

НА ПЕРЕДОВЫХ РУБЕЖАХ НАУКИ

А.Н. Выставкин

Автору этих строк посчастливилось работать под непосредственным руководством Владимира Александровича Котельникова и совместно с ним, начиная с января 1960 года, при решении двух важных научных и научно-инженерных проблем в нашей стране: создание регенеративных полупроводниковых параметрических усилителей сверхвысоких частот (СВЧ) и развитие в широком масштабе применения вычислительной техники для автоматизации научных экспериментов. Главная черта в деятельности Владимира Александровича — находиться на наиболее интересных и наиболее ответственных направлениях развития науки и техники, работая с полной отдачей, проявилась и в работе над названными выше двумя научными и научно-инженерными проблемами.

Регенеративные полупроводниковые параметрические усилители СВЧ

Одной из центральных и постоянных проблем радиотехники и электроники, как известно, является создание приемников во всех диапазонах радиочастот, обладающих наибольшей чувствительностью, естественно, при требуемых других высоких характеристиках: полосе пропускания и/или усиления и перестройки, динамическом диапазоне, амплитудной, частотной и фазовой стабильности и др. В диапазоне СВЧ предел чувствительности приемников, описываемый их шумовой температурой $T_{ш}$, определяется либо шумовой температурой антенны, либо квантовым пределом чувствительности. Шумовая температура антенны на сравнительно низких частотах СВЧ-диапазона в большинстве случаев составляет $T_a \approx 20...30$ К и в пределе $T_a \approx 3$ К, что соответствует шумам реликтового фона Космоса для охлаждаемой антенны. При ограничении чувствительности приемной системы шумами антенны шумовая температура приемника должна составлять $T_{ш} \leq 0,3 T_a \approx 6...9$ К при усилении входного каскада, обеспечивающем подавление шумов последующего каскада приемного устройства. Квантовый предел температурной чувствительности, проявляющийся на частотах, соответствующих соотношению $h\nu \gg kT$, т.е. в миллиметровом и более коротковолновых диапазонах волн [1], составляет $h\nu/k$. Шумовая температура $T_{ш}$ идеального приемника в этом случае должна быть близкой к этой величине.

Существенный отрезок истории в развитии приемников СВЧ составили охлаждаемые усилители на полупроводниковых диодах и квантовые усилители, или лазеры, работающие принципиально при очень низких температурах, в качестве входных каскадов СВЧ приемных систем. Низкая шумовая температура приемных устройств в обоих случаях достигается за счет низкой шумовой температуры входного каскада.

В 1958 г. А. Улиром была опубликована работа [2], где сообщалось, что с помощью так называемых параметрических усилителей на полупроводниковых диодах с периодически изменяющейся емкостью возможно получение шумовой температуры входного каскада приемника СВЧ, существенно более низкой, чем его физическая температура. Уже первые полупроводниковые параметрические усилители (ППУ) в длинноволновой части сантиметрового диапазона имели собственную шумовую температуру меньше его физической температуры, рав-

ной комнатной, т.е. $T_{ш} \leq 300$ К. Этот факт оказался для многих совершенно неожиданным и положил начало эпохе параметрических усилителей.

Принцип регенеративного параметрического усиления электрических колебаний в колебательном контуре с периодически изменяющейся реактивностью (индуктивностью или емкостью) был предложен Л. И. Мандельштамом и Н. Д. Папалекси в 30-е годы прошлого столетия [3]. В 1954 г. Б.М. Вулом было предложено использовать полупроводниковый диод при отрицательном смещении в качестве конденсатора, перестраиваемого электрическим смещением [4, 5]. После работы А. Улира стало ясно, что регенеративные параметрические усилители, использующие периодически изменяющуюся емкость полупроводникового диода, открывают возможность резко поднять потенциал систем радиосвязи, радиолокационных станций, систем радиуправления, систем теплового радиовидения, в том числе радиотелескопов, существенно улучшить характеристики различной радиоизмерительной аппаратуры и т.п.

При разработке ППУ и приемных устройств на их основе встал целый ряд вопросов:

— фундаментального плана: каков механизм шума и предельные возможности по уровню шума, как зависит шум от материала диода и его физической температуры; каковы частотные свойства (диапазон усиления и механической и электронной перестройки по частоте), способы расширения полосы усиления и предельные возможности этого расширения, амплитудная, частотная и фазовая стабильность, способы обеспечения высокой стабильности, динамический диапазон ППУ и способы его увеличения и др.;

— конструкторско-технологического плана: какова наилучшая технология изготовления полупроводниковых диодов для ППУ; как наилучшим образом включить полупроводниковый диод в СВЧ-структуру ППУ; как сконструировать приемный блок, включая генератор накачки, развязывающие устройства, связь с последующими каскадами и т.п.;

— о наилучшей методике измерения чувствительности и других характеристик ППУ;

— применения в различных радиотехнических системах и комплексах с учетом особенностей радиосигналов, имеющих в них место.

Для скорейшего решения перечисленных вопросов, учитывая названные выше важные области применения маломощных усилителей СВЧ, Комиссия Совета Министров СССР по военно-промышленным вопросам издала в 1959 г. постановление, где была определена соответствующая целевая комплексная программа. Руководителем этой программы был назначен академик Владимир Александрович Котельников, а головной организацией был определен Институт радиотехники и электроники АН СССР. Для выполнения функции головной организации в составе ИРЭ была создана лаборатория полупроводниковых параметрических усилителей, руководство которой принял на себя Владимир Александрович, а заместителем заведующего назначил автора этих строк. Таким образом, в Институте появилась еще одна лаборатория В.А. Котельникова: первой осталась его лаборатория радиолокационных исследований планет. С 1963 г. автор этих строк был назначен заведующим этой лабораторией.

Участниками программы были также определены Проблемная радиофизическая лаборатория (ПРФЛ) Московского государственного педагогического института (в настоящее время — Московский педагогический государственный университет), более пятнадцати научно-исследовательских институтов радио-

технической и электронной промышленности и ряда других ведомств. Для всех участников программы в ИРЭ был организован постоянный научный семинар, которым руководил В.А. Котельников. Научный семинар по проблемам ППУ с более широким составом участников действовал также и в ПРФЛ, им руководил профессор В.С. Эткин. По теме «ППУ-1», выполнявшейся по названной выше программе в ИРЭ в течение трех лет под руководством В.А. Котельникова, был выпущен отчет более чем в десяти томах. В нем содержались ответы практически на все перечисленные выше вопросы по проблеме создания ППУ СВЧ. По существу, этот отчет представлял собой основы теории и инженерных методов расчета ППУ СВЧ. Аналогичный отчет был выпущен также и ПРФЛ, оба отчета были хорошим взаимным дополнением. Здесь следует отметить, что в условиях необходимости быстрого развития работ по ППУ требовались хорошие руководства для инженеров-конструкторов по этой проблеме при отсутствии таковых в литературе, по крайней мере, в 1960–1962 гг. Оперативный выпуск и рассылка отчетов основным участникам работ по проблеме ППУ способствовали быстрому развитию работ по этой проблеме в нашей стране. Буквально в первые год-два были созданы и опробованы первые ППУ СВЧ в наземных станциях спутникового телевидения, тропосферной и спутниковой связи, в станциях обнаружения и наведения, в радиотелескопах. Одна из разработок заслуживает особого упоминания. Одной из организаций-участниц программы на основе лабораторного макета ППУ, рассчитанного и изготовленного в ИРЭ по договору с этой организацией в рамках программы, был рассчитан и изготовлен экспериментальный макет ППУ для станции обнаружения и наведения под городом Свердловском. Это повысило радиолокационный потенциал станции примерно вдвое и дало возможность сбить первого мая 1960 г. известный американский самолет-шпион У-2, ведомый Пауэрсом, что не удавалось сделать раньше. Это положило конец подобным полетам над нашей страной.

Первый том упомянутого выше отчета по теме «ППУ-1» под названием «Теория параметрических усилителей в схемах с циркуляторами» был написан лично В.А. Котельниковым [6]. В основу теоретических построений в названном томе были положены схемы замещения реальных СВЧ-конструкций и методы теории цепей с сосредоточенными постоянными. Хотя эти методы к анализу СВЧ-конструкций с размерами, много большими длины волны, как, например, в случае ППУ на основе СВЧ-резонатора с включенным в него полупроводниковым диодом, в полной мере не применимы и таким способом удастся решить не все вопросы, но, как оказалось, они позволили ответить на большое число принципиальных вопросов. Этот том является хорошим введением к остальным томам отчета. Материал отчета не был широко опубликован. Поэтому он в полном объеме помещен в первом томе, «Радиофизика, информатика и телекоммуникации», трехтомного издания избранных трудов академика В.А. Котельникова.

Развитие теории ППУ

Идеи, заложенные в процитированном первом томе отчета по теме «ППУ-1», нашли развитие в работах лаборатории В.А. Котельникова по параметрическим полупроводниковым усилителям СВЧ. Соответствующие результаты исследований [7–10] следующие:

- развиты методы расширения полосы усиления ППУ, предложены методы перестройки ППУ;
- рассмотрены вопросы стабильной работы ППУ, включая методы их стабилизации;
- изучены вопросы построения волноводно-коаксиальных конструкций ППУ с максимально высокими характеристиками;
- теоретически и экспериментально изучены вопросы построения ППУ миллиметрового диапазона волн.

Существенным вопросом для понимания механизма работы ППУ коротковолновой части сантиметрового и миллиметрового диапазонов волн и получения их высоких характеристик является вопрос включения полупроводникового диода в объемный СВЧ-резонатор усилителя, который был поставлен в первом томе отчета. В реальном усилителе СВЧ из-за его объемной природы электрическая энергия запасается не только в полупроводниковом диоде, но и в объеме резонатора. Это обстоятельство учитывается коэффициентом включения диода в резонатор [8, 9]:

$$\kappa = \frac{\int_{\Delta V} E_r^2 dV}{\int_V E_r^2 dV}, \quad (1)$$

где E_r — электрическая составляющая электромагнитного поля в резонаторе, включая диод; ΔV — объем запорного слоя (емкости), в котором присутствует электрическая составляющая поля; V — объем резонатора, включая объем запорного слоя.

Коэффициент включения κ (1) есть не что иное, как отношение электрической энергии поля в емкости запорного слоя диода к электрической энергии во всем резонаторе, включая запорный слой диода. Коэффициент включения (1) существенным образом влияет на характеристики усилителя: чем он меньше, тем меньше полоса усиления и полоса электронной перестройки. Идеальным является случай, когда $\kappa \rightarrow 1$.

Развитый электродинамический подход позволяет рассматривать и исследовать ППУ как резонатор, включенный в волноводный или волноводно-коаксиальный тракт с применением всех известных электродинамических методов исследований таких СВЧ-структур. Развитый подход дает также возможность рассматривать коэффициент включения диода в конкретный резонатор и с его учетом — характеристики усилителя [10]. Такой подход дает возможность понять влияние геометрии СВЧ-камеры усилителя на коэффициент включения диода и, далее, на характеристики усилителя. Путь увеличения коэффициента включения диода — это минимизация объема СВЧ-камеры усилителя с целью снижения объемов, где запасается электрическая энергия поля помимо запорного слоя диода. Развитые представления и методы расчета позволили сконструировать параметрические диоды и СВЧ-камеры усилителей с максимально возможными коэффициентами включения κ , что дало, в свою очередь, возможность получить максимально широкие полосы усиления и другие высокие характеристики усилителей и диодов для них. Они были реализованы на изготовленных экспериментальных макетах усилителей. Их конструкции были разработаны на основе изложенных выше представлений, применение которых особенно важно в коротковолновой части СВЧ-диапазона. Усилитель был испытан в радиолокаторе посадочной системы самолета. В любых окружающих условиях он обеспечивал хорошую видимость посадочной полосы. Кроме того, он был

испытан на радиотелескопе РТ-22 Крымской астрофизической обсерватории АН СССР и позволил наблюдать более слабые астрономические объекты по сравнению с другими приемниками 8-мм диапазона.

Важный вклад в развитие теории ППУ и методов их конструирования внесла и ПРФЛ МГПУ, руководимая в то время В.С. Эткиным. Основные результаты этой лаборатории по полупроводниковым параметрическим усилителям изложены в [11]. Большой вклад в теорию и технику охлаждения полупроводниковых параметрических усилителей внес коллектив, которым руководил в НИИ «Сатурн» в Киеве В.Н. Алфеев. Шумовая температура ППУ уменьшается пропорционально их физической температуре. Результаты этих работ изложены в [12]. Весьма существенны и результаты других авторов.

Дальнейшее развитие работ по полупроводниковым параметрическим усилителям СВЧ в стране

Среди важнейших результатов, полученных в последующие годы после завершения создания теоретических основ ППУ СВЧ в соответствии с упомянутой выше программой, следует отметить освоение электронной промышленностью технологических методов получения эпитаксиальных структур из арсенида галлия и изготовление на их основе параметрических диодов с барьером Шоттки. Важным было также создание в ПРФЛ МГПУ и ряде институтов радио- и электронной промышленности интегральных конструкций приемных камер и волноводных структур усилителей, включая вторые каскады приемников на основе охлаждаемых транзисторных усилителей с температурой шума до 50К и ниже, создание экономичных и малогабаритных охлаждающих устройств до температур азотного и водородного уровней и всех остальных необходимых электронных блоков сверхвысокой, промежуточной и низкой частот.

На описываемом этапе определяющую роль сыграла также программа, принятая в 1963 году по инициативе министра электронной промышленности СССР А.И. Шокина, в соответствии с которой в Киеве был создан научно-исследовательский институт «Сатурн» во главе с В.Н. Алфеевым с экспериментальным и серийным заводами, а также цеха в производственных подразделениях НИИ «Сапфир» в Москве и НИИ «Салют» в Горьком (ныне — Нижний Новгород), в которых было развернуто производство названной выше элементной базы полупроводниковых параметрических усилителей СВЧ. Важной также была организация прикладных лабораторий и производственных участков для изготовления приемных систем СВЧ с ППУ на входе в Московском НИИ приборостроения, НИИ радио, Институте космических исследований АН СССР, Главной астрономической обсерватории АН СССР (впоследствии перешедшей в состав Специальной астрофизической обсерватории АН СССР).

Вследствие всего сказанного созданные на основе ППУ приемники СВЧ, включая приемники миллиметрового диапазона, начиная с 1962–1963 гг., обеспечили и долгое время (25–30 лет) продолжали обеспечивать высокий потенциал важнейших радиотехнических комплексов страны в таких областях, как спутниковое телевидение (включая телевизионное вещание за рубежом), спутниковые и тропосферные системы связи Министерства обороны и Министерства связи, а также наземных, самолетных и спутниковых радиолокационных станций, систем космической разведки и целеуказания, радиотелескопов и самолетных радиометрических лабораторий.

Как это часто бывает в технике, к середине 90-х гг. прошлого столетия ведущее положение у полупроводниковых параметрических усилителей СВЧ, по крайней мере, до самых коротких миллиметровых волн, постепенно отобрали усилители на неохлаждаемых и охлаждаемых полевых транзисторах

В 1982 году ряд ведущих специалистов страны за создание научных и инженерных основ полупроводниковых параметрических усилителей сверхвысоких частот был выдвинут на соискание Государственной премии СССР. Среди выдвинутых и поддержанных научной общественностью кандидатур были академики В.А. Котельников и Б.М. Вул. Ссылаясь на многие полученные до этого награды, В.А. Котельников из состава кандидатов на премию вышел. Последовал его примеру и Б.М. Вул. В 1983 г. премия была присуждена десяти (из, максимум, двенадцати, как требовало положение о премии) оставшимся ученым и инженерам. По договоренности коллектива соискателей два места в списке награжденных остались не занятыми.

Автоматизация научных исследований

К середине 60-х гг. прошлого столетия развитие вычислительной техники, включая интерфейсы для связи с объектами управления и соответствующее программное обеспечение, привело к новым возможностям. Эти возможности заключаются в создании промышленных, транспортных, обслуживающих и других комплексов, в которых программное обеспечение автоматически осуществляет следующие действия в отношении управляемого объекта:

— сбор данных о состоянии объекта управления за определенный период времени и обработка этих данных с целью принятия решения о дальнейших действиях,

— принятие решения об осуществлении дальнейших операций в работе объекта в соответствии с заданной программой и целью работы объекта,

— выдача команд управляемому объекту по осуществлению этих операций,

— ведение протокола выполнения всех операций и изменении состояния объекта в соответствии с выполненными операциями,

— отображение для оператора и документирование всей необходимой информации в виде таблиц, графиков, чертежей, изображений и т.п. о выполненных операциях и соответствующих изменениях состояния объекта,

— сравнение полученных результатов управления с математической моделью поведения объекта, полученной заранее с помощью вычислительной машины,

— выдача, в случае необходимости, ручных команд от оператора для задания/изменения условий выполнения дальнейших операций.

Естественно, что ученые заинтересовались перечисленными возможностями с целью повышения производительности труда при проведении экспериментальных исследований и повышения качества проводимых экспериментов, а также для разработки новых методик исследований, которые предоставляют вычислительные методы, но которые трудно или невозможно реализовать без применения вычислительной техники.

Первыми применять вычислительную технику в экспериментальных исследованиях начали ученые-ядерщики, у которых, как известно, установки для проведения экспериментов весьма сложны. Они то были и в первых рядах разработчиков перечисленных выше возможностей. По мере появления мини-ЭВМ

и более простых интерфейсов вычислительная техника начала применяться во все новых видах экспериментальных исследований и во все большем числе лабораторий. В отдельных институтах Академии наук СССР не ядерного профиля, в том числе и в Институте радиотехники и электроники, работы по применению вычислительной техники в экспериментальных исследованиях, начались сразу вслед за ядерщиками. Энтузиастами этих работ в ИРЭ АН СССР были Т.М. Лифшиц, А.Я. Шульман, А.Я. Олейников и автор этих строк. За развитием этих работ в ИРЭ внимательно следил и поддерживал их директор Института В.А. Котельников.

К сожалению, в нашей стране процесс внедрения вычислительной техники в экспериментальные исследования шел не так быстро, как в других странах. Это было связано в основном с отсутствием отечественных промышленно выпускаемых мини-ЭВМ и соответствующих интерфейсов и, как следствие, отсутствием у ученых достаточного опыта построения экспериментальных комплексов с входящими в их состав средствами вычислительной техники и применения их.

На Общем собрании Академии наук СССР в 1966 году, академик В.А. Котельников, делая краткий обзор результатов исследований по проблемам, курируемым Отделением общей и прикладной физики, и характеризуя тенденции их развития, в заключении сказал: «Изложенное мной охватывает лишь небольшую часть физики и космических наук. Причем я брал не самые быстро растущие области. Тем не менее, можно констатировать продолжающееся нарастание темпов развития физики. Выдержать этот темп, не отстать от мирового темпа — сложная задача. Чтобы ее выполнить, надо сделать много. Укажу только, что, прежде всего, необходимо автоматизировать экспериментальные исследования и обработку их результатов. Это очень важное дело, требующее инициативы ученых, усилий конструкторов и, конечно, дополнительных средств» [14].

Позже, исходя из понимания сложившейся ситуации, Президиум Академии наук СССР поставил вопрос о скорейшем преодолении образовавшегося отставания. Об этом всерьез было заявлено в отчетном докладе Президента АН СССР академика М.В. Келдыша и выступлениях академиков В.М. Глушкова, А.А. Дороницына, В.А. Котельникова и других на Общем собрании АН СССР 3–6 февраля 1970 г. [13]. Была поставлена задача скорейшего развития работ по автоматизации научных исследований на основе применения вычислительной техники.

Вскоре после названного выше Общего собрания АН СССР Постановлением Президиума АН СССР был образован Совет по автоматизации научных исследований при Президиуме АН СССР. Среди главных задач перед Советом были поставлены такие задачи:

— освоение мирового опыта по созданию автоматизированных систем научных исследований (АСНИ), в первую очередь, экспериментальных исследований, в различных областях науки и выработка соответствующих концепций построения и применения таких систем; это должны были делать секции Совета по областям науки, образованные в соответствии с отделениями Академии наук;

— разработка типовых технических средств автоматизированных систем научных исследований и их программного обеспечения; для этого в составе Совета были образованы еще и секция технических средств, и секция программного обеспечения.

В состав секций и Совета в целом вошли ученые и инженеры, уже имевшие какой-то опыт по созданию и применению АСНИ. Президиум АН

СССР назначил Председателем Совета Вице-президента АН СССР академика В.А. Котельникова. Как было сказано на заседании Президиума АН СССР при обсуждении кандидатуры Председателя Совета, была принята во внимание теорема В.А. Котельникова о выборках, т.е. известная теорема, выведенная им в 1933 г. Это — теорема о представлении непрерывной (теперь это называется аналоговой) величины в виде дискретной последовательности выборок из аналоговой величины (теперь это называется цифровой последовательностью) с обеспечением заданной точности. Теорема лежит в основе, в частности, конструирования аналого-цифровых преобразователей, измеряющих аналоговые сигналы с датчиков измерительной установки и преобразующих их в цифровую форму. Сигналы в цифровой форме затем поступают в память вычислительной машины для последующей обработки и далее в соответствии с алгоритмом работы установки. Кроме того, сыграло роль то обстоятельство, что Владимир Александрович являлся директором Института радиотехники и электроники АН СССР, который вместе со своим СКБ мог взяться за разработку цифровых и других электронных блоков для АСНИ.

По инициативе В.А. Котельникова в ИРЭ РАН был создан отдел автоматизации научных исследований. Заведующим был назначен автор данных строк. Одновременно он также был назначен председателем физической секции Совета по автоматизации научных исследований АН СССР. В качестве функций отдела были определены развитие концепции автоматизации научных исследований, в первую очередь, экспериментов малого масштаба, которые составляли в АН СССР, ВУЗах и других организациях подавляющее число. В задачи отдела входили также функции разработки конкретных АСНИ в лабораториях ИРЭ совместно с этими лабораториями.

Поскольку системы автоматизации экспериментов в качестве одной из непрелюбимых и определяющих функций имеют высокоточные измерения различных физических величин, в первую очередь, наиболее слабых, а именно, на уровне шума и ниже, во всех таких системах первейшее значение уделяется созданию измерительных трактов с минимальным уровнем шума и применению способов обработки измеренных данных, обеспечивающих максимально возможное отношение сигнала к шуму. Такие измерительные тракты имеют определяющее значение, в частности, в измерительных системах с приемниками радиосигналов на входе. По этой причине разработки новых приемников радиосигналов в различных лабораториях Института, например в лаборатории приемников СВЧ, о которой говорилось в предыдущем разделе, велись и ведутся в тесном сотрудничестве с отделом автоматизации научных исследований. Этим работам большое значение придавал Владимир Александрович: одно из направлений его научной работы был прием и обработка сигналов на уровне ниже уровня шума.

По инициативе Совета по АНИ и его Председателя, В.А. Котельникова, практически в первый год существования Совета была принята совместная программа АН СССР и Министерства приборостроения, средств автоматизации и систем управления СССР (Минприбор) по разработке и производству измерительно-вычислительных комплексов на основе мини-ЭВМ и интерфейсной аппаратуры на основе международного стандарта КАМАК для построения систем автоматизации широкого класса научных экспериментов. Большая работа по формированию комплекта модулей, написанию программ-драйверов для них, подготовке их документации для передачи в производство, написанию системного программного обеспечения была выполнена отделом автоматизации АНИ и СКБ ИРЭ совместно с рядом других институтов АН СССР и Институтом

электронных управляющих машин Минприбора. С 1974–75 гг. такие комплексы начали выпускаться Минприбором, и уже к 1985 году их было выпущено свыше трех тысяч штук, что существенно улучшило ситуацию в стране, включая Академию наук, по созданию и применению автоматизированных систем научных исследований [15]. Выбор именно международного стандарта КАМАК обеспечил совместимость модулей, выпускаемых Минприбором и большим числом фирм в различных странах мира. Сама концепция КАМАК очень хорошо подошла в качестве основы концепции построения АСНИ.

В 1985 году большая группа специалистов страны была удостоена Премии Совета Министров СССР за разработку и организацию производства интерфейсной аппаратуры в международном стандарте КАМАК и измерительно-вычислительных комплексов на их основе для автоматизированных систем научных исследований.

В данном разделе следует упомянуть об очень важной разработке, выполненной в 1982–1983 гг. в Институте электронных управляющих машин Минприбора СССР под руководством Б.Я. Фельдмана и Институте радиотехники и электроники АН СССР под руководством О.Н. Ржиги и Ю.Н. Александрова (лаборатория радиолокационных исследований планет В.А. Котельникова) при посильной помощи отдела автоматизации научных исследований (Е.В. Панкрац и Ю.В. Обухов). Это — специализированный процессор быстрого преобразования Фурье с производительностью 20 млн операций в сек. Этот процессор был применен в 1983 г. для обработки радиолокационных сигналов от поверхности планеты Венера, посылаемых со спутников «Венера-15» и «Венера-16», и формирования изображения поверхности планеты.

К концу 80-х — началу 90-х годов прошлого столетия в связи с развитием микроэлектроники и методов программирования цифровых устройств появились более совершенные и эффективные ЭВМ — персональные ЭВМ, интерфейсные устройства и системы, которые успешно заменили мини-ЭВМ, аппаратуру КАМАК и системы на их основе во многих областях исследований, в основном, малого и среднего масштаба. Интеграция и программирование АСНИ стали доступными многим и наличие специальных отделов автоматизации стало казаться не нужным. Накопленный же опыт работы и квалификация сотрудников отдела автоматизации в ИРЭ, как, впрочем, и в некоторых других организациях, стали в новых экономических условиях основой самостоятельных компаний и предприятий, специализирующихся на разработке и выпуске автоматизированных систем, не только, и не столько, для научных организаций, а для промышленных организаций самого разного профиля. Среди таковых хотелось бы особо отметить весьма успешно работающее в качестве самостоятельной промышленной фирмы ООО «Лаборатория автоматизированных систем», возглавляемую директором кандидатом физико-математических наук М.И. Перцовским, заведующим по совместительству действующей до сих пор лабораторией бывшего отдела автоматизации научных исследований ИРЭ РАН [16].

Школа В.А. Котельникова «Сверхчувствительные матричные приемные системы терагерцового диапазона»

Существует не одна школа Владимира Александровича Котельникова. Это, прежде всего, школа по радиоастрономии, школа по космическим исследованиям с применением СВЧ методов, школа по теоретической радиотехнике.

Здесь пойдет речь еще об одной школе, связанной с тем, чему посвящена данная статья.

Владимир Александрович на различных конференциях, ученых советах, важных заседаниях в Академии наук, семинарах и т.д. неоднократно формулировал в качестве одного из важнейших направлений развития радиотехники и электроники, среди прочих, направление, состоящее из двух составляющих:

— поиск и применение новых физических явлений и технологий, ведущих к повышению рабочих частот, вплоть до терагерцового диапазона, чувствительности, полосы принимаемых частот, быстродействия и других характеристик приемных систем сверхвысоких частот,

— поиск и применение новых схемотехнических способов приема сигналов, включая компьютерные методы преобразования и обработки сигналов, передаваемых с помощью СВЧ радиоволн, ведущих к повышению качества и характеристик различных радиоприемных систем.

На ученых советах и других научных собраниях в Институте радиотехники и электроники Академии наук В.А. Котельников много раз заявлял, что это направление, среди других, должно быть написано на знамени Института. Школа, ведущая исследования и разработки в этом направлении, существует в Институте. Эта школа ведет исследования и разработки новых приемников миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов волн с применением новых физических явлений и технологий, а также с применением новых схемотехнических и компьютерных методов преобразования и обработки радиосигналов [17]. В разное время применялись разные физические явления и разные схемотехнические и компьютерные методы. В данное время новым применяемым физическим явлением служит разогрев электронов в сверхпроводниковых структурах, находящихся на краю фазового перехода при сверхнизких температурах, при совмещении поглотителя излучения терагерцового диапазона и датчика протектированного сигнала в одной такой структуре. Новым технологическим методом является применение электронной литографии для изготовления поглотителей-датчиков с предельно малыми, субмикронными, размерами, что необходимо для достижения сверхвысокой чувствительности. Новым схемотехническим и одновременно компьютерным методом является построение приемных матриц из сверхпроводниковых поглотителей-датчиков и предложенный новый, томографический, метод считывания протектированных сигналов с матриц и дальнейшего преобразования и обработки сигналов вплоть до построения принимаемого изображения.

Свою историю школа начала с создания Владимиром Александровичем в 1960 г. лаборатории полупроводниковых параметрических усилителей СВЧ, а затем в 1970 г. — отдела автоматизации научных исследований с применением компьютерных методов. Об обоих этих подразделениях и идет речь в предыдущих разделах. Руководителем этих двух подразделений был назначен и долгое время был автор этих строк, ученик В.А. Котельникова. Оба подразделения с течением времени преобразовывались, из них выделялись другие подразделения. В настоящее время школа, ведущая исследования и разработки в названном выше направлении, состоит из двух лабораторий: лаборатории сверхпроводниковых болометров (поглотителей-датчиков) терагерцового диапазона, которой руководит автор этих строк, и лаборатории систем автоматизации экспериментов с помощью компьютеров, которой руководит М.И. Перцовский — ученик автора этих строк [17]. После полупроводниковых параметрических усилителей первая

лаборатория последовательно занималась детекторами миллиметровых и субмиллиметровых волн на разогреве электронов в сурьмянистом индии *n*-типа, смесителями на основе переходов «сверхпроводник–изолятор–сверхпроводник», оба последних при низких температурах (4К и ниже). В ходе этих работ были сделаны открытия двух новых физических явлений и одно важное изобретение. Работы по созданию приемников с сурьмянистым индием *n*-типа были отмечены в 1967 г. премией им. А.С. Попова АН СССР и Золотой медалью Международной Лейпцигской ярмарки.

Литература

1. *Выставкин А.Н., Мигулин В.В.* Приемники миллиметровых и субмиллиметровых волн / Радиотехника и электроника. 1967. Т. 12, № 11.
2. *Улир А.* Потенциальные возможности полупроводниковых диодов в ВЧ-связи // Proc. IRE (пер. с англ.). 1958. Т. 46, № 6.
3. *Мандельштам Л.И., Папалекси Н.Д.* К вопросу о параметрической регенерации // Изв. электропромышленности слабого тока. 1935. № 3.
4. *Вул Б.М.* О емкости переходных слоев в полупроводниках // ДАН СССР. 1954. Т. 96, № 2.
5. *Вул Б.М.* Авторское свидетельство № 110441, 1954.
6. *Котельников В.А.* Теория параметрических усилителей в схемах с циркуляторами. Отчет по теме «ППУ-1». ИРЭ АН СССР. 1960. Т. 1.
7. *Васильев В.Н., Слободенюк Г.И., Трифонов В.И., Хотунцев Ю.Л.* Регенеративные полупроводниковые параметрические усилители / Под ред. В. В. Мигулина. М.: Сов. радио, 1965.
8. *Выставкин А.Н.* К электродинамике полупроводниковых параметрических усилителей СВЧ. Отчет по теме «ППУ-1» (руководитель В.А. Котельников). ИРЭ АН СССР, 1960. Т. 10.
9. *Выставкин А.Н.* Включение полупроводникового диода с периодически изменяющейся емкостью в СВЧ-резонатор // Вопросы радиоэлектроники. Сер. Полупроводниковые приборы. 1962. № 3.
10. *Выставкин А.Н., Клич С.М.* К расчету характеристик полупроводникового параметрического усилителя 8-мм диапазона // Вопросы специальной радиоэлектроники. Сер. Общетехническая. 1967. № 27.
11. *Эткин В.С., Гершензон Е.М.* Параметрические системы на полупроводниковых диодах. М.: Сов. радио, 1964.
12. *Алфеев В.Н.* Полупроводники, сверхпроводники и параэлектрики в криоэлектронике. М.: Сов. радио, 1979.
13. Газета «Известия». Отчет об Общем собрании Академии наук СССР, 4, 5, 7 февраля 1970 г.
14. Выступление академика В.А. Котельникова. Общее собрание Академии наук СССР. Обсуждение отчетного доклада // Вестник Академии наук СССР. 1966. № 3. С. 145–146.
15. Автоматизация научных исследований на основе стандарта КАМАК // Наука и человечество (международный ежегодник). Знание. 1987. С. 290.
16. *Перцовский М.И.* От развития информационных технологий — к укреплению национальной безопасности // Автоматизация в промышленности. 2007. № 4. С. 3.
17. *Yustavkin A.N., Shitov S.V., Kovalenko A.G., Pestriakov A.V., Cohn I.A., Uvarov A.V.* Arrays of TES direct detectors for supersensitive imaging radiometers of 1.0–0.2 mm waveband region, Invited paper // Proc. of 7th Int. Workshop on Low Temp. Electronics, 21–23 June 2006. European Space Agency, Noordwijk, The Netherlands. P. 101–108.