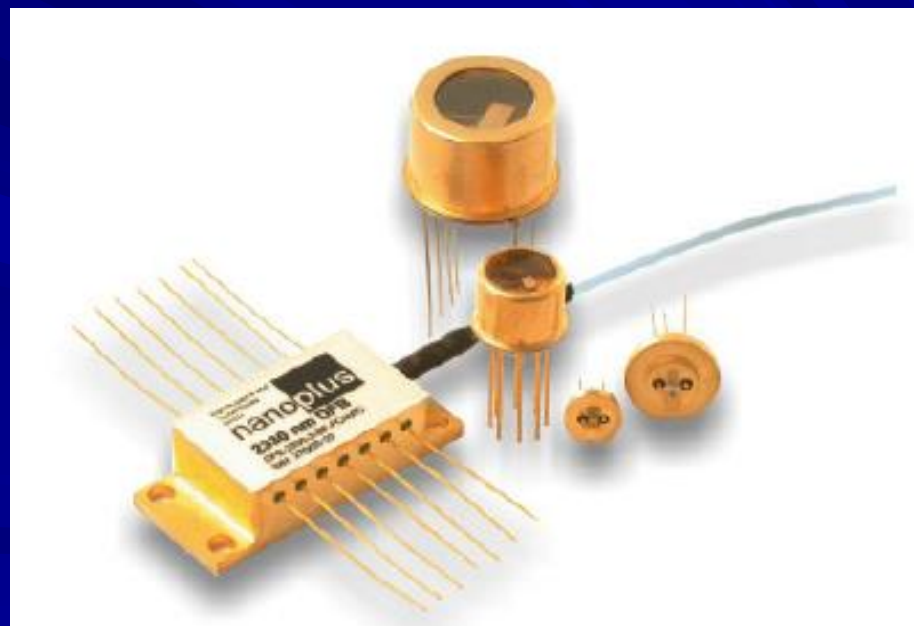
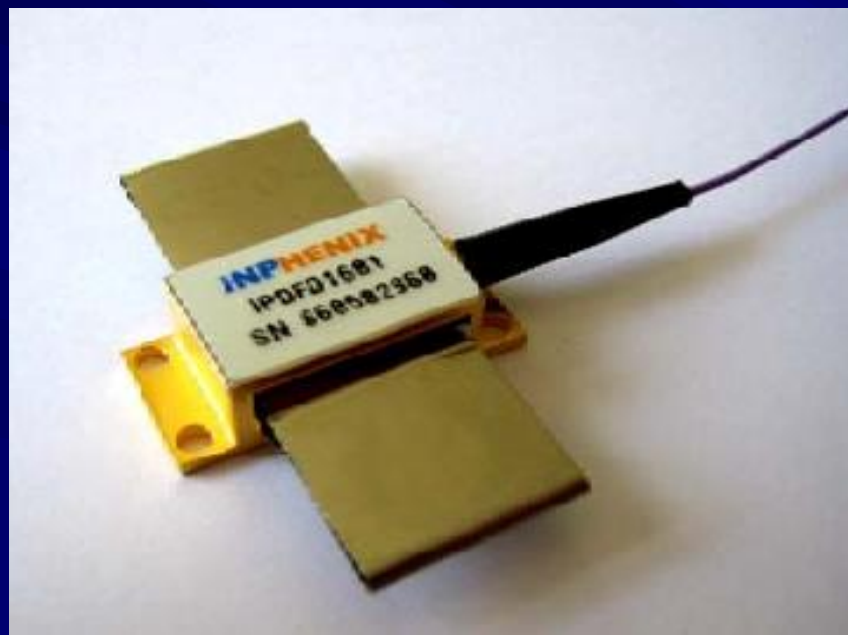
Модулятор Маха-Цандера (Mach Zehnder modulator - MZM) в планарном исполнении



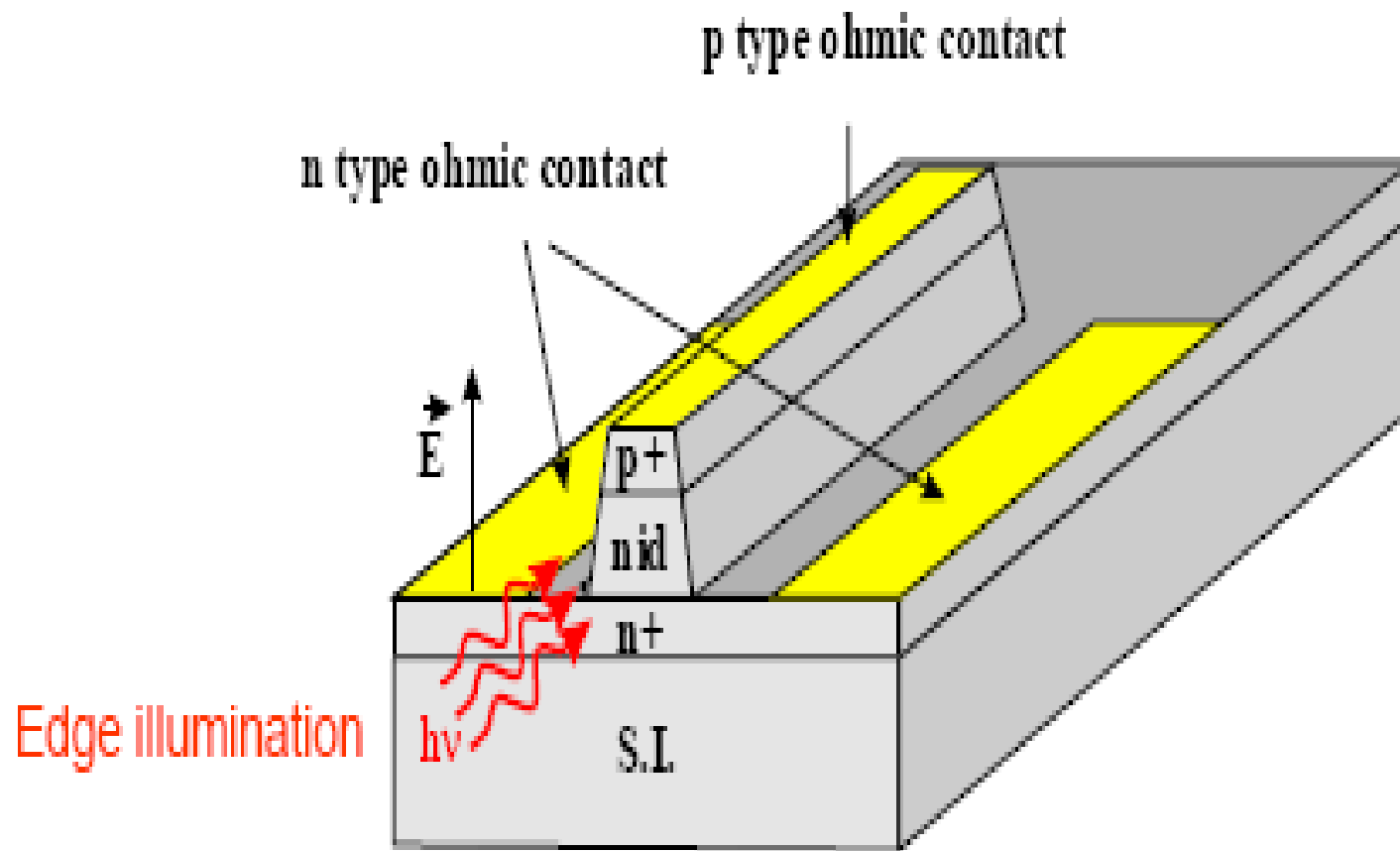
***Модулятор Маха-Цандера
(Mach Zehnder modulator - MZM)
в виде герметизированной гибридной интегральной схемы
(технология system-on-package)***



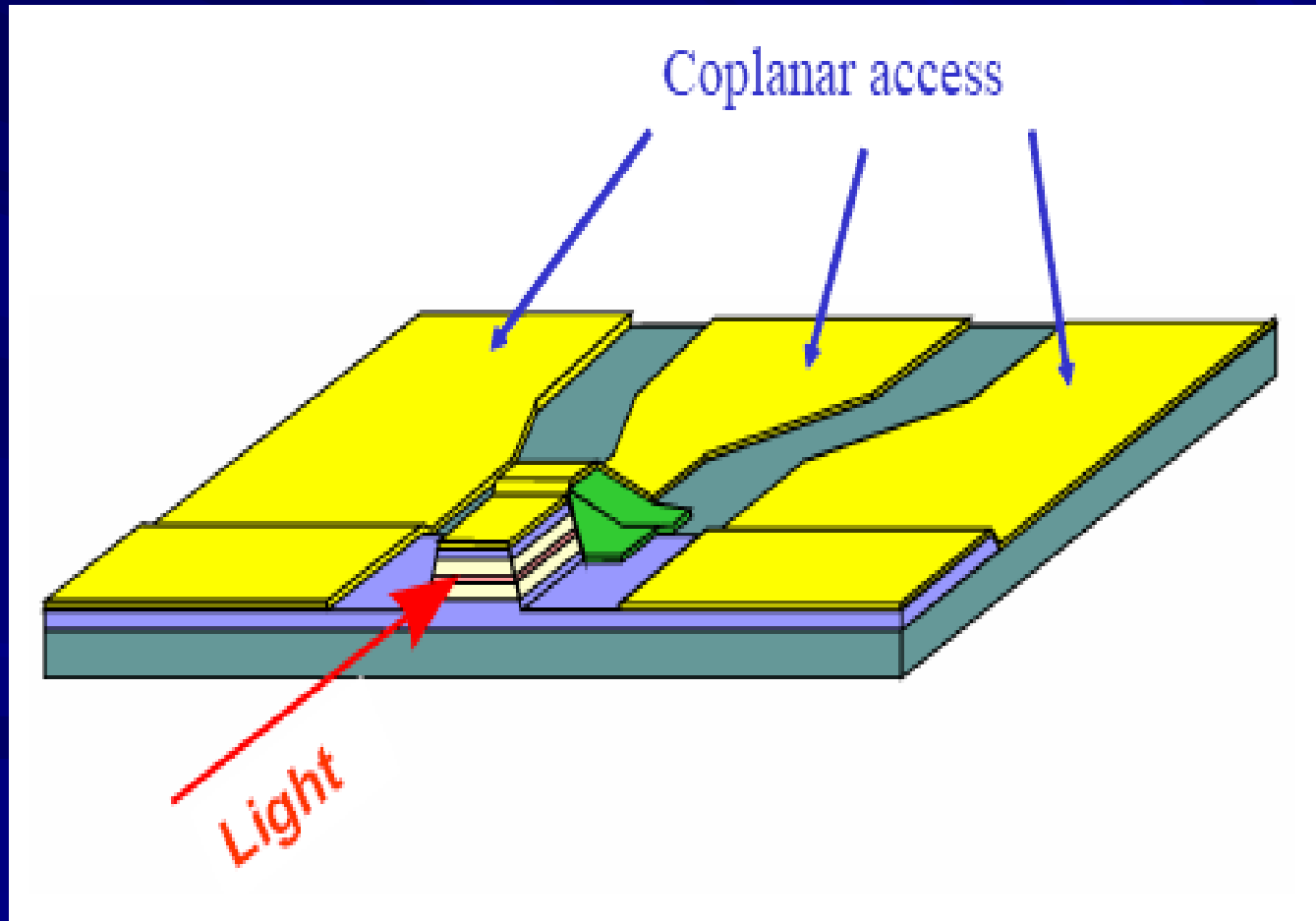
Гибридные интегральные схемы полупроводниковых лазеров (технология *system-on-package*)



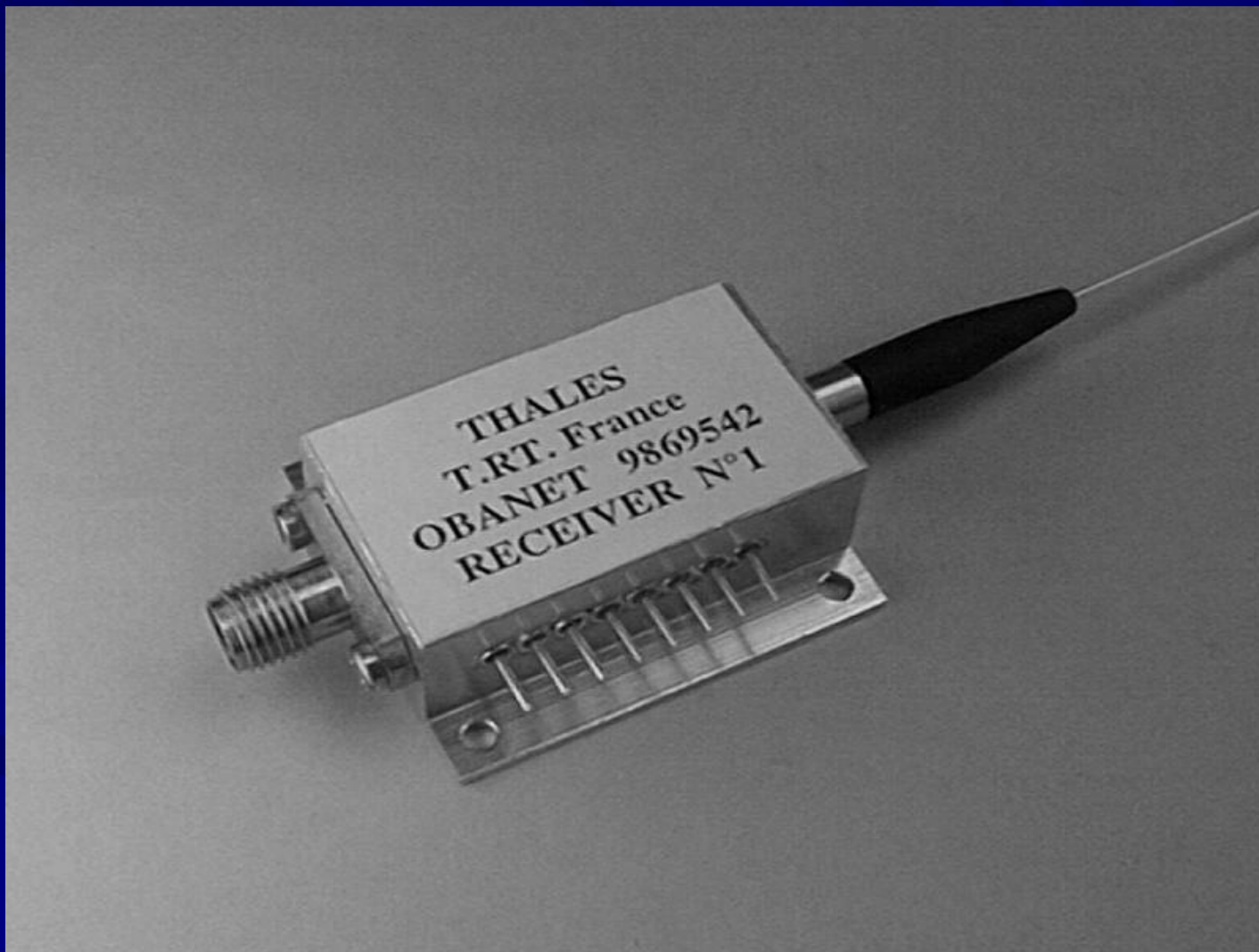
Фотодетектор в виде монокристаллической интегральной схемы



*Фотодетектор в виде
планарной гибридной интегральной схем
(технология system-on-package)*



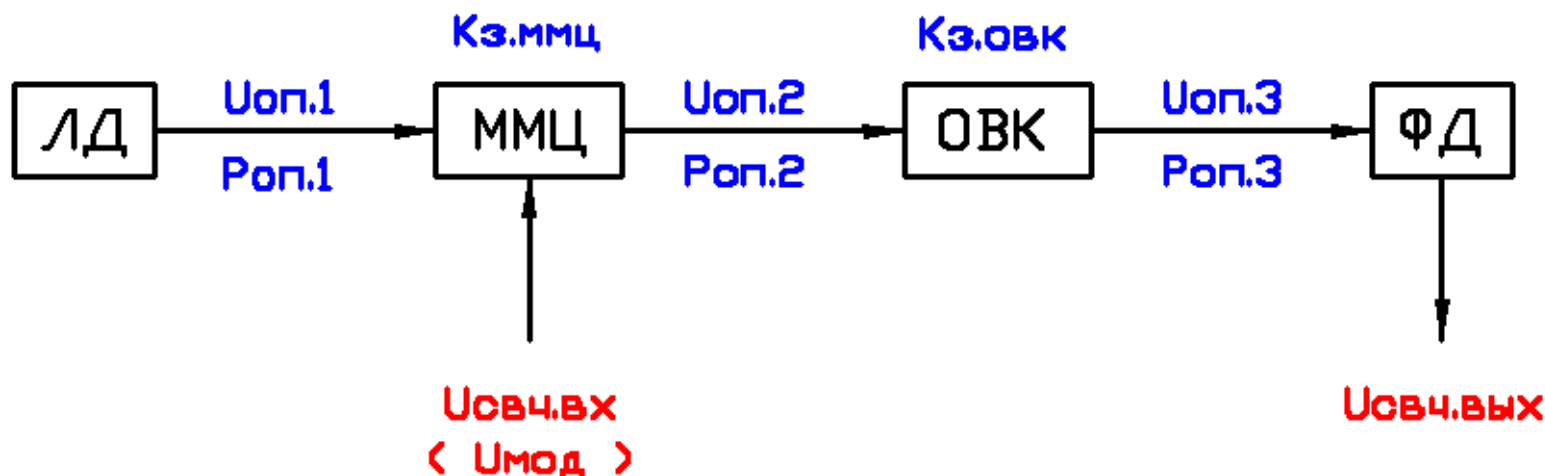
*Фотодетектор в виде
гибридной интегральной схемы
(технология system-on-package)*



Оптоволоконный кабель



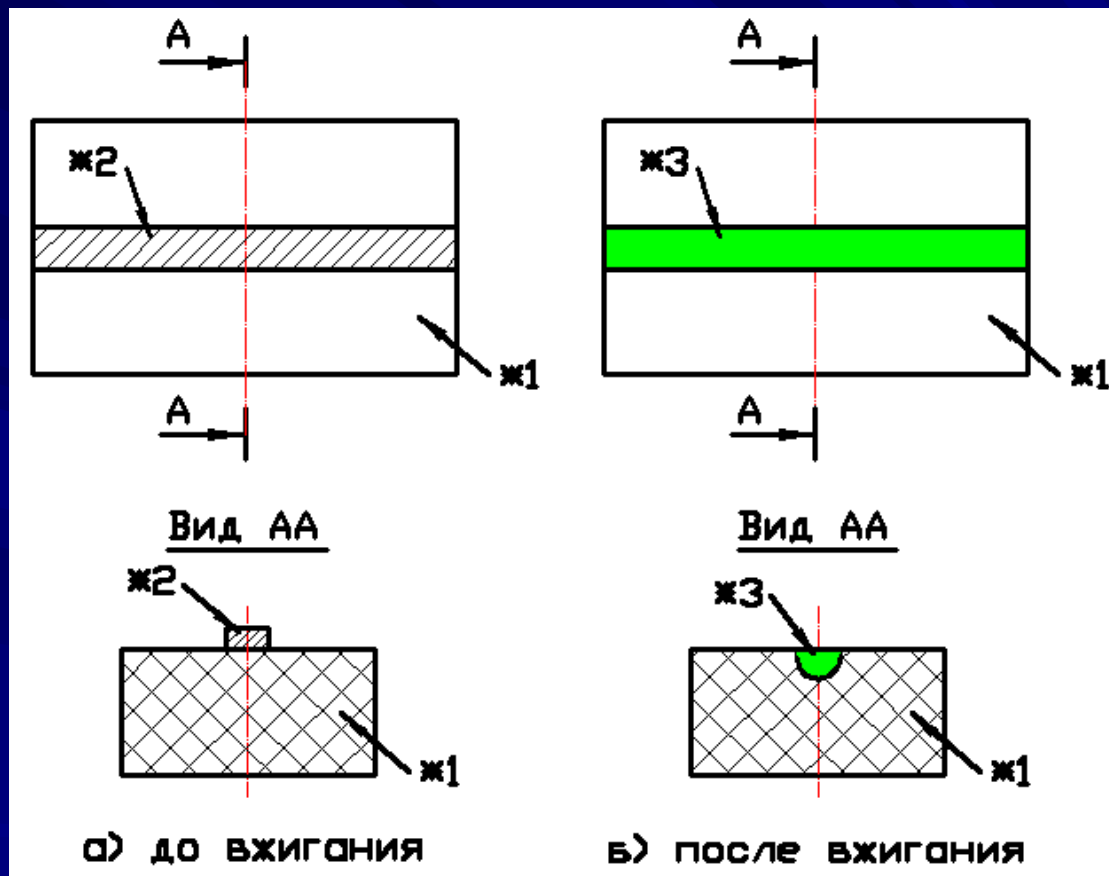
Схема аналоговой ВОЛС СВЧ



ЛД - лазерный диод;
ММЦ - модулятор Маха-Цандера;
ОВК - опто-волоконный кабель;
ФД - фотодетектор;

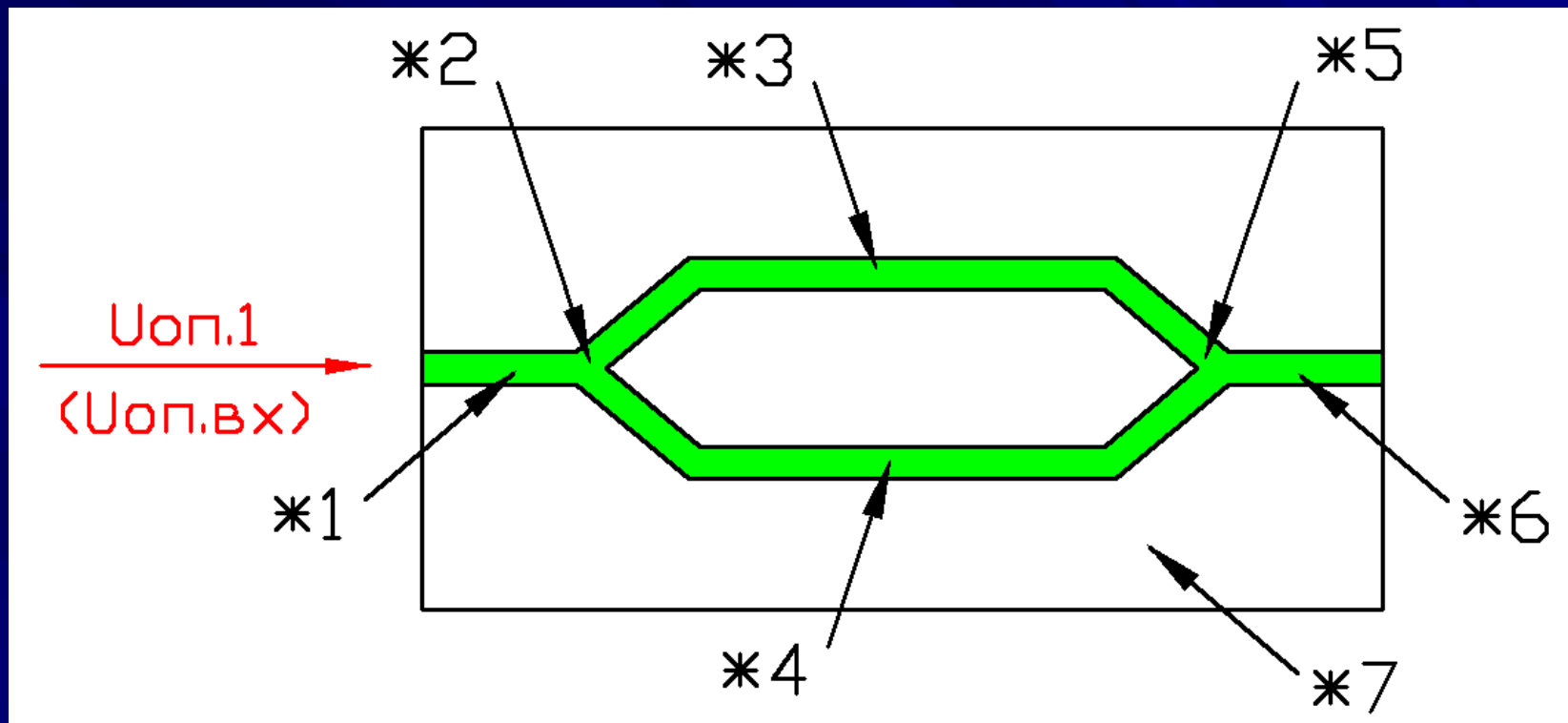
$$K_{п.свч} = 20Lg(U_{свч.вых}/U_{свч.вх}) = ???$$

Формирование световодных каналов



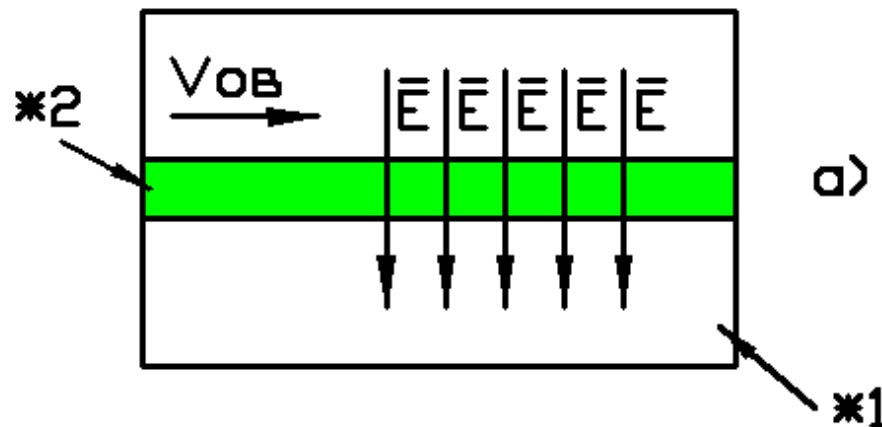
- 1 - пластина из ниобата лития,**
- 2 - напылённая полоска из титана,**
- 3 - световодный канал.**

Структура световодных каналов модулятора Маха-Цандера

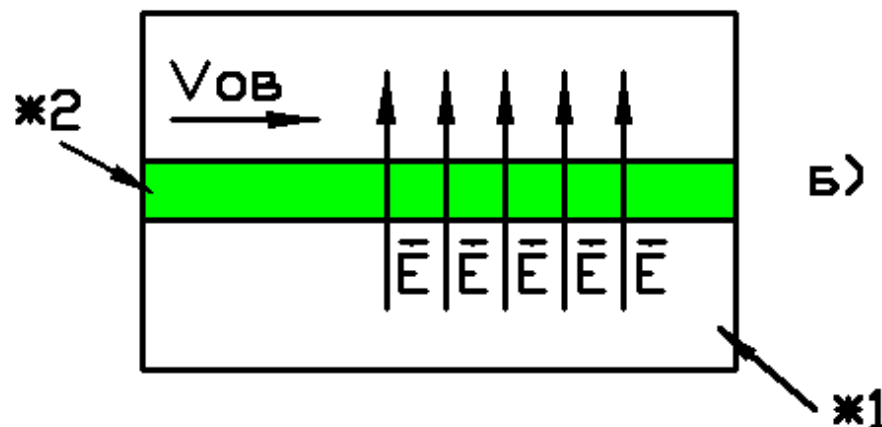


- 1 - входной световодный канал;
- 2 - входной Y - разветвитель;
- 3,4 - параллельные идентичные световодные каналы;
- 5 - выходной Y – светвитель;
- 6 - выходной световодный канал

Эффект Поккельса



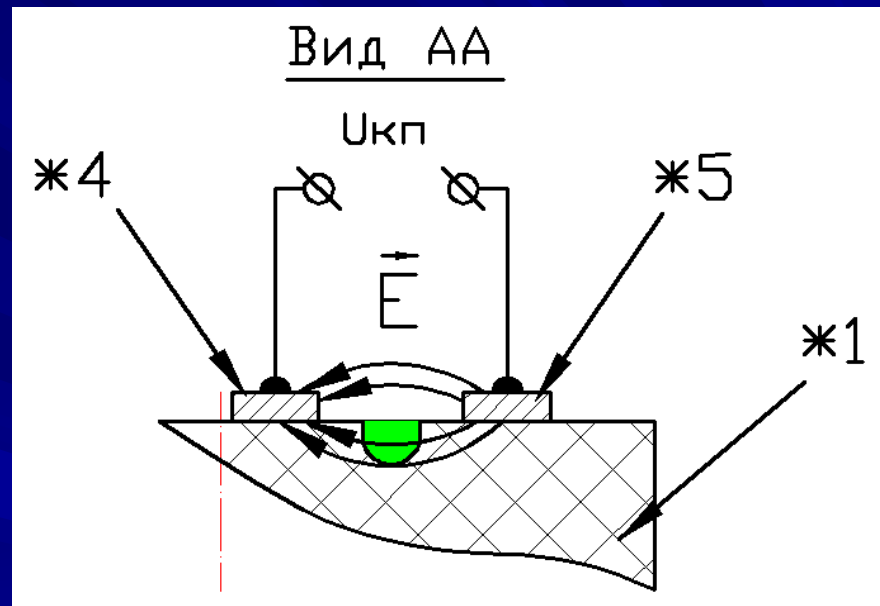
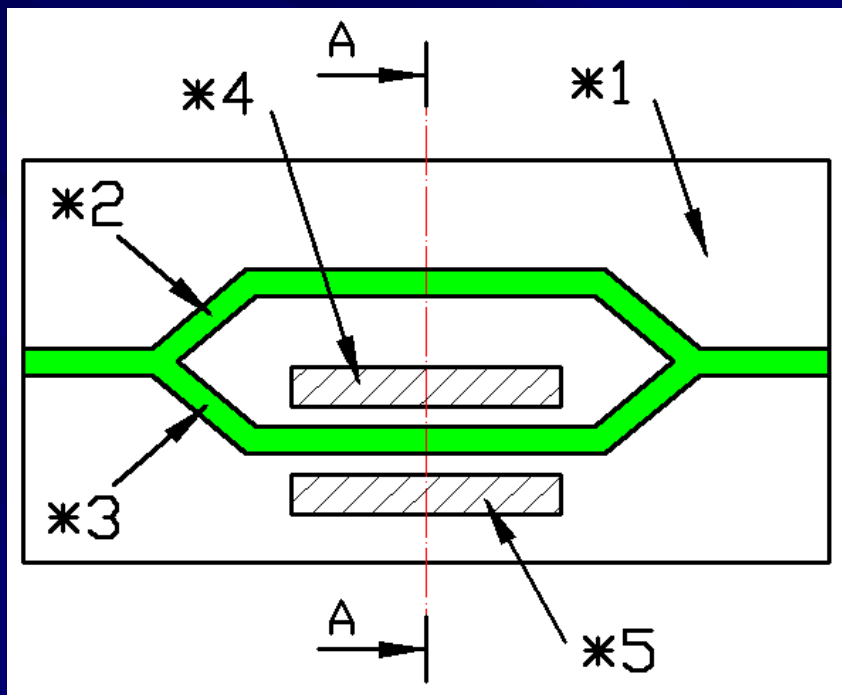
а) V_{OV} увеличивается



б) V_{OV} уменьшается

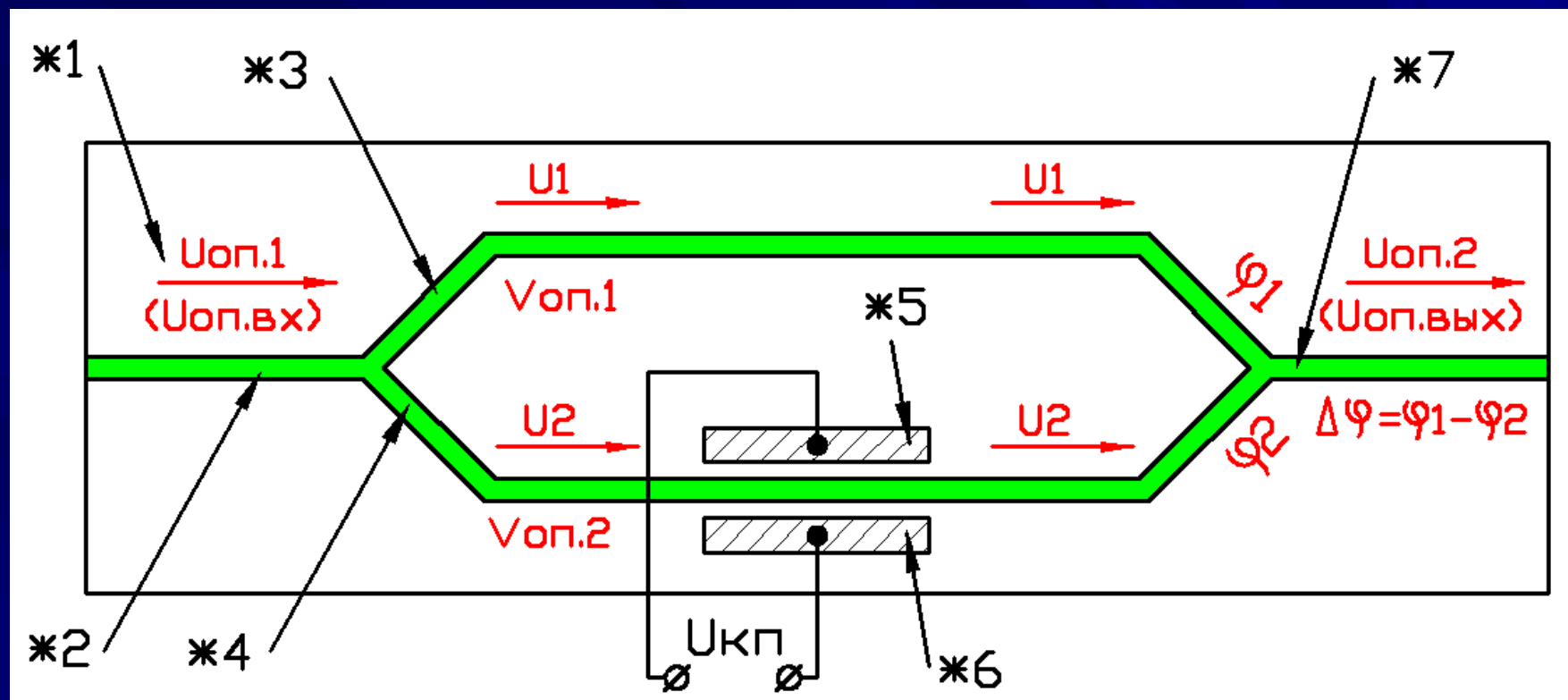
1 - пластина из ниобата лития;
2 - световодный канал

Физическая реализация эффекта Поккельса



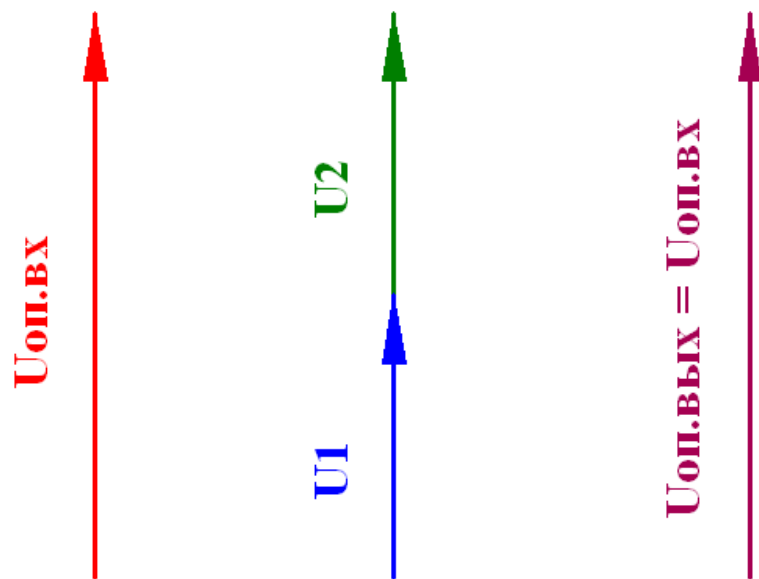
- 1 - пластина из ниобата лития;
- 2,3 - световодные каналы;
- 4,5 - контактные площадки (управляющие электроды)

Принцип действия модулятора Маха-Цандера

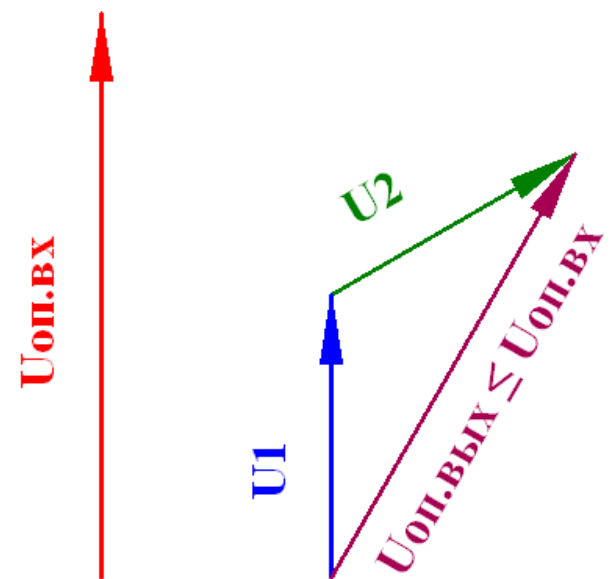


- 1 - пластина из ниобата лития,
- 2 - входной световодный канал;
- 3, 4 - идентичные световодные каналы;
- 5, 6 - контактные площадки (управляющие электроды);
- 7 - выходной световодный канал

Векторные диаграммы на выходе модулятора при $U_{кп} = 0$ и при $U_{кп} \neq 0$

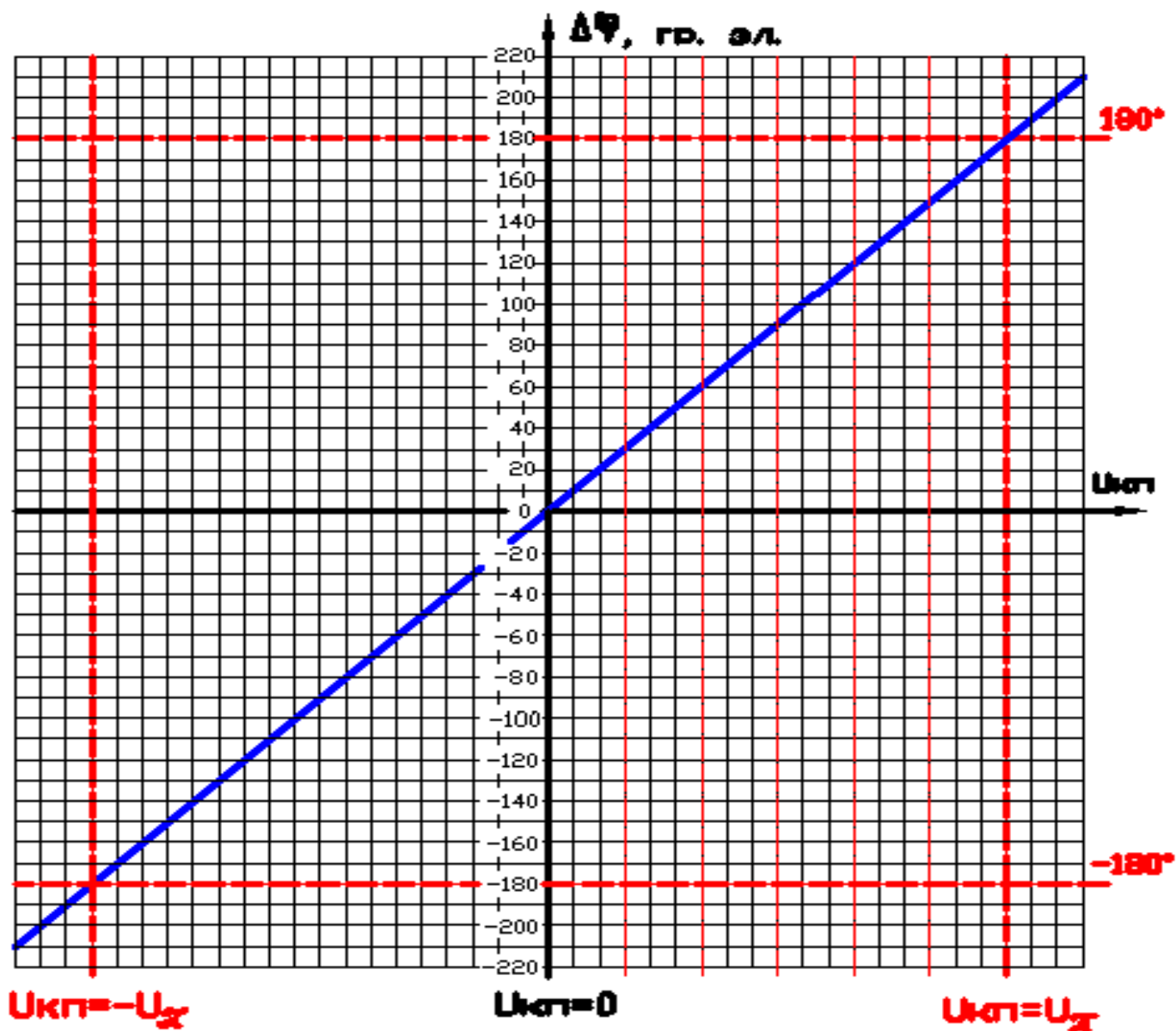


$U_{кп} = 0$

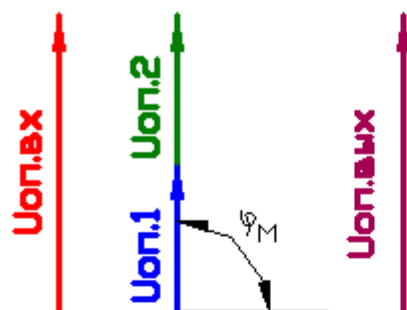


$U_{кп} \neq 0$

Зависимость $\Delta\varphi$ от $U_{кп}$

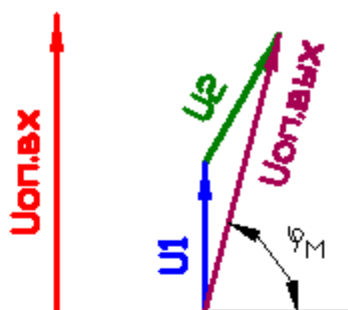


Векторные диаграммы на выходе модулятора при различных U_{kp}



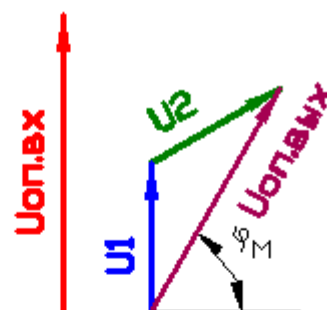
а) $U_{kp}=0$

$$\frac{U_{оп.вых}}{U_{оп.вх}} = 1.000$$



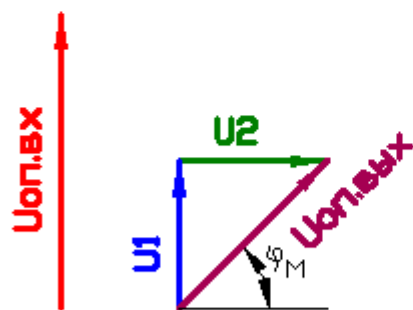
б) $U_{kp}=3/18U_{\pi}$

$$\frac{U_{оп.вых}}{U_{оп.вх}} = 0.966$$



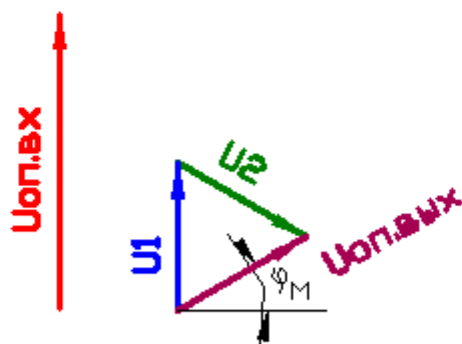
в) $U_{kp}=6/18U_{\pi}$

$$\frac{U_{оп.вых}}{U_{оп.вх}} = 0.866$$



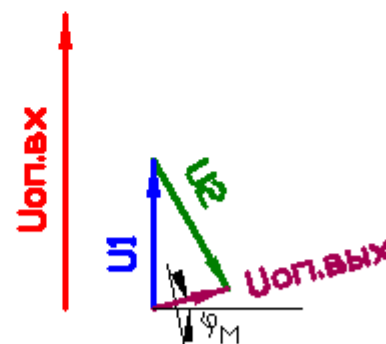
г) $U_{kp}=9/18U_{\pi}$

$$\frac{U_{оп.вых}}{U_{оп.вх}} = 0.707$$



д) $U_{kp}=12/18U_{\pi}$

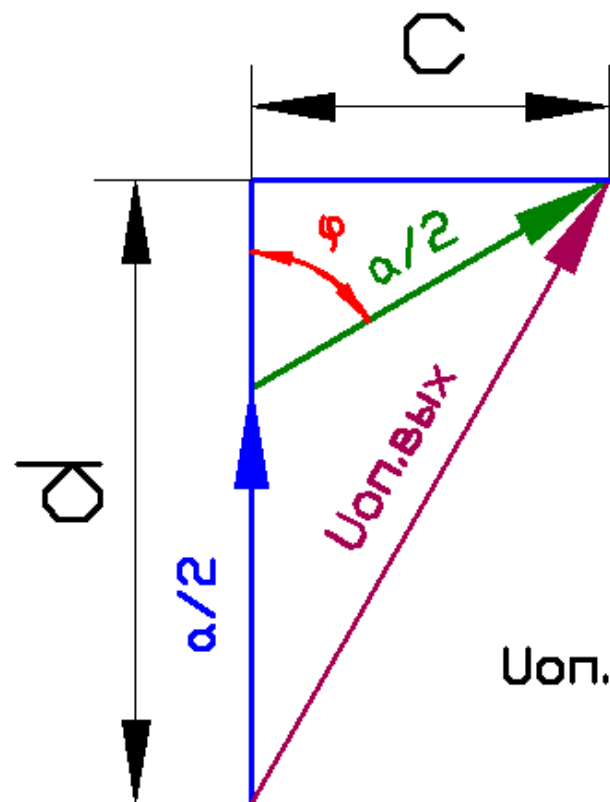
$$\frac{U_{оп.вых}}{U_{оп.вх}} = 0.500$$



е) $U_{kp}=15/18U_{\pi}$

$$\frac{U_{оп.вых}}{U_{оп.вх}} = 0.259$$

Определение зависимости $K_{и.оп}$ от $U_{кп}$



$$U_{оп.вых} = \sqrt{c^2 + d^2}$$

$$c = (a/2)\sin\varphi$$

$$d = (a/2) + (a/2)\cos\varphi$$

$$a = U_{оп.вх}$$

$$\varphi = (U_{кп}/U_{\pi})180^\circ$$

$$U_{оп.вых} = \sqrt{0.5(1 + \cos(U_{кп}/U_{\pi})180^\circ)(U_{оп.вх})^2}$$

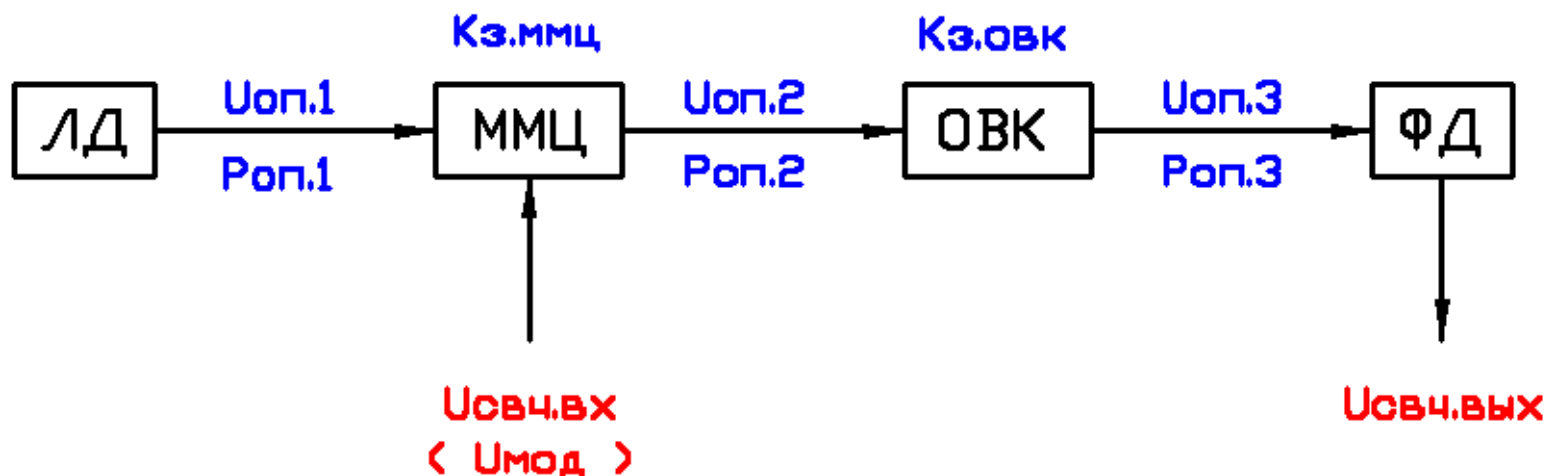
$$K_{и.оп} = U_{оп.вых}/U_{оп.вх} = \sqrt{0.5(1 + \cos(U_{кп}/U_{\pi})180^\circ)}$$

**Определение зависимости $K_{р.оп}$ от $U_{кп}$
без учёта затухания
в оптическом тракте модулятора Маха-Цандера**

$$K_{р.оп} = P_{оп.вых}/P_{оп.вх} = K_{и.оп}^2 =$$

$$(U_{оп.вых}/U_{оп.вх})^2 = 0.5(1 + \cos((U_{кп}/U_{\pi})180^\circ))$$

Схема аналоговой ВОЛС СВЧ



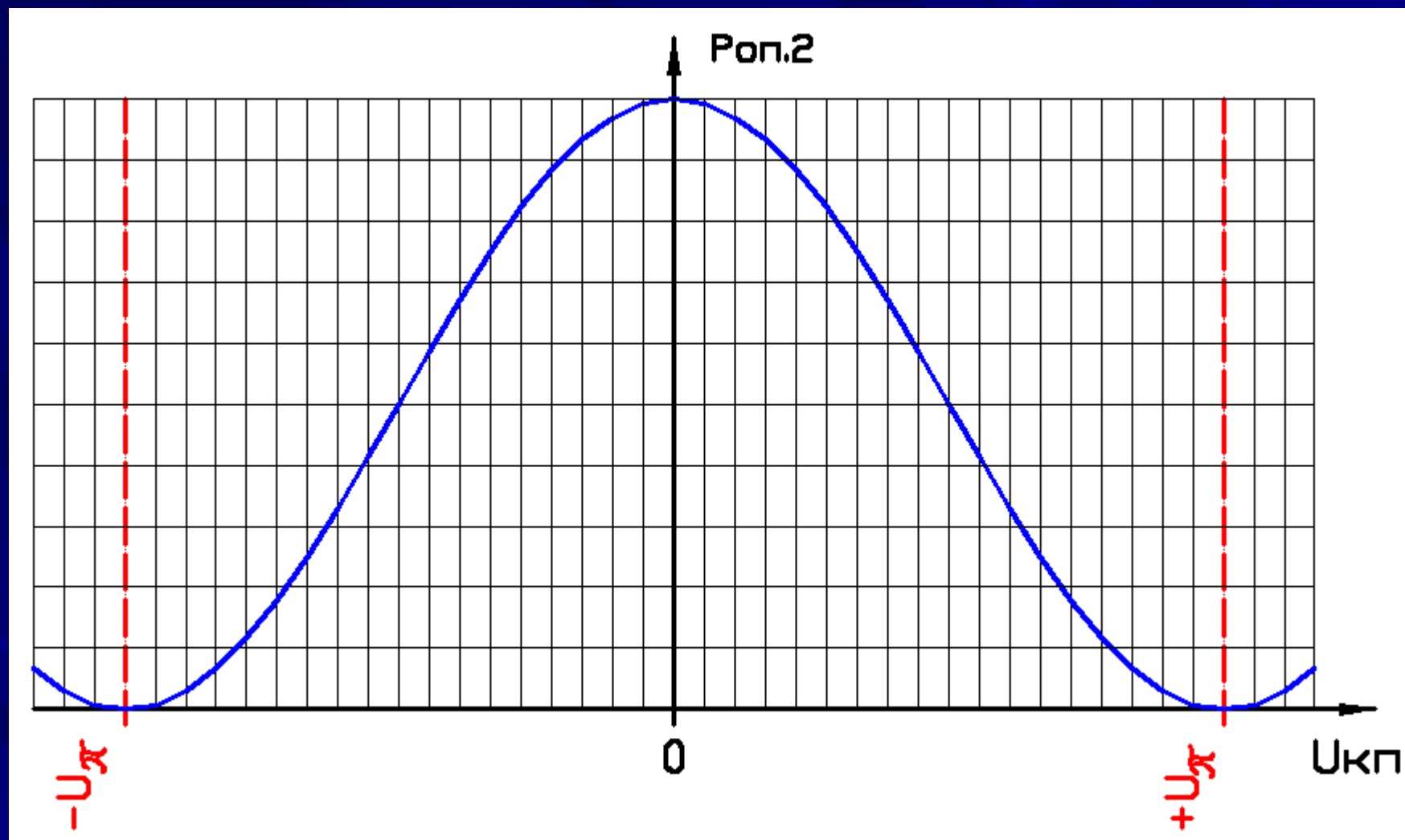
ЛД - лазерный диод;
ММЦ - модулятор Маха-Цандера;
ОВК - опто-волоконный кабель;
ФД - фотодетектор;

$$K_{п.свч} = 20Lg(U_{свч.вых}/U_{свч.вх}) = ???$$

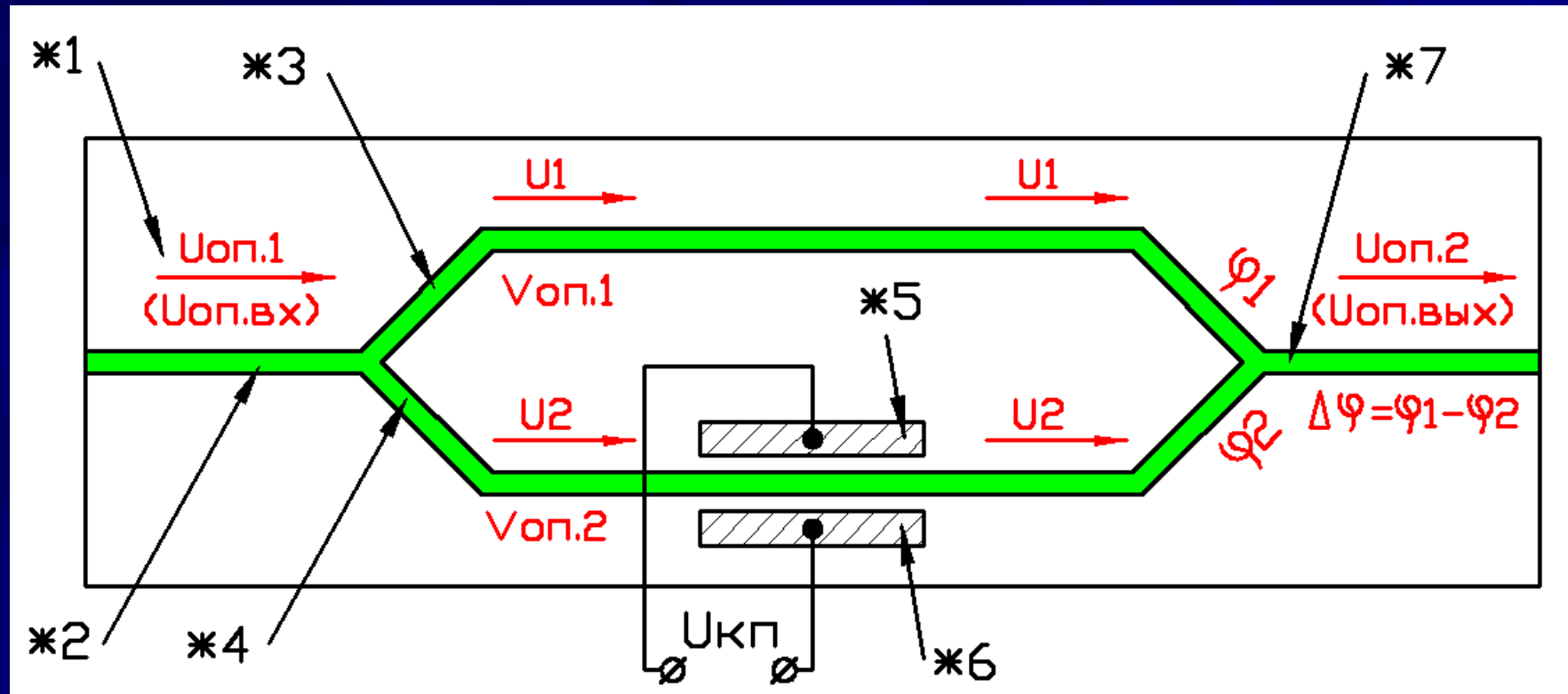
Формула зависимости $P_{оп.2}$ от $U_{кп}$

$$\begin{aligned} P_{оп.2} &= P_{оп.1} \times K_{р.оп} = \\ &= P_{оп.1} \times [0.5(1 + \cos((U_{кп}/U_{\pi})180^\circ)]/K_{з.ммц} \end{aligned}$$

График зависимости $P_{оп.2}$ от $U_{кп}$



Принцип действия модулятора Маха-Цандера



- 1 - пластина из ниобата лития,
- 2 - входной световодный канал;
- 3, 4 - идентичные световодные каналы;
- 5, 6 - контактные площадки (управляющие электроды);
- 7 - выходной световодный канал

Модуляция оптического сигнала без подачи напряжения смещения на контактные площадки.

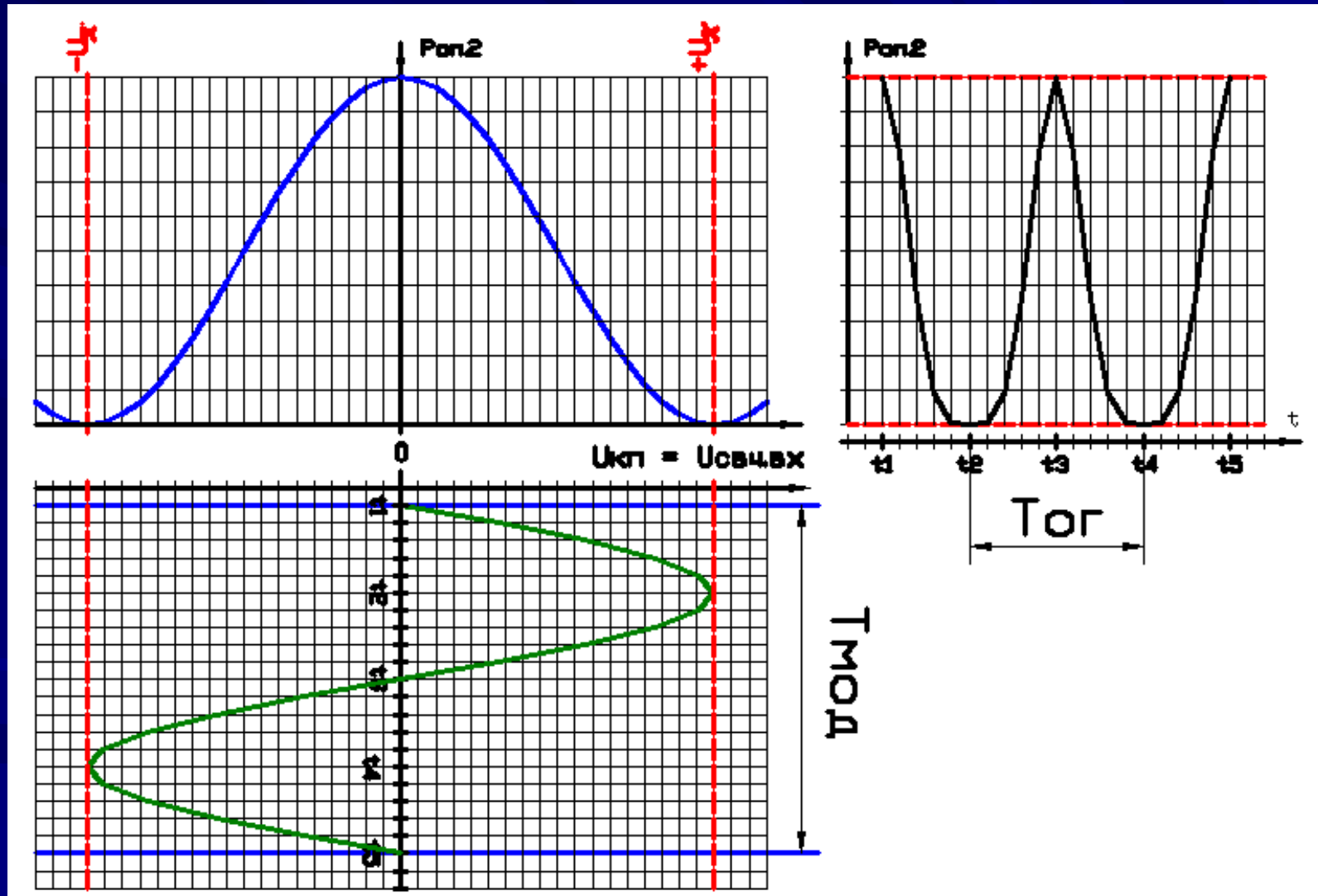
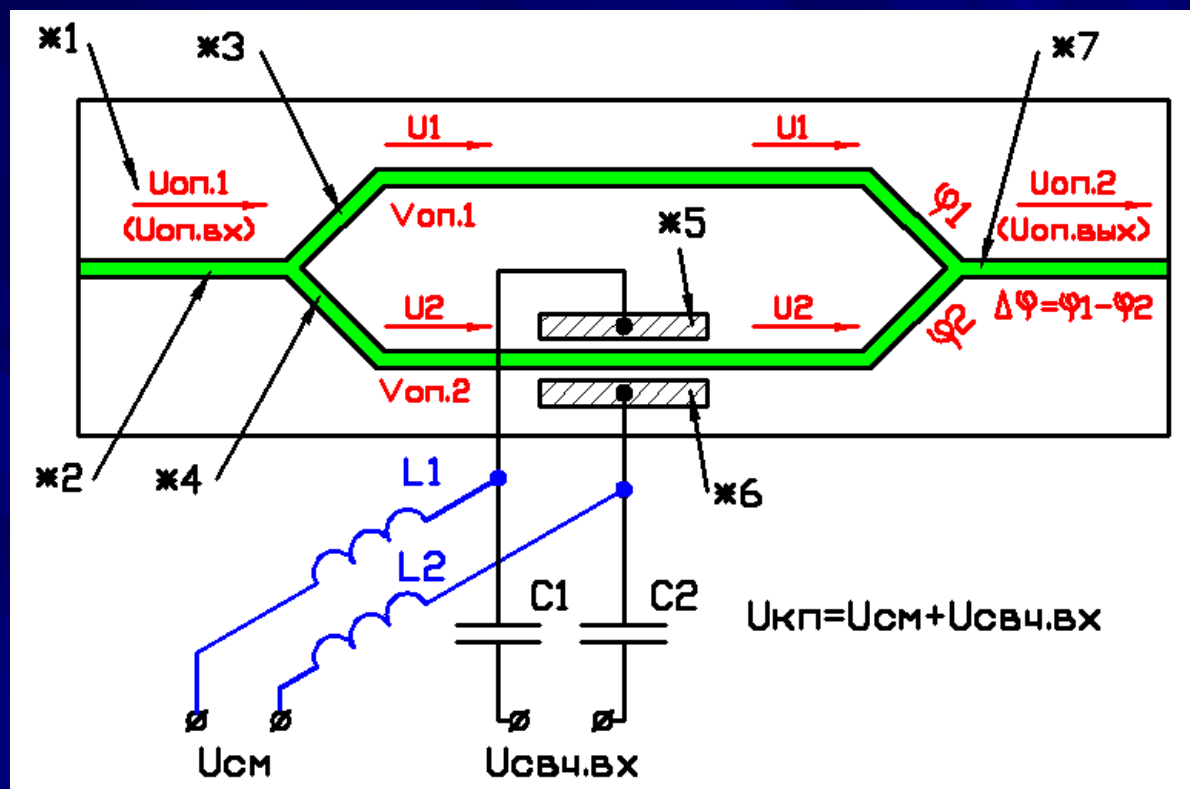
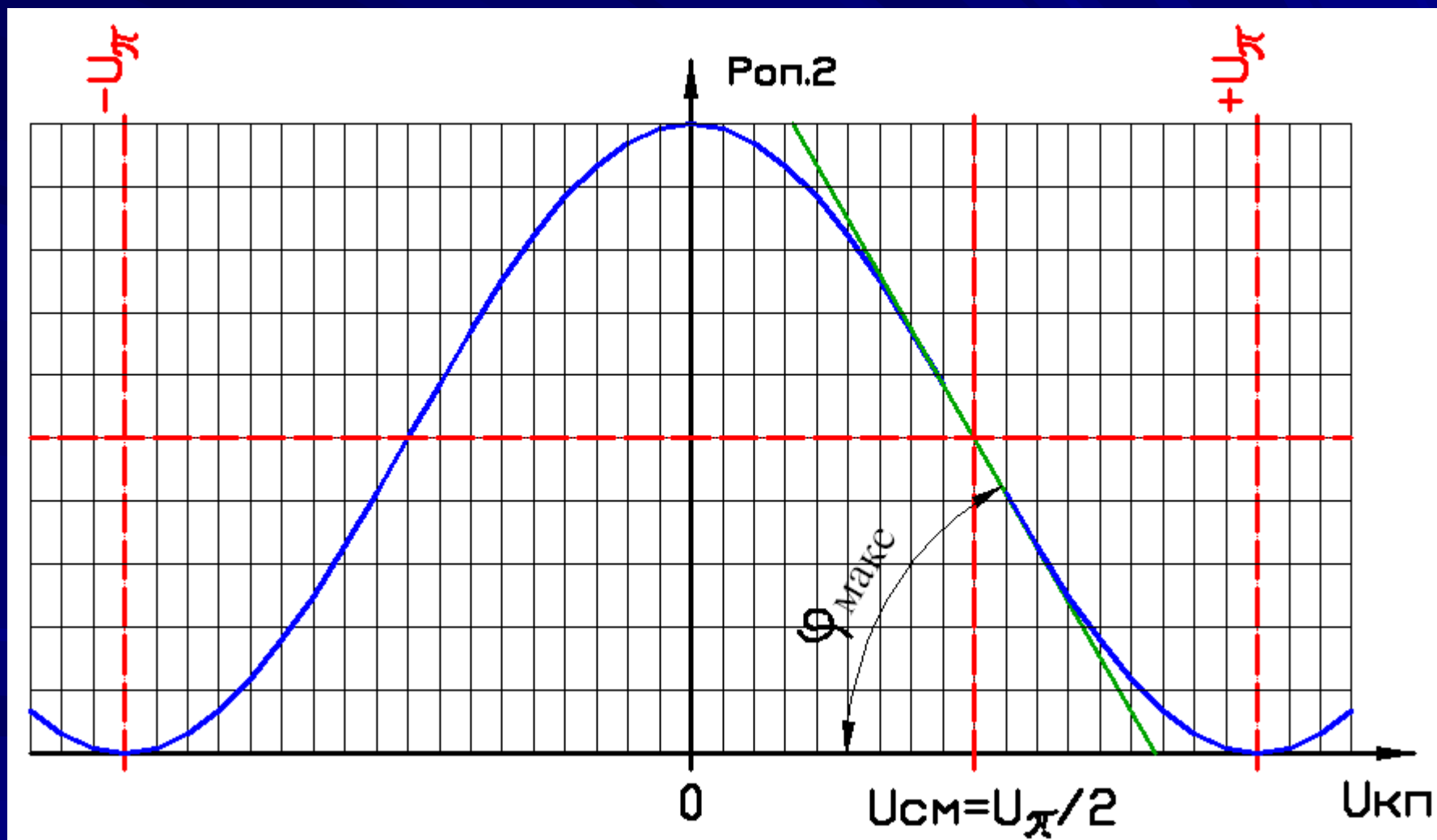


Схема подачи напряжения смещения



- 1 - пластина из ниобата лития,
- 2 - входной световодный канал;
- 3, 4 - идентичные световодные каналы;
- 5, 6 - контактные площадки (управляющие электроды);
- 7 - выходной световодный канал

Оптимальная рабочая точка



Коррекция формулы зависимости $P_{оп.2}$ от $U_{кп}$

$$P_{оп.2} = P_{оп.1} \times [0.5(1 + \cos((U_{кп}/U_{\pi})180^{\circ}))]/K_{з.ммц}$$

$$U_{кп} = U_{см} + U_{свч.вх} \times \cos(\omega t)$$

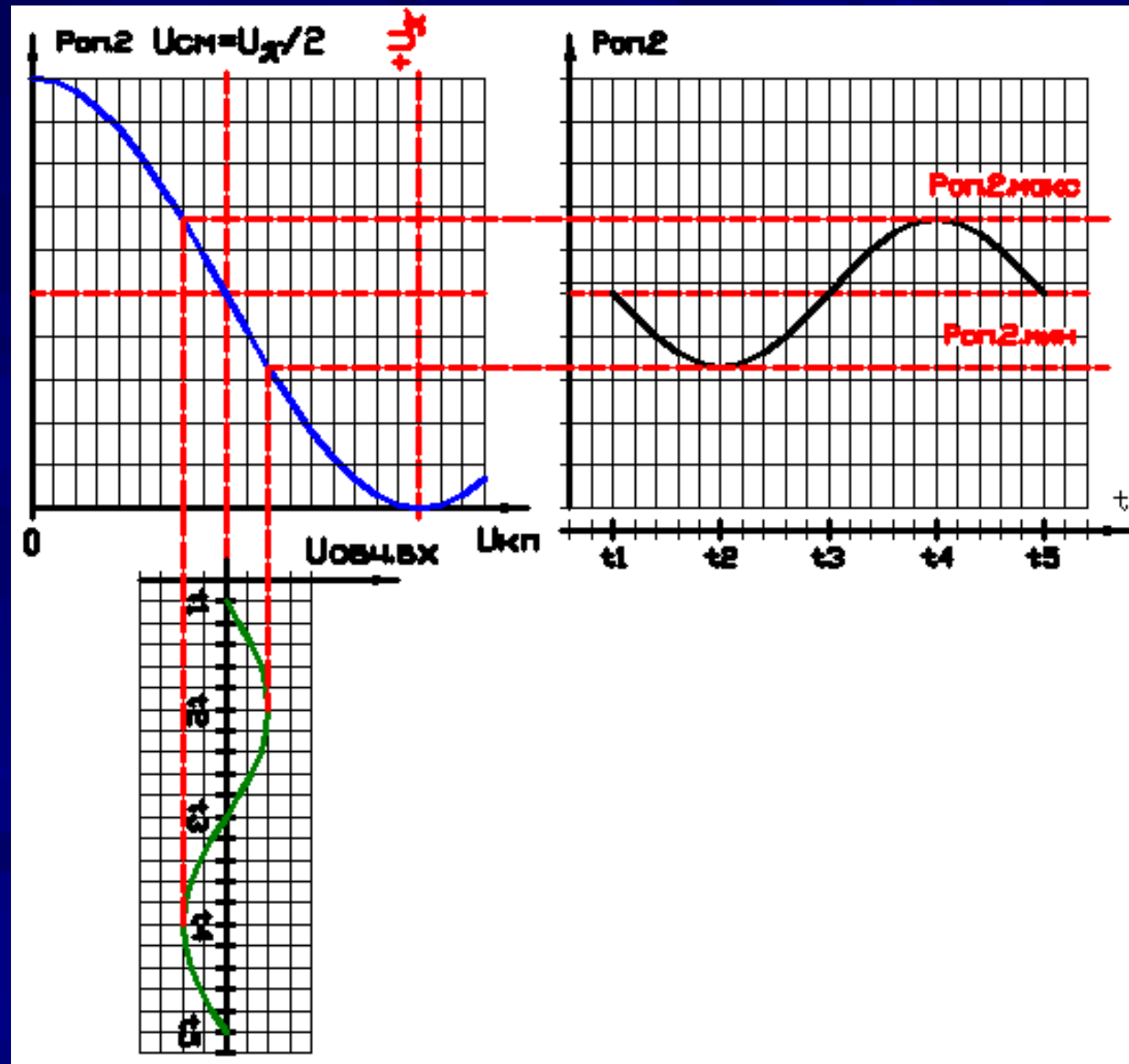
$$P_{оп.2} = P_{оп.1} \times [0.5(1 + \cos((U_{см} + U_{свч.вх} \times \cos(\omega t))/U_{\pi})180^{\circ}))]/K_{з.ммц}$$

Рекомендуемые значения $U_{см}$ и $U_{свч.вх}$

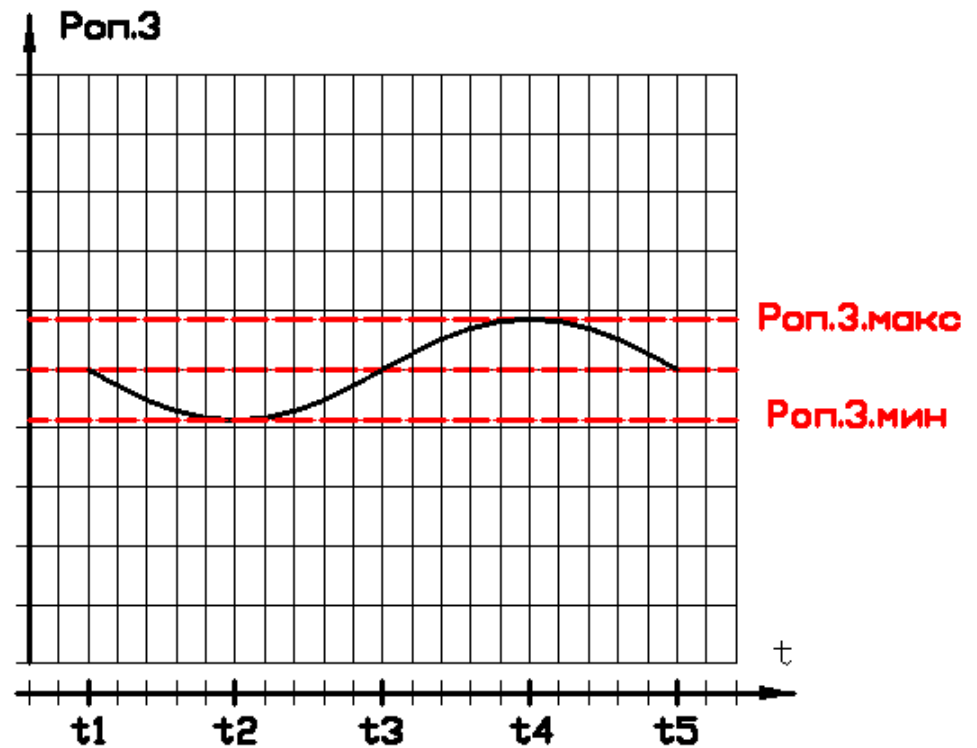
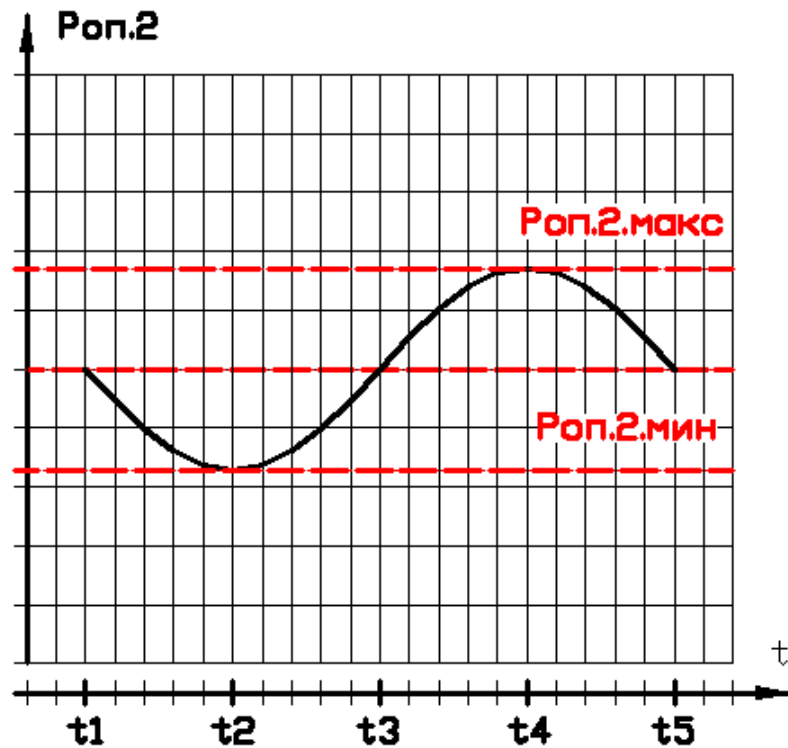
$$U_{см} = U_{\pi}/2$$

$$U_{свч.вх} = U_{\pi}/10$$

Модуляция оптического сигнала с подачей напряжения смещения на контактные площадки.



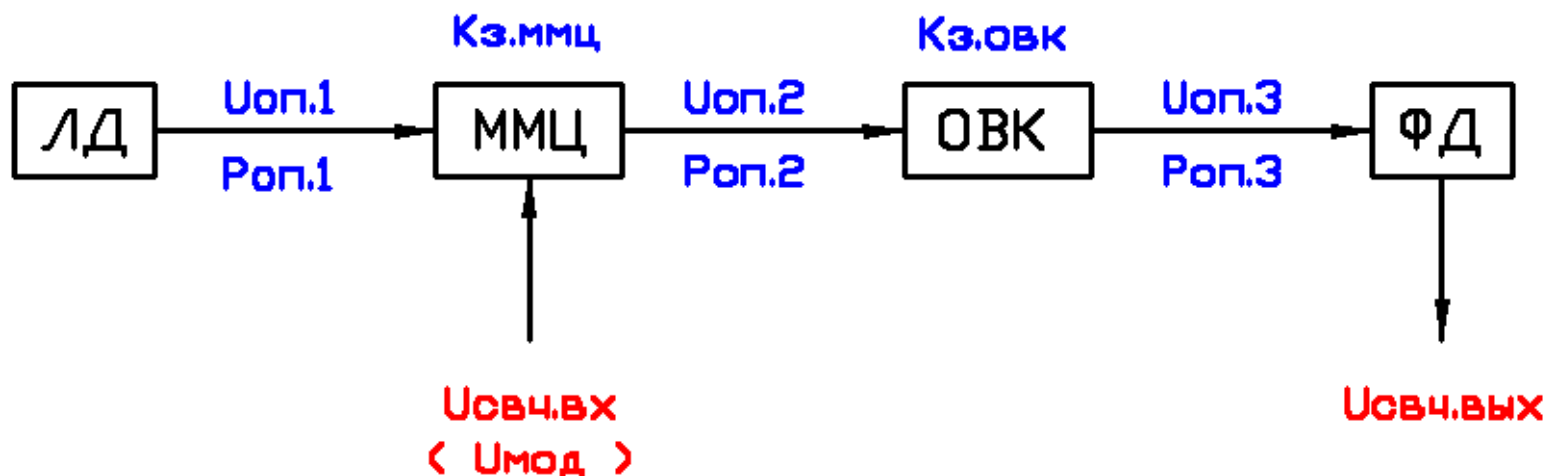
Временные развёртки Роп.2 и Роп.3



$$\text{Роп.3.макс} = \text{Роп.2.макс} / 2$$

$$\text{Роп.3.мин} = \text{Роп.2.мин} / 2$$

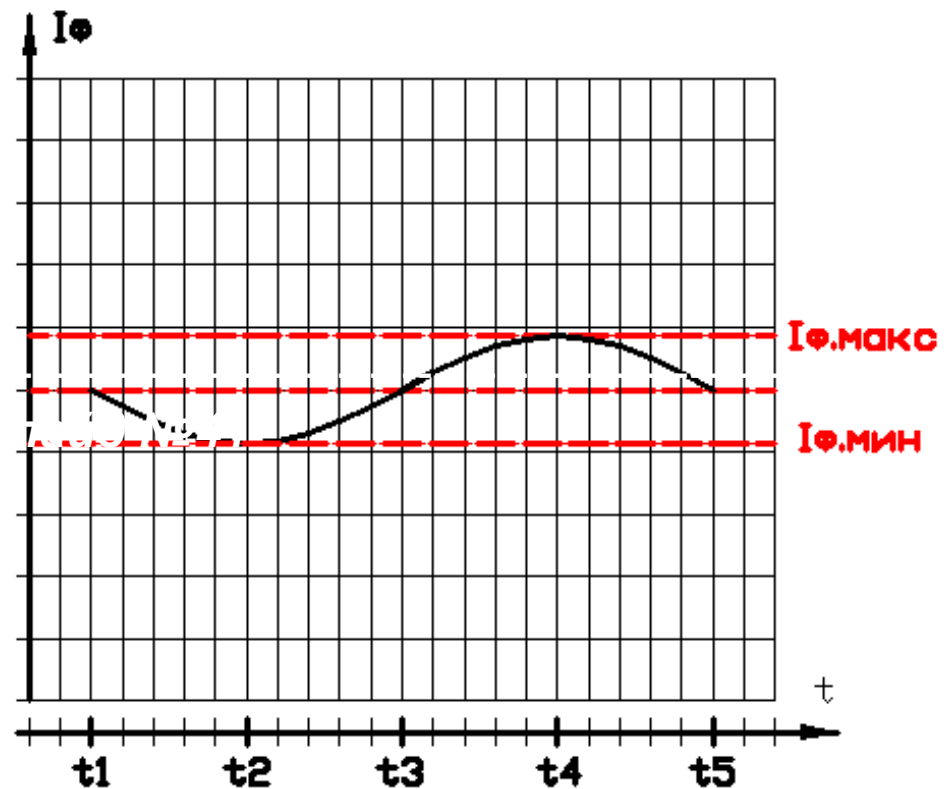
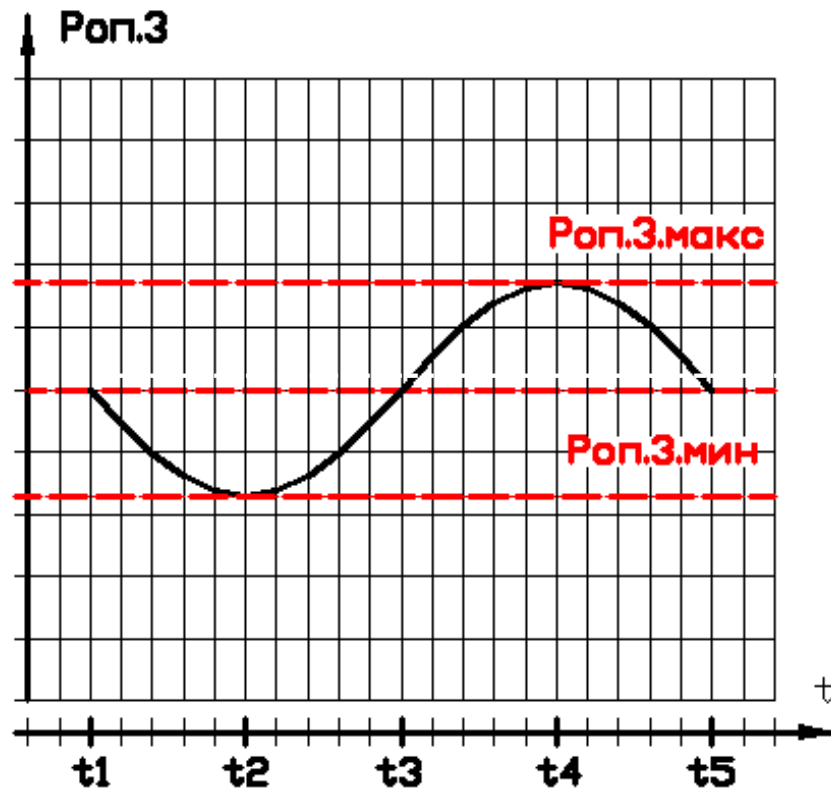
Схема аналоговой ВОЛС СВЧ



ЛД - лазерный диод;
ММЦ - модулятор Маха-Цандера;
ОВК - опто-волоконный кабель;
ФД - фотодетектор;

$$K_{п.свч} = 20Lg(U_{свч.вых}/U_{свч.вх}) = ???$$

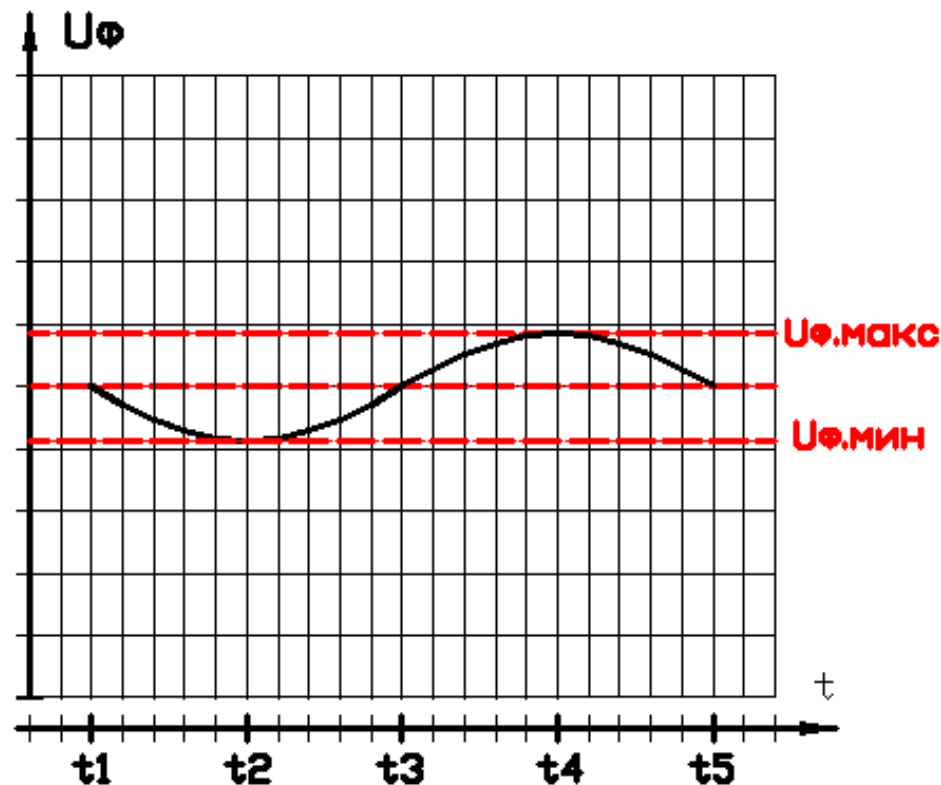
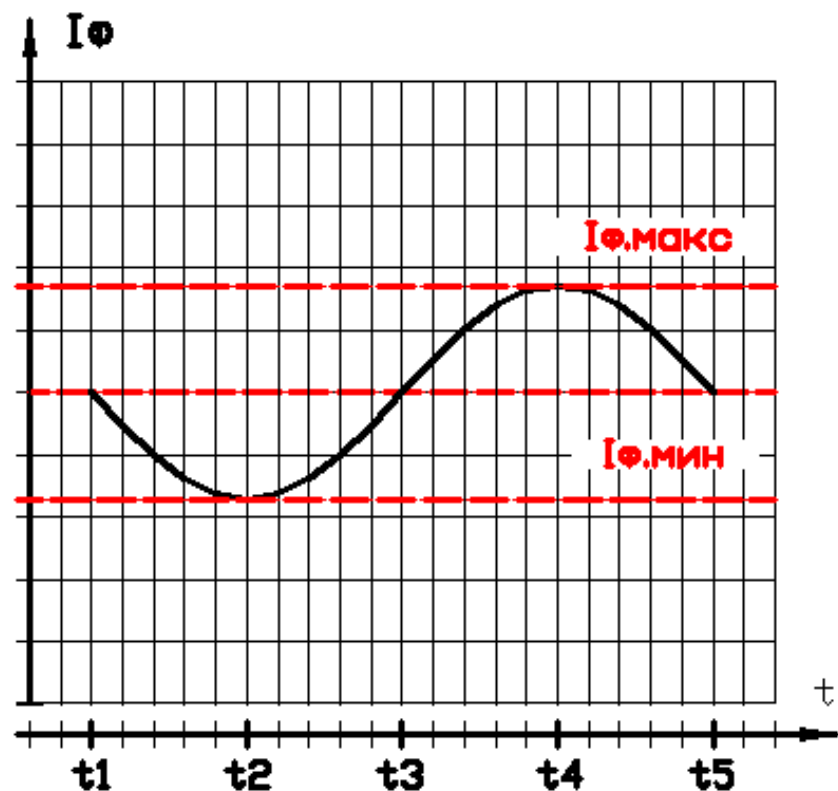
Временные развёртки $P_{оп.3}$ и I_{ϕ}



$$I_{\phi.макс} = P_{оп.3.макс} \times \text{Пф}$$

$$I_{\phi.мин} = P_{оп.3.мин} \times \text{Пф}$$

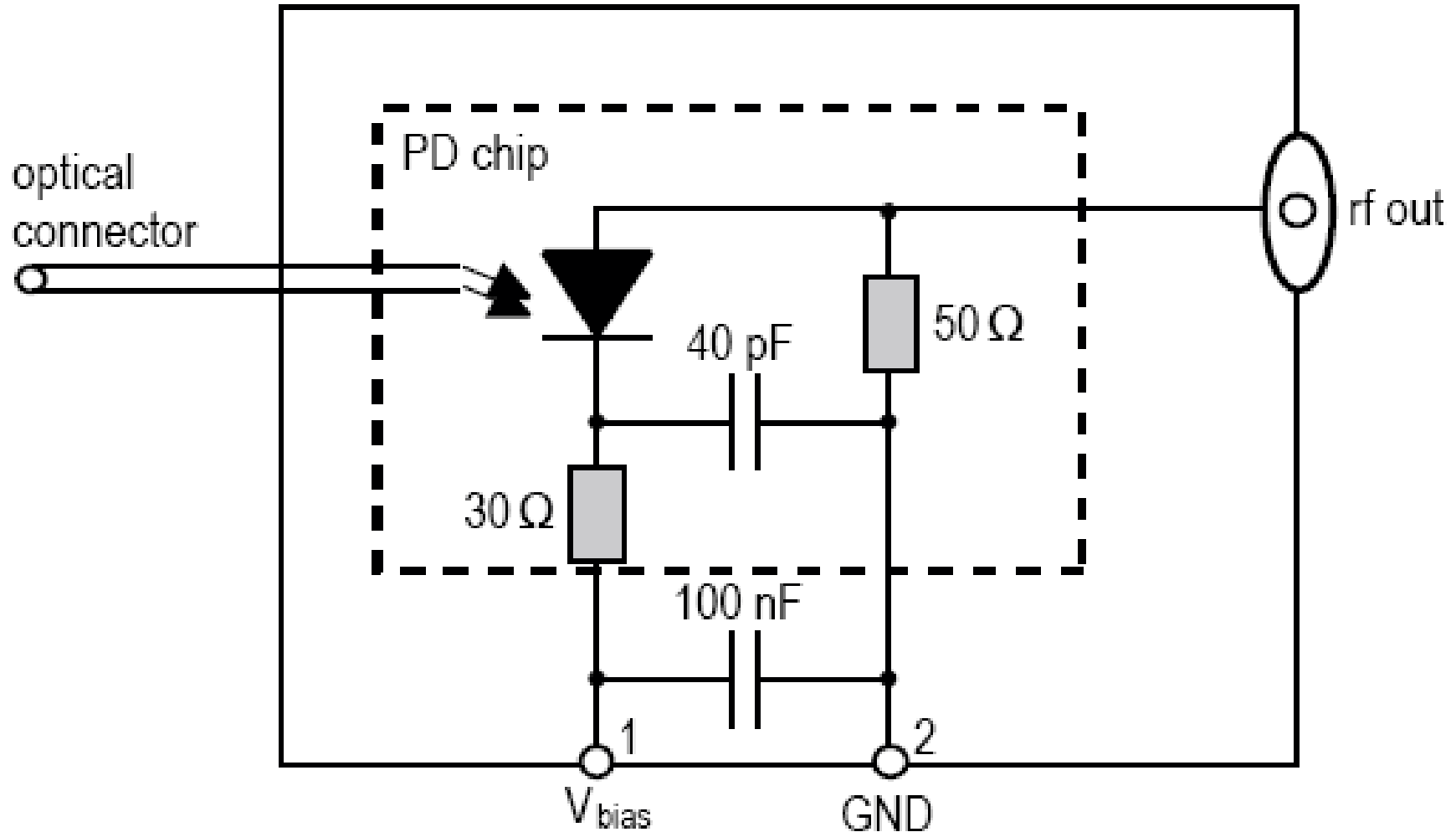
Временные развёртки I_{ϕ} и U_{ϕ}



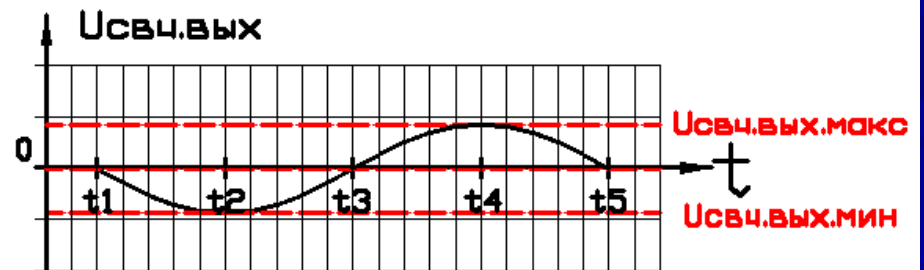
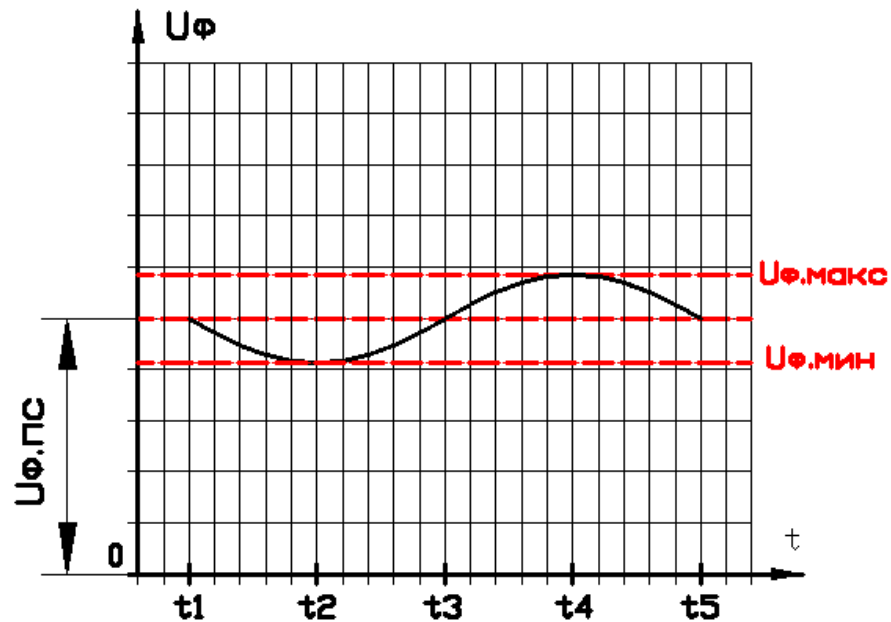
$$U_{\phi.макс} = I_{\phi.макс} \times 25 \text{ Ом}$$

$$U_{\phi.мин} = I_{\phi.мин} \times 25 \text{ Ом}$$

Типичная схема сверхширокополосного СВЧ *p-i-n* фотодетектора



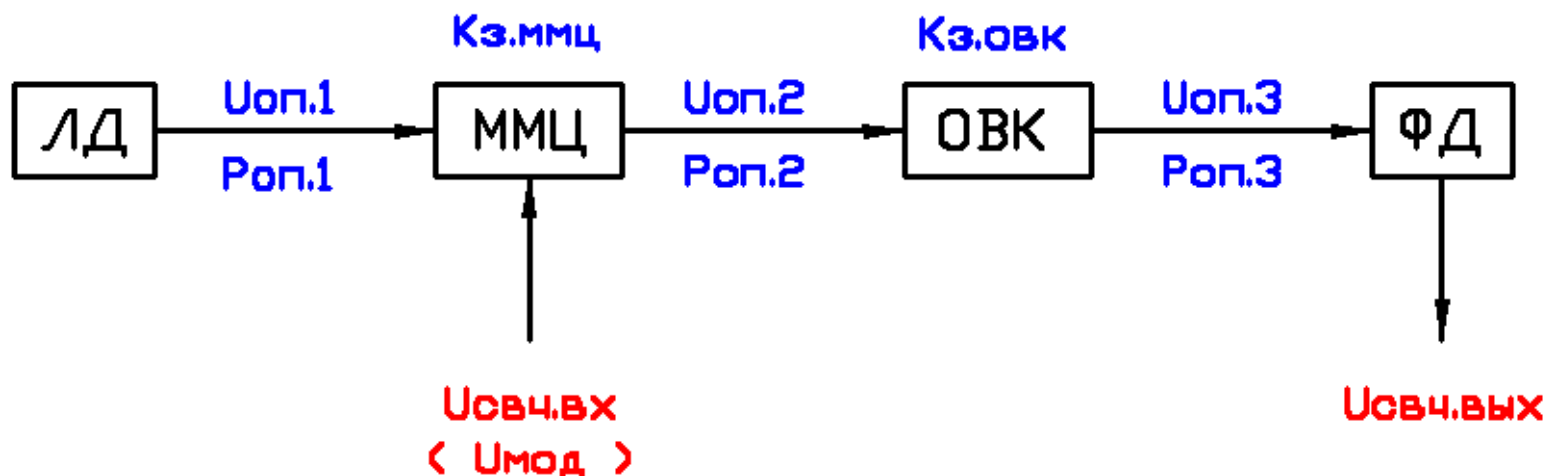
Временные развёртки U_{ϕ} и $U_{\text{свч.вых}}$



$$U_{\text{свч.вых.макс}} - U_{\text{свч.вых.мин}} = U_{\phi.\text{макс}} - U_{\phi.\text{мин}}$$

$$U_{\text{свч.вых}} = (U_{\text{свч.вых.макс}} - U_{\text{свч.вых.мин}}) / 2$$

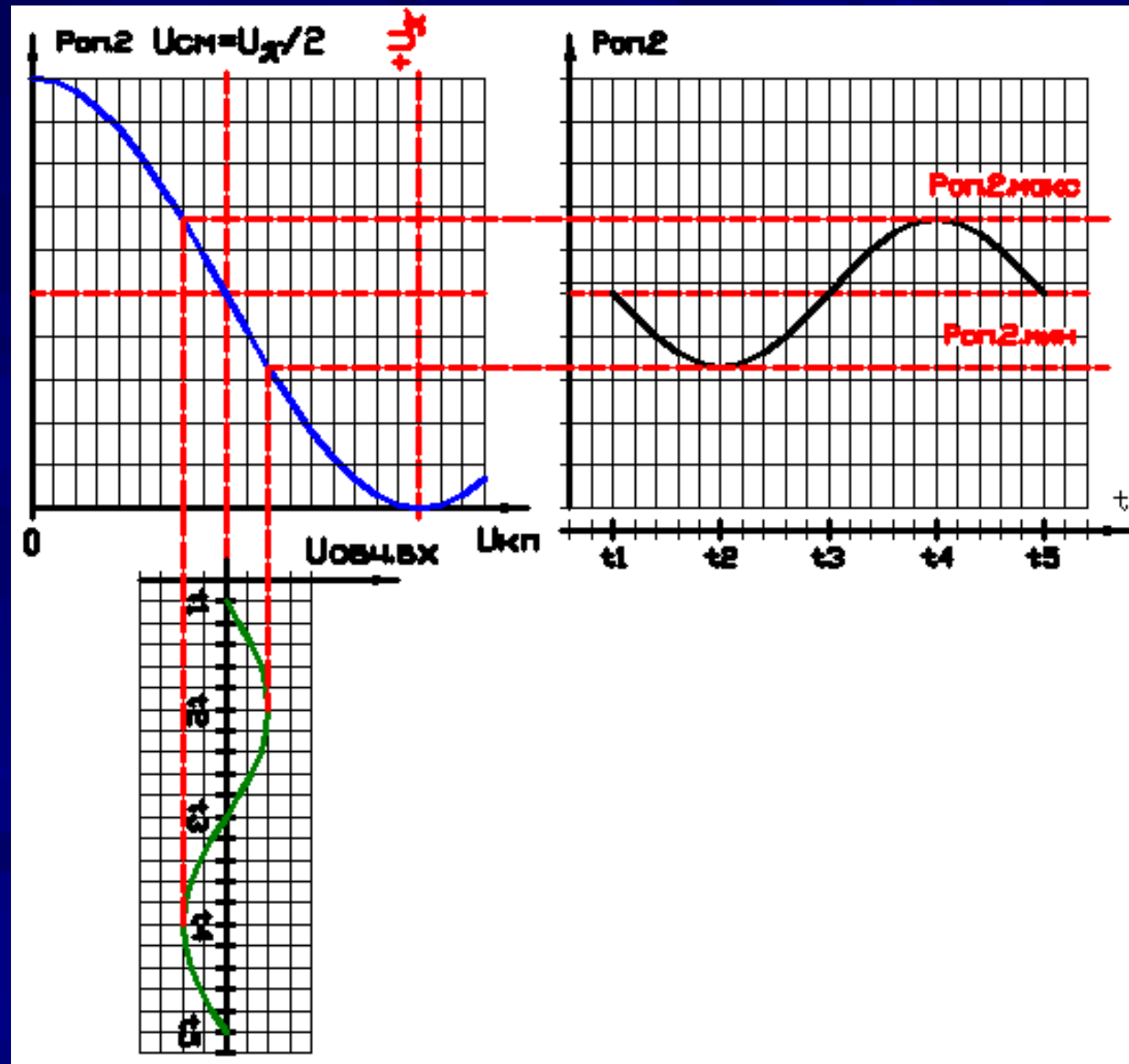
Схема аналоговой ВОЛС СВЧ



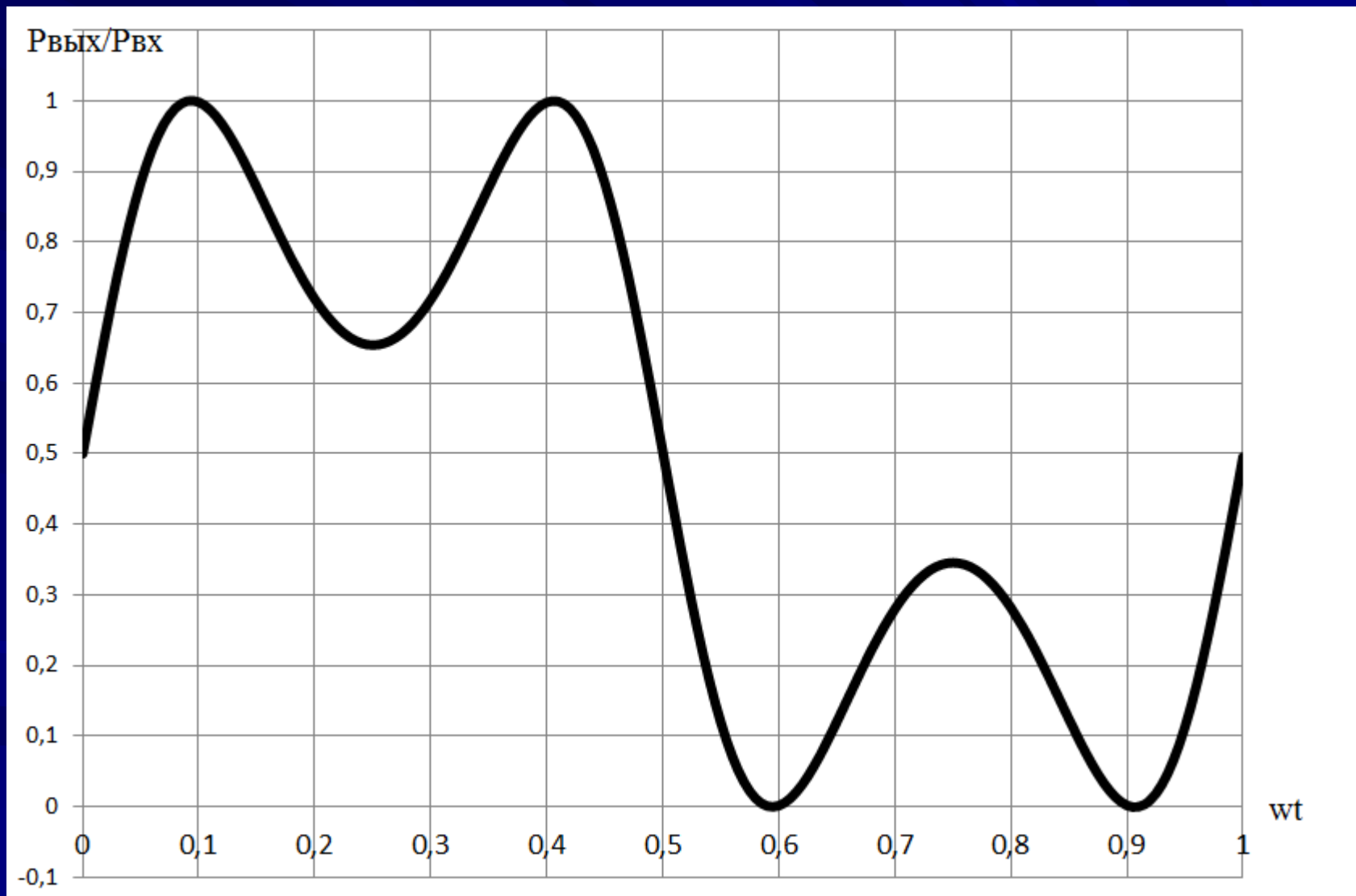
ЛД - лазерный диод;
ММЦ - модулятор Маха-Цандера;
ОВК - опто-волоконный кабель;
ФД - фотодетектор;

$$K_{п.свч} = 20Lg(U_{свч.вых}/U_{свч.вх}) = ???$$

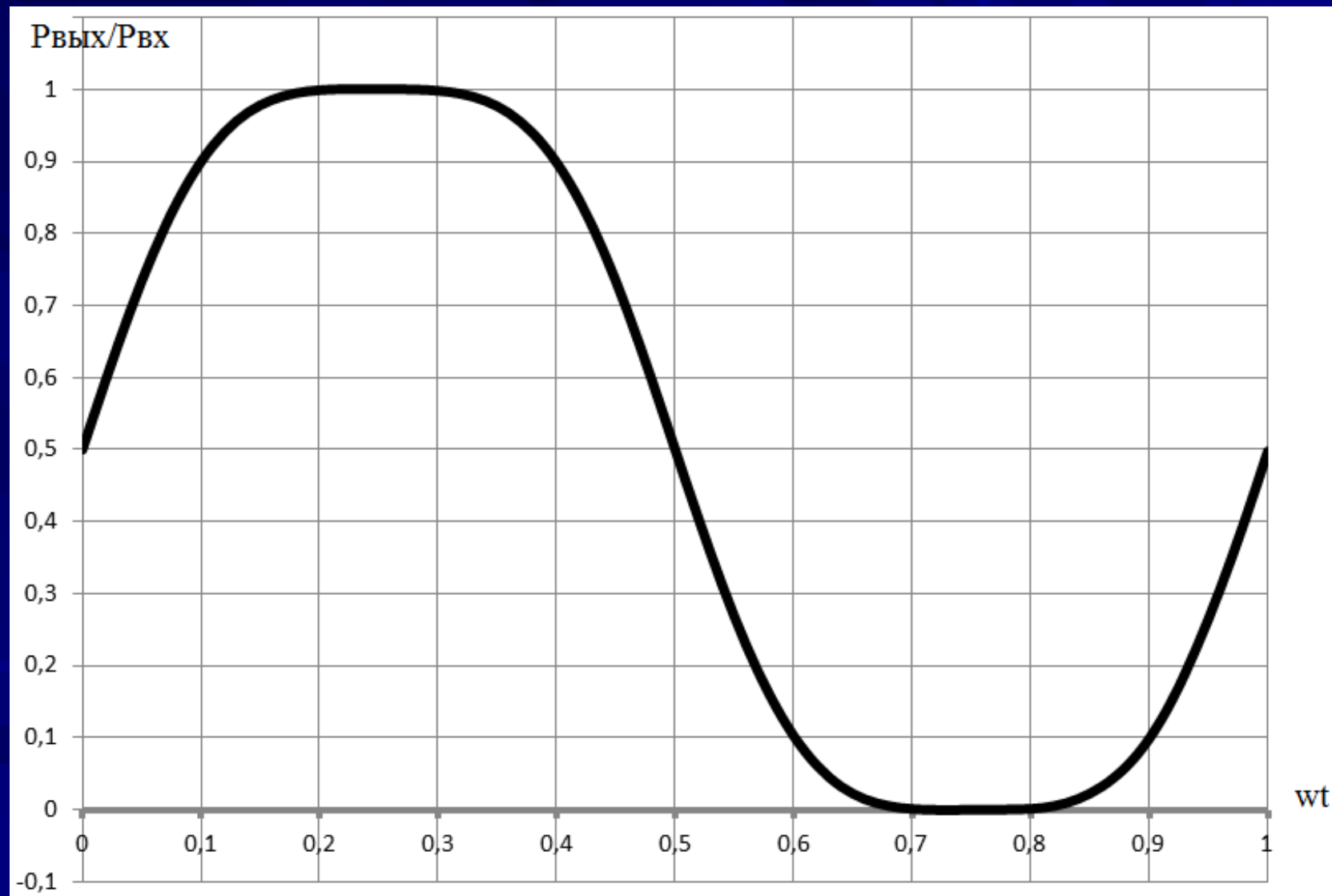
Модуляция оптического сигнала с подачей напряжения смещения на контактные площадки.



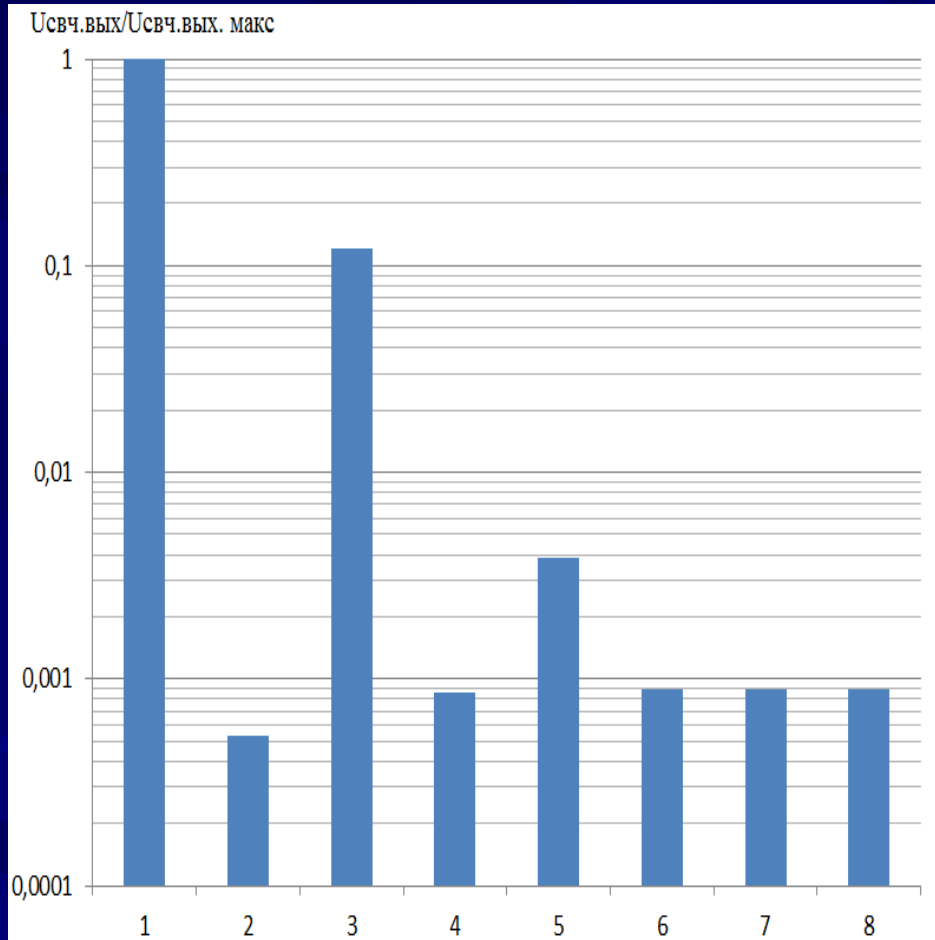
Огибающая с $U_{\text{свч.вх}} > U_{\pi/2}$



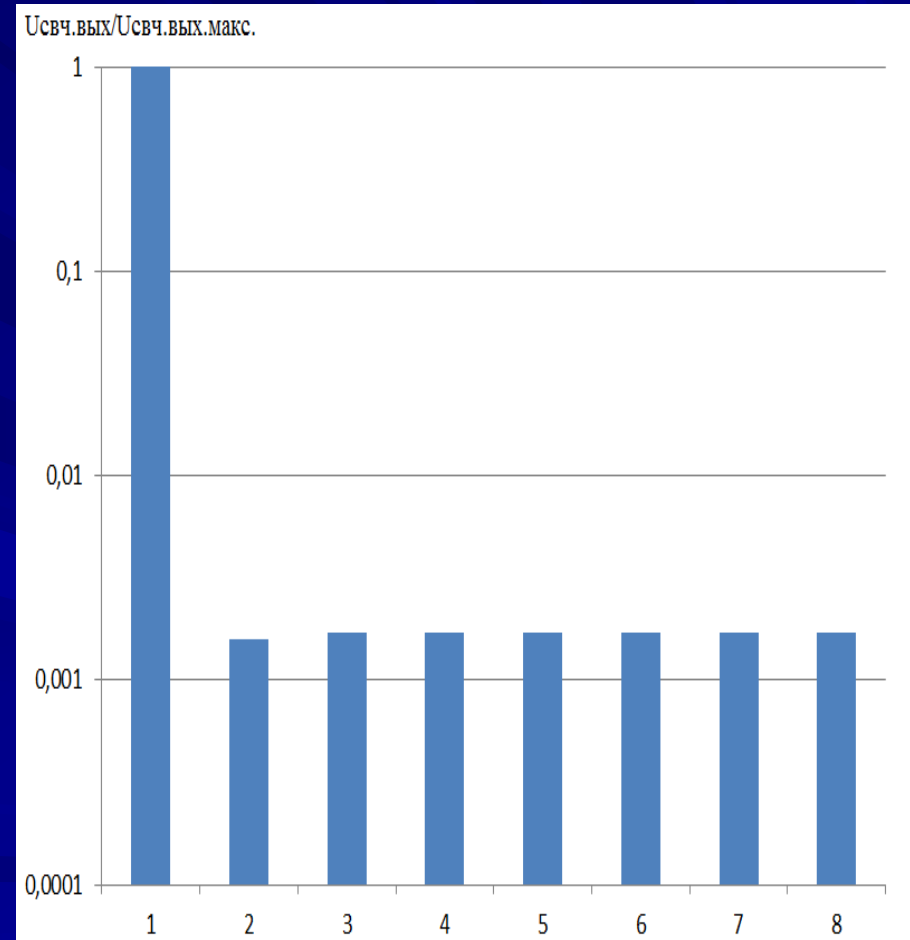
Огибающая с $U_{свч.вх} = U_{\pi/2}$



Нормированные спектры огибающих при $U_{\text{свч.вх}} = U_{\pi}/2$ и $U_{\text{свч.вх}} = U_{\pi}/5$

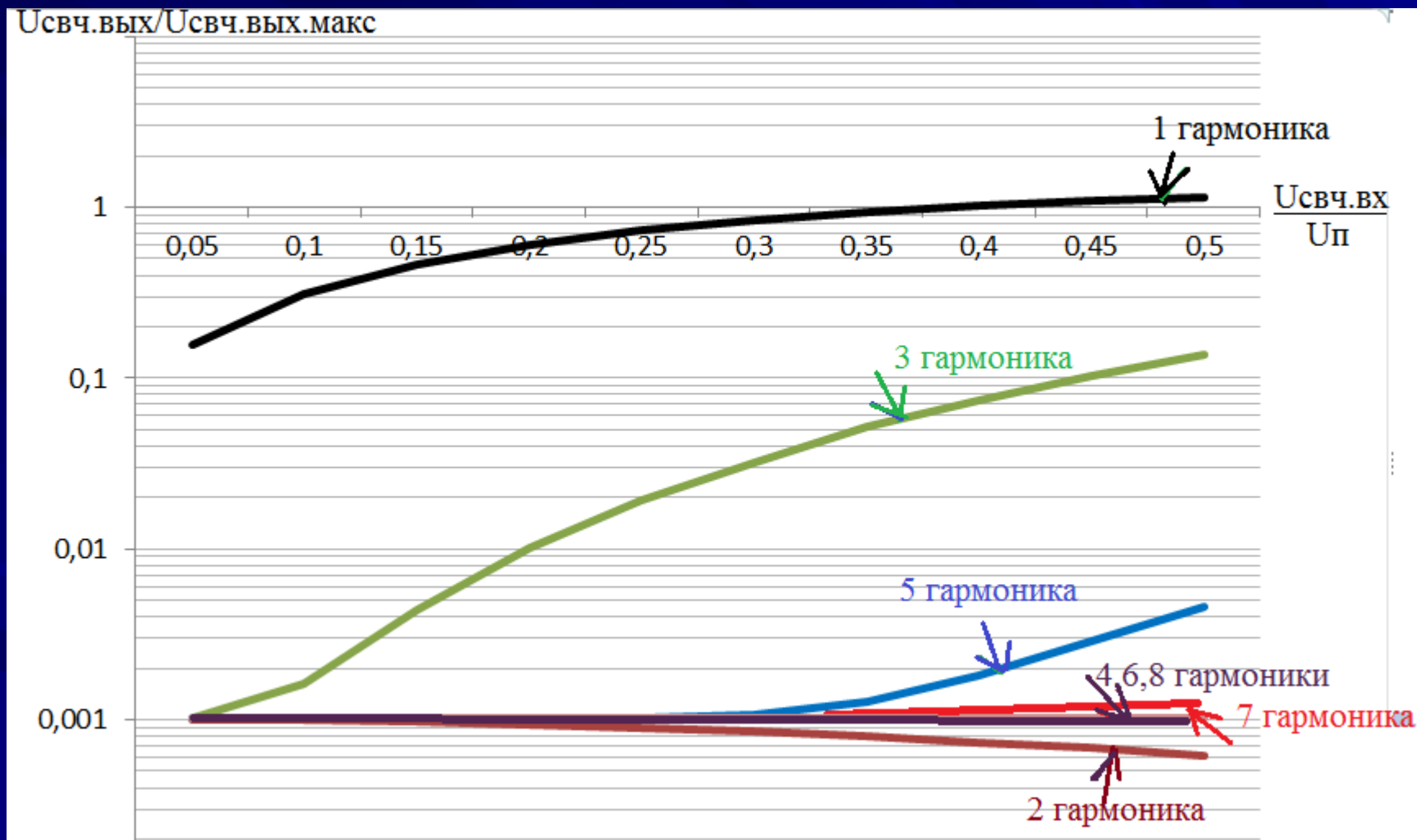


$U_{\text{свч.вх}} = U_{\pi}/2$



$U_{\text{свч.вх}} = U_{\pi}/5$

Зависимости амплитуд гармоник от величины соотношения $U_{\text{свч.вх}} / U_{\text{П}}$



Формула расчёта нелинейных искажений

$$\text{КНИ} := \frac{\sqrt{(U_2)^2 + (U_3)^2 + (U_4)^2 + \dots + (U_n)^2}}{U_1} \cdot 100\%$$

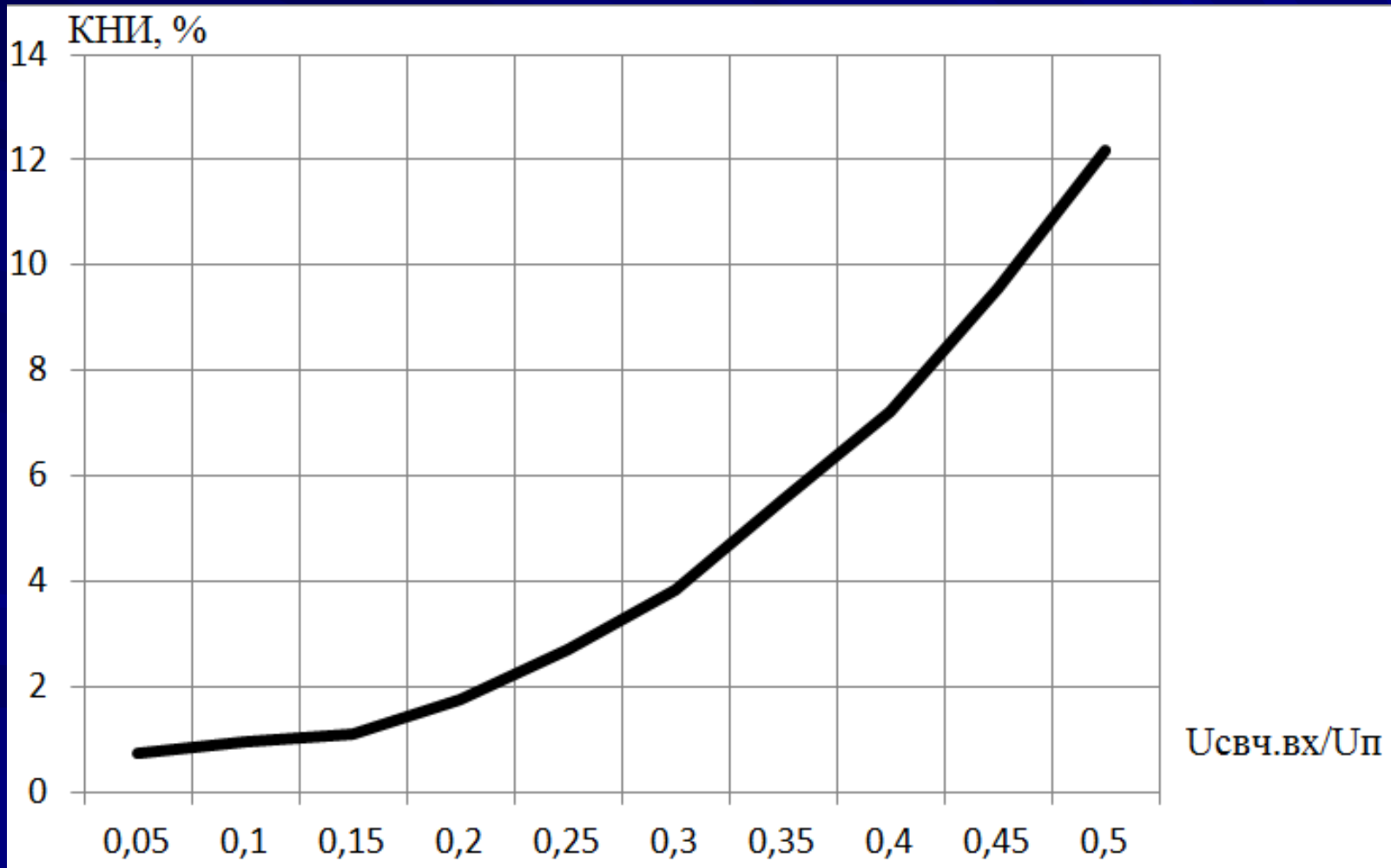
$$\text{КНИ} := \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^n (U_i)^2}}{U_1} \cdot 100\%$$

где:

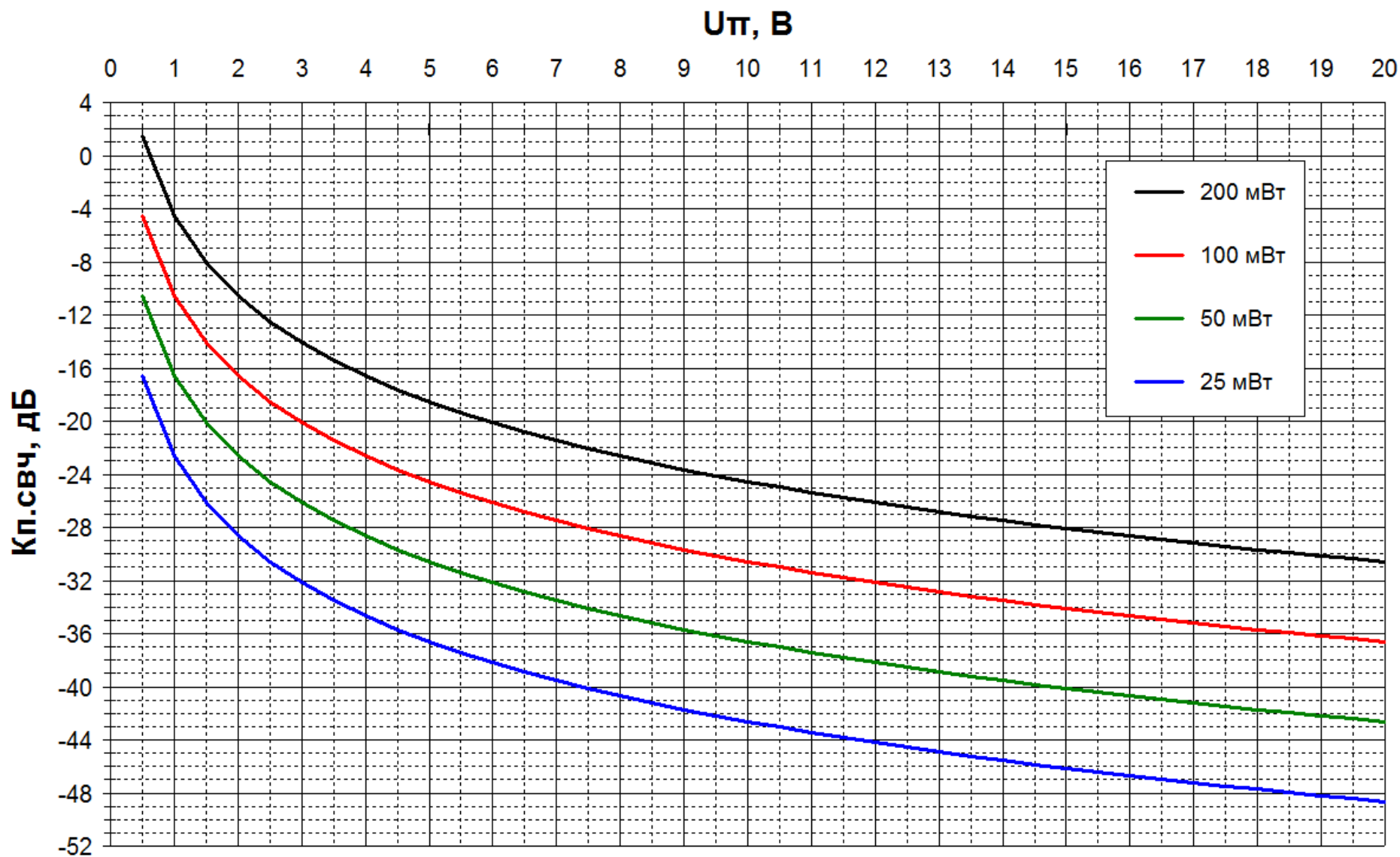
$U_2, U_3, U_4, \dots, U_n$ - амплитуды 2, 3, 4, ..., n гармоник соответственно

U_1 - амплитуда первой гармоники

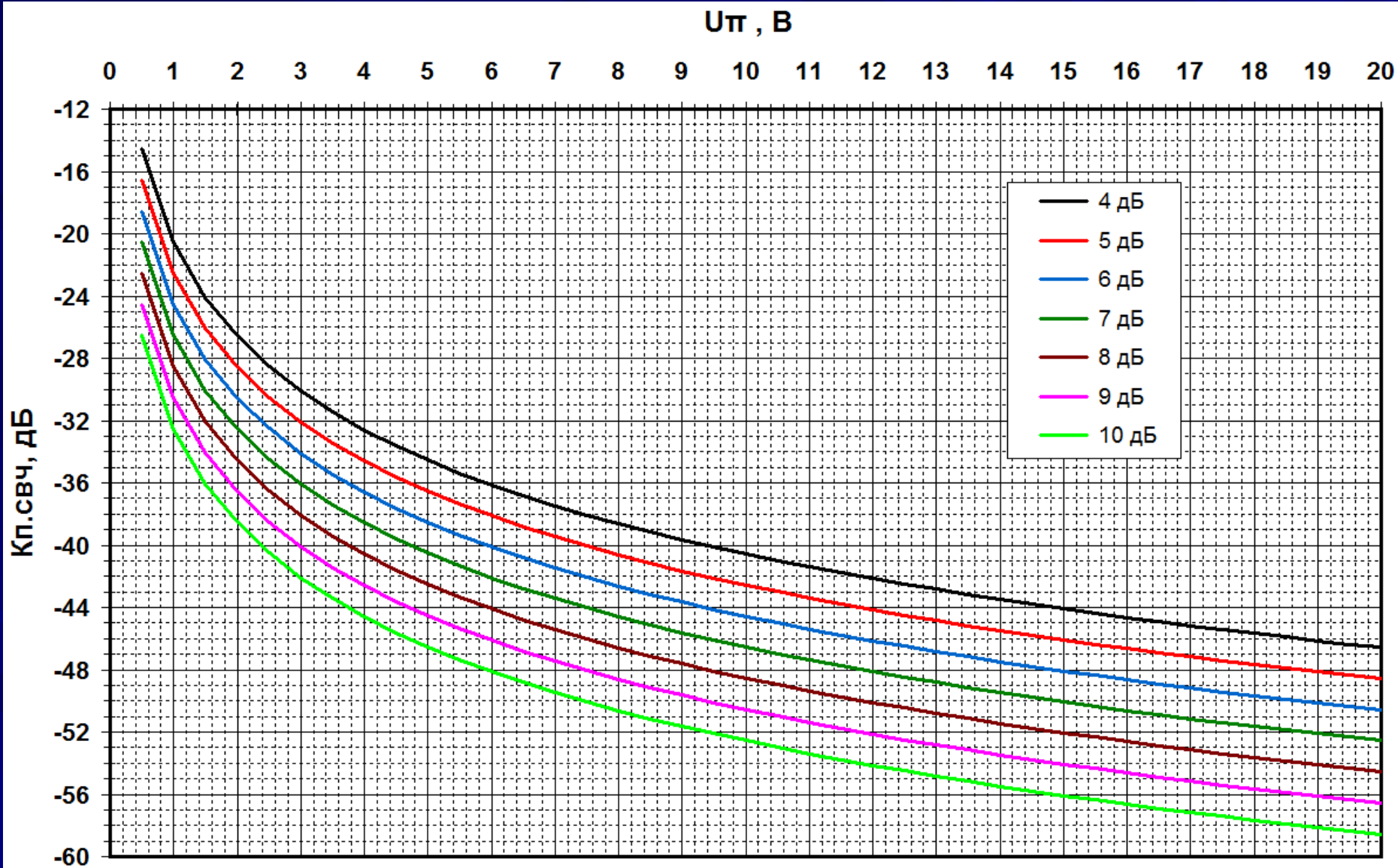
Зависимость нелинейных искажений от соотношения $U_{свч.вх} / U_{П}$



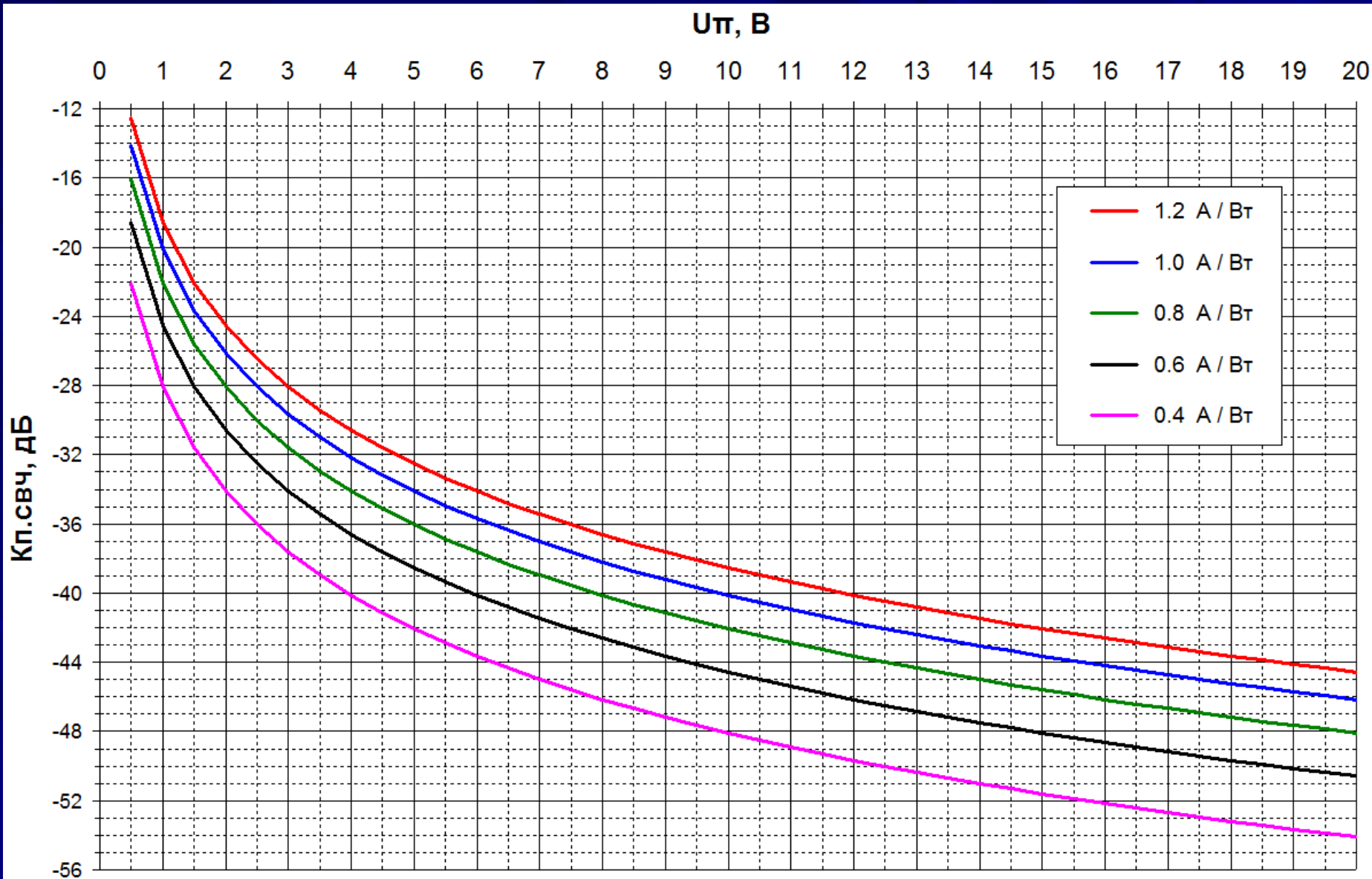
Зависимости Кп.свч от U_{π} при различных $P_{оп.1}$ ($K_{з.ммц} = 6$ дБ, $U_{свч.вх} = 7$ мВ, $P_{ф} = 0.6$ А / Вт)



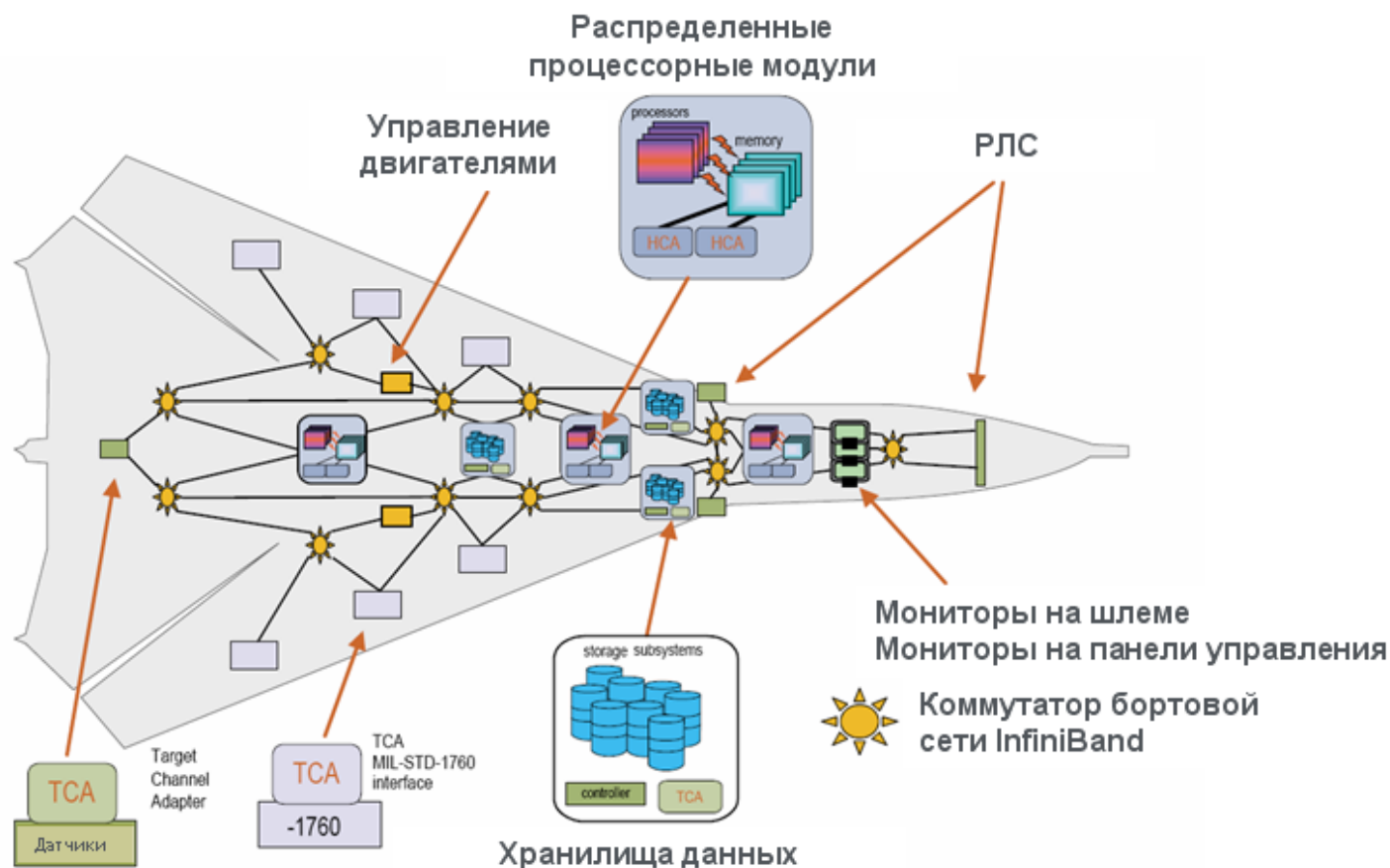
Зависимости $K_{п.свч}$ от $U_{п}$ при различных $K_{з.ммц}$ ($P_{оп.1} = 20$ мВт, $U_{свч.вх} = 7$ мВ, $\Pi\phi = 0.6$ А / Вт)



Зависимости $K_{оп.свч}$ от $U_{п}$ при различных $P_{ф}$ ($K_{з.ммц} = 6$ дБ, $U_{свч.вх} = 7$ мВ, $P_{оп.1} = 20$ мВт)



Зачем нужны аналоговые ВОЛС СВЧ с положительными коэффициентами передачи?



Взаимодействия уровня «подсистема-подсистема»

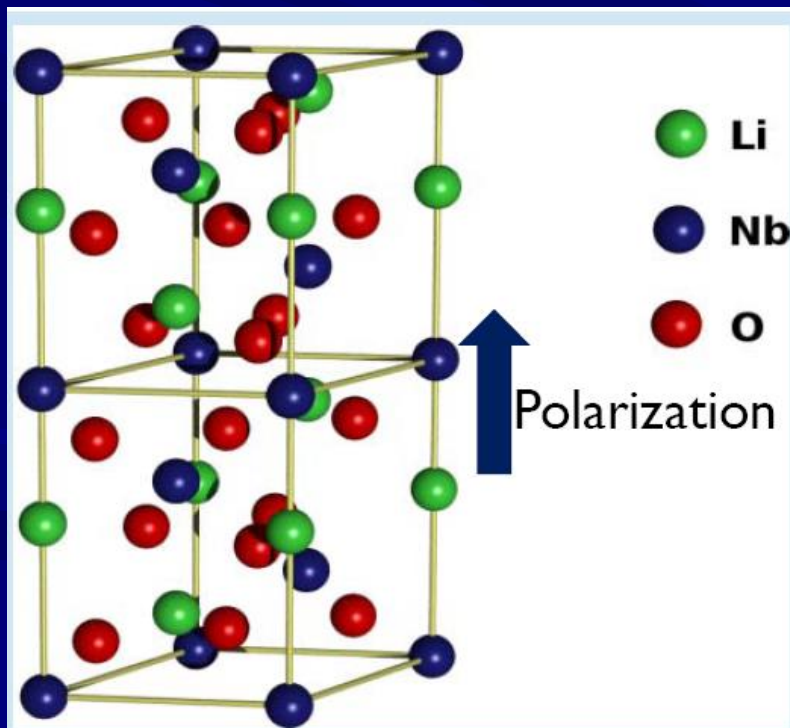
“полет на свете” - следующий этап после “полета на проводах”

***Спасибо
за внимание!***

***Конструктивная критика
принимается по адресу
ur-vol@yandex.ru***

Electro-Optic Effect

$$\Delta n = -\frac{1}{2}n_e^3 r_{ij} E$$



LiNbO₃