
Слайд №1

- Здравствуйте уважаемые коллеги!
 - Ещё раз поздравляю всех юбилеем.
 - И поскольку сегодня юбилей, я свой доклад решил построить в виде такой устремлённой в будущее ретроспективы.
-

Слайд №2

- Начну с Константина Сергеевича, который считал, что надо любить искусство в себе, а не себя в искусстве.
 - Но у меня не всегда получается следовать рекомендациям великих.
 - Вот и сейчас я не удержался - и сделал фотоподборку на тему «себя на семинаре».
-

Слайд №3

- Это я на втором семинаре
-

Слайд №4

- Это я на 13-м семинаре
-

Слайд №5

- Это я на - юбилейном - 50-м.
-

Слайд №6

- Это я на 52-м семинаре

Слайд №7

- Это я на 53-м семинаре

Слайд №8

- А это я уже на 74 семинаре

- Как видите, практически во всех своих докладах я морочил головы присутствующим неким экзотическим для наших мест разделом науки и техники, которую у нас ...

Слайд №9 - акустооптикой

- кто-то - по старинке - называет акустооптикой,

Слайд №10 - радиооптикой

- кто-то - радиооптикой,

Слайд №11 - СВЧ - оптикой

- кто-то - СВЧ - оптикой,

Слайд №12 - Сверхвысокочастотная оптоэлектроника

- кто-то - сверхвысокочастотной оптоэлектроникой,

Слайд №13 - радиофотоникой

- а последнее время - всё чаще - радиофотоникой.

Слайд №14 - микроволновая фотоника

- А кое-кто на Западе - предпочитает термин микроволновая фотоника.

- Я в своих докладах рассказывал и про основную элементную базу радиофотоники:

Слайд №15 - электро-оптические модуляторы и ЛДПМ

- электрооптические модуляторы, электро-поглощающие модуляторы и лазерные диоды с прямой модуляцией,

Слайд №16 - фотодетектор

- фотодетекторы,

Слайд №17 - источники оптического излучения

- различные источники оптического излучения - лазерные диоды, как правило,

Слайд №18 - различные оптические волокна

- различные оптические волокна.

Так же я рассказывал про наиболее распространённые радио-фотонные узлы:

Слайд №19 - радиофотонные тракты

- сверхширокополосные радиофотонные тракты, при помощи которых

Слайд №20 - Кп от полуволнового напряжения

- можно не только передавать с минимальными потерями - и даже с усилением - сигналы дециметрового, сантиметрового и миллиметрового диапазонов длин волн на чётр-знает-какие расстояния, но и

Слайд №21 - фазовая манипуляция передаваемых сигналов

- осуществлять фазовую манипуляцию передаваемых сигналов,

Слайд №22 - умножение частоты передаваемых сигналов

- осуществлять умножение частоты на 2 передаваемых сигналов,

Слайд №23 - детектор

- и даже детектировать радиоимпульсы, причём с более высокой энергетической эффективностью, чем в обычных диодных детекторах.

Слайд №24 - смеситель

- а так же - при небольшом усложнении радиопотонного тракта - осуществлять преобразование частоты сигналов дециметрового, сантиметрового и миллиметрового диапазонов длин волн.

Так же я рассказывал, что манипулируя только управляющими напряжениями и энергетическими режимами можно трансформировать этот тракт и в простую линию передачи с минимальными потерями, и в фазовый манипулятор, и в умножитель частоты, и в амплитудный детектор, и в преобразователь частоты.

Слайд №25 - автогенератор

- Так же рассказывалось о том, что если радиопотонный тракт закольцевать, да ещё в обратную связь засунуть оптический резонаторный диск - можно получить автогенератор сантиметрового или миллиметрового диапазонов длин волн с феноменальной чистотой спектра.

Слайд №26 - фильтры

- Так же рассказывалось о возможности реализации многоканального мультиплексера сантиметрового диапазона длин волн с полосами пропускания каналов от 200 МГц до 2 ГГц.

Слайд №27 - САПР

- Так же я рассказывал о некоторых эвристиках теоретической базы, при помощи которой всё это может рассчитываться «в рукопашную», и о существующих САПР, позволяющих проектировать как отдельные радиотонные устройства, так сложные радиотонные системы,

Слайд №28 - технологии

- а так же про те технологии, с помощью которых всё это можно реализовать.

- Ну и во время каждого выступления я постоянно твердил о том, что всё это ждёт своих инженеров - разработчиков, инженеров - исследователей, физиков - исследователей и даже физиков-теоретиков.

Слайд №29 - ОКР «Резонанс»

- Пик радиотонных исследований и проектных работ у нас в ЦКБА пришёлся примерно на 2013 год, когда мы выполняли ОКР по данной тематике на деньги МинПромТорга.

- Потом этой темой мы стали заниматься в режиме хобби.

- И хотя это хобби было достаточно дорогим - базовый комплект элементной базы тянул на несколько миллионов - нам удавалось как-то выкручиваться и проводить хоть какие-то экспериментальные исследования.

- А потом нам стало не хватать не только денег, но и самого главного компонента инициативной исследовательской работы - свободного времени, так как нас захлестнули проблемы в рамках «традиционной» техники СВЧ. И ни на что другое времени у нас не осталось.

- Ну, а кто сам ничего не делает, тот вынужден рассказывать, что делают другие.

- Вот я и рассказываю.

Слайд №30 - АЦП - Гайзенберг

- Во всех моих докладах на нашем семинаре - основным лейт-мотивом - проходила тема радиопотонных АЦП. С теоретической точки зрения частота дискретизации в таких АЦП, а так же разрешающая способность, ограничиваются только неопределённостями Гайзенберга.

Слайд №31 - АЦП - Гайзенберг - частота дискретизации и разрешающая способность.

- Ну, например, при частоте дискретизации порядка 840 ГГц разрешающая способность может достигать 12 бит и более.

- С моей точки зрения - *радиопотонные АЦП являются сверхзадачей радиофотоники.* И только одна эта сверхзадача уже даёт право на существование этому разделу науки и техники.

Слайд №32 - радиотонная приставка к АЦП

- Необходимо отметить, что в настоящий момент - пока не появились полноценные квантовые компьютеры хотя бы в виде «квази-коммерческого продукта» - строго говоря, речь идёт не о полноценных радиотонных АЦП, а о так называемых радиотонных приставках к обычным электронным АЦП, которые, в данном случае, используются как квантователи.

- Эти приставки - в настоящий момент - могут обеспечить оцифровку относительно высокочастотных сигналов - например, с частотами до 10 ГГц, с относительно высокой разрешающей способностью - например, до 10 бит.

- При такой оцифровке, как я уже сказал, в качестве квантователей могут использоваться,

- либо относительно низкочастотные электронные АЦП с тактовыми частами до 1 ГГц или чуть выше, но с относительно высокой разрешающей способностью - до 10 бит - например, такие

Слайд №33 - низкочастотный АЦП

- либо относительно высокочастотные электронные АЦП с тактовыми частами до 10 ГГц и выше, но с предельно низкой разрешающей способностью - практически 1 бит - например, такие.

Слайд №34 - высокочастотные АЦП

- Но дискретизация в обоих этих случаях осуществляется в соответствии с теоремой Котельникова - не менее 2-х выборок за период.

- Данные радиопотонные приставки могут выполнять следующие функции:

- дискретизация входных сигналов,

Слайд №35 - дискретизация

- разветвление фотонных продуктов дискретизации сигналов:

- *иногда - по частоте (длине волны),*

Слайд №36 - разветвление по частоте

- *иногда - простое деление по мощности между каналами,*

Слайд №37 - деление мощности

- выравнивание по времени фотонных продуктов дискретизации в каналах после разветвления,

Слайд №38 - выравнивание по времени

- иногда - проведение предварительных - аналоговых - процедур квантования фотонных продуктов дискретизации,

Слайд №39 - предварительное квантование

- и всегда - детектирования фотонных продуктов дискретизации:

- иногда - традиционное - с образованием последовательности электрических видеоимпульсов,

Слайд №40 - «нормальное» детектирование

- иногда - пиковое, с образованием «полки» постоянного напряжения.

Слайд №41 - пиковое детектирование

- Но во всех без исключения случаях - дело начинается с дискретизации.

Слайд №42 - дискретизатор

А для осуществления этой функции всегда используется один и тот же набор элементов: источник последовательности фотонных «радиоимпульсов» и электрооптический модулятор.

- Процесс дискретизации происходит следующим образом.

Слайд №43 - дискретизация

- На оптический вход электро-оптического модулятора поступает последовательность оптических «радиоимпульсов», а на электрический входной электрический сигнал, который и предстоит сначала дискретизировать, а потом - и совсем оцифровать.

- Ну а с оптического выхода модулятора идёт промодулированная последовательность оптических «радиоимпульсов».

- Если кому-то - в недобрый час - придёт в голову неудачная идея заняться экспериментами в этой области, то проблем с приобретением электро-оптического модулятора не возникнет.

- Прописная истина - если проблему можно решить за деньги - это не проблема.

Слайд №44 - модулятор GigOptix

- Если у вас есть пара лишних миллионов рублей - вы сможете - правда, с некоторыми проблемами «организационного» характера☺ - приобрести импортный модулятор Маха-Цандера на электро-оптических полимерах с верхней границей диапазона рабочих частот в районе 70 ГГц.

Слайд №45 - модулятор Thorlabs

- Если у вас есть лишних полмиллиона рублей, вы сможете - практически без проблем - приобрести импортный сегнетоэлектрический модулятор Маха-Цандера с верхней границей диапазона рабочих частот в районе 40 ГГц.

Слайд №46 - «простенький» модулятор до 20 ГГц

- Если у вас есть лишних 20 тысяч рублей - вы свободно найдёте в интернете коммерческое предложение на импортный модулятор с верхней границей диапазона рабочих частот в районе 10 - 12 ГГц.

Слайд №47 - модулятор ПАО «ЛНППК»

- А если вы хотите поддержать отечественного производителя, то можете обратиться в Пермскую Научно-производственную приборостроительную компанию, которая вам изготовит сегнетоэлектрический модулятор с верхней границей диапазона рабочих частот в районе 20 ГГц.

- И всё, что я перечислил выше, имеет статус обычной комплектации - такой же, как резисторы, конденсаторы, усилители и прочие покупные элементы.

Слайд №48 - статья М. Манка

- И все эти модуляторы могут использоваться для реализации блоков радиоэлектронных систем военного и специального назначения.

- А вот с источниками дискретизирующих оптических «радиоимпульсов» дело обстоит гораздо сложнее.

Слайд №49 - MLL

- Такие источники реализуются, как правило, в виде т.н. лазеров с синхронизированными модами - или **mode locked lasers**.

- Поэтому, в узких кругах отечественных специалистов в области фотоники и радиофотоники, такие лазеры называют «моделокнутыми»☺.

- Эти лазеры, как правило, реализуются либо ...

Слайд №50 - волоконные MLL

- в виде волоконных фемтосекундных лазеров с длительностью импульса от 50 фС и частотой повторения импульсов до 100 МГц,

Слайд №51 - твердотельные MLL

- либо в виде титан-сапфировых, хром-форстерритовых, иттербиевых и прочих фемтосекундных твердотельных лазеров с длительностью импульса от 12 фС и частотой повторения импульсов до 80 МГц,

- Как правило, все эти лазеры представляют собой лабораторные «настольные» приборы, которые имеют изрядные габариты, стоят кучу денег и нигде, кроме как в лабораторных условиях применяться не могут.

Такие приборы производятся как за рубежом, так и у нас в стране - и их можно «купить в магазине».

- Для нужд военной и специальной техники требуются полупроводниковые лазеры с синхронизированными модами. Но и их в магазине не купишь - ну не нужны они для реализации метеорологических локаторов☺.

- Думаю будет излишне говорить о том, что ничего подобного отечественными учреждениями не производится, и до последнего времени, даже не разрабатывалось.

- Однако, за последние пару лет наметились некоторые положительные подвижки. Вот, например, такие.

Слайд №52 - полупроводниковый MLL - Коннектор - оптика - ФизТех

- Или - вот такие ...

Слайд №53 - полупроводниковый MLL ИТМО

- с частотой повторения до 10 ГГц.

- Появление таких лазеров с синхронизированными модами открывает дорогу отечественным специалистам к созданию радиофотонных приставок, в которых может осуществляться «прямая» дискретизация сигналов с частотами до нескольких гигагерц.

- Так же в рамках этой же работы планируется разработать полупроводниковые фотодетекторы с частотой протектированного сигнала до 20 ГГц.

Слайд №54 - полупроводниковый фотодетекторы ИФП РАН

- Понятно, что наличие таких лазеров и фотодетекторов - есть условие необходимое, но недостаточное - для создания радиофотонной приставки к АЦП.

Слайд №55 - полупроводниковый чип

- Ещё надо создать полупроводниковые чипы со всеми этими разветвителями, насыщающимися поглотителями, фотодетекторами, одноканальными АЦП - как, например, этот, который был изготовлен американцами примерно 12 лет назад.

- И заканчивая этот небольшой обзор новостей из мира отечественной радиофотоники следует сообщить ...

Слайд №56 - электро-оптический полимер

- о проводимых работах в области электрооптических полимеров ...

Слайд №57 - малошумящие полупроводниковые лазеры,

- малошумящих полупроводниковых лазеров с распределённой обратной связью (DFB - Distributed Feedback Laser),

Слайд №58 - кластер Фотоника

- а так же о создании в Перми - на базе ПАО «ПНППК» - кластера волоконно-оптических технологий «Фотоника», в рамках которого, в числе прочего, планируется разрабатывать и производить фотонно-интегральные микросхемы - и, в том числе, для радиофотонных устройств.

Слайд №59 - документ правительства

- Так же необходимо отметить, что вся эта радиофотонная тематика уже вышла на самый высокий политический уровень.

- И потому сейчас самая большая проблема даже не в том, что не хватает денег - а в том, что практически отсутствуют требуемые специалисты - исполнители.

- Причём эти исполнители нужны не только в области создания элементной базы для радиофотонных изделий - а это, без всякого сомнения, сфера прикладных разделов физики и химии.

- Тут я говорю о специалистах в области «традиционной» радиоэлектроники дециметрового, сантиметрового и миллиметрового диапазонов длин волн, которые должны осмыслить открывающиеся перспективы с целью оптимального применения радиофотонных элементов в радиоэлектронных системах будущего.

- А это дело молодых. Так что я обращаюсь, прежде всего, к подрастающему поколению.

- Спешите умнеть - пока поляна свободна.

- Но скоро свободного места на ней станет намного меньше - ручеек кандидатских диссертаций по этой тематике потихоньку набирает силу. Их уже защищают в МИРЭА, в Казанском авиационном... Думаю, что в скором времени и сибирский регион присоединится.

- У меня всё, спасибо за внимание. Готов ответить на возникшие вопросы сейчас и обсудить данную тематику в кулуарах.

Слайд №60 - спасибо за внимание
