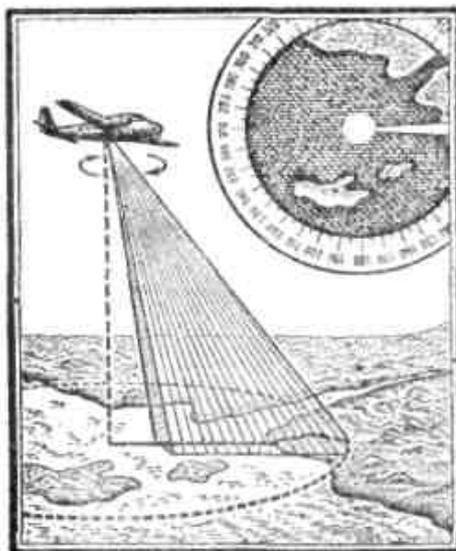


АКАДЕМИЯ НАУК СССР  
НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ СЕРИЯ

РАДИОТЕХНИКА  
И ЭЛЕКТРОНИКА  
И ИХ ТЕХНИЧЕСКОЕ  
ПРИМЕНЕНИЕ



ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР

АКАДЕМИЯ НАУК СССР  
НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ СЕРИЯ

РАДИОТЕХНИКА  
И ЭЛЕКТРОНИКА  
И ИХ ТЕХНИЧЕСКОЕ  
ПРИМЕНЕНИЕ

ПОД РЕДАКЦИЕЙ

*академика А. И. БЕРГА  
и профессора И. С. ДЖИГИТА*



ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР  
Москва—1956

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	3
ВВЕДЕНИЕ .....	3

### Часть I

#### Радиотехника и электроника как отрасли техники

Глава 1. ВОПРОСЫ ТЕОРИИ .....	5
Глава 2. РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН .....	6
Глава 3. СОВРЕМЕННЫЕ АНТЕННЫ .....	8
Глава 4. РАДИОПЕРЕДАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА .....	10
Глава 5. РАДИОПРИЕМНЫЕ УСТРОЙСТВА .....	13
Глава 6. ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ .....	16
Глава 7 РАДИОИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА .....	18
Глава 8. РАДИОДЕТАЛИ И РАДИОМАТЕРИАЛЫ .....	21
Глава 9. ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫЕ ПРИБОРЫ И ЭЛЕКТРОНИКА .....	25
Глава 10. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ .....	28

### Часть II

#### Применение методов радиоэлектроники в радиосвязи, радиовещании, радиолокации и радионавигации

Глава 1. РАДИОСВЯЗЬ .....	30
Глава 2. РАДИОВЕЩАНИЕ .....	31
Глава 3. РАЗВИТИЕ ТЕЛЕВЕДЕНИЯ И УКВ-ЧМ РАДИОВЕЩАНИЯ В СССР В ШЕСТОМ ПЯТИЛЕТИИ .....	32
Глава 4. РАДИОРЕЛЕЙНЫЕ ЛИНИИ .....	34
Глава 5. РАДИОЛОКАЦИЯ .....	35
Глава 6 РАДИОНАВИГАЦИЯ .....	39

### Часть III

#### Применение методов радиоэлектроники в науке, технике и производстве

Глава 1. РАДИОАСТРОНОМИЯ .....	42
Глава 2. РАДИОСПЕКТРОСКОПИЯ .....	44
Глава 3. РАДИОМЕТЕОРОЛОГИЯ .....	46
Глава 4. РАДИОЭЛЕКТРОНИКА И ВОПРОСЫ АВТОМАТИЗАЦИИ .....	47
Глава 5. ЭЛЕКТРОННАЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА .....	49
Глава 6. ИНДУКЦИОННЫЙ НАГРЕВ .....	53
Глава 7. ПРИМЕНЕНИЕ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ В НАРОДНОМ ХОЗЯЙСТВЕ .....	54
Глава 8. РАДИОЭЛЕКТРОНИКА И ПРОБЛЕМА ИСКУССТВЕННОГО СПУТНИКА ЗЕМЛИ .....	56

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Предлагаемая вниманию читателей брошюра подготовлена под общим руководством и при непосредственном участии некоторых членов Радиосовета при Президиуме АН СССР.

Глава по распространению радиоволн написана д.т.н. А. Г. Аренбергом; по современным антеннам — чл.-корр. АН СССР А. А. Пистолькорсом; по передающим и приемным устройствам и по применению радиоэлектроники в народном хозяйстве — инж. П. О. Чечиком; по источникам электропитания — инж. П. Н. Большаковым; по радиоизмерительной технике — инж. В. Г. Дубенецким; по радиодеталям и радиоматериалам — к.т.н. Б. П. Лиховецким; по электровакуумным приборам — к.т.н. Н. И. Дозоровым; по полупроводниковым приборам, радиоспектроскопии и индукционному нагреву — к.ф.- м.н. М. Е. Жаботинским; по радиосвязи — инж. К. И. Потаповым и А. М. Шалаевым; по радиовещанию — инж. М. И. Кривошеевым и В. И. Виноградовым; по радиорелейным линиям — инж. А. И. Фейгиной; главы по радиосвязи, радио-и телевизионному вещанию и радиорелейным линиям написаны под руководством З. В. Топуриа и инж. Ю. П. Лихушина; по радиолокации и радионавигации — инж. К. Н. Трофимовым; по радиоастрономии — д. ф.-м. н. С. Э. Хайкиным; по электронной вычислительной технике — к.т.н. А. И. Китовым; по радиоэлектронике и проблеме искусственного спутника Земли — инж. Г. В. Кожевниковым.

План брошюры, научная редакция ее и подготовка к печати выполнены академиком А. И. Бергом и профессором И. С. Джигитом.

## ВВЕДЕНИЕ

Весной 1955 г. исполнилось 60 лет со дня изобретения радиотелеграфии русским физиком Александром Степановичем Поповым, а 13 января 1956 г. отмечалось 50-летие со дня его смерти.

Изобретателю радио и его помощникам довелось увидеть только первые результаты своей работы; не могли они предвидеть и того значения, которое приобретет со временем радиотехника.

Появление электронных вакуумных<sup>1</sup> приборов незадолго до начала первой мировой войны определило быстрые темпы развития радиоэлектроники и повсеместное внедрение новых методов исследования.

В настоящее время радиоэлектронные методы определяют темпы и размах развития большинства прикладных наук, способствуют развитию связей между народами и являются проводниками культуры.

На основе выполнения пятилетних планов наша страна достигла крупных успехов в области хозяйственного и культурного строительства. В связи с этим возросла необходимость широкого применения различных разделов радиоэлектроники: систем дальней связи, позволяющих вести сотни одновременных телефонных переговоров и передавать сигналы телеуправления автоматическими установками электростанций, гидроузлов, нефтепроводов и т. п.; кроме того, развитие морского и воздушного транспорта требует более широкого применения средств радиоэлектроники — радиосвязи, радионавигации и радиолокации, обеспечивающих увеличение скорости транспорта, его бесперебойную эксплуатацию и безопасность, — а также многих других ее областей.

За два последние пятилетия радиоэлектроника в нашей стране получила значительное развитие. Темпы роста научно-исследовательской и производственной базы в области радиоэлектроники за эти годы были выше темпов развития других отраслей науки и техники. Тем не менее, достигнутый уровень не удовлетворяет потребностей народного хозяйства Советского Союза, и во многих областях радиоэлектроники мы еще сильно отстаем. Это относится к вопросам междугородних и местных телефонных связей, фототелеграфной связи, ультракоротковолновому радиовещанию, охвату страны сетью телевизионных станций, а также радиоприемными и радиотрансляционными точками. Мы очень отстаем в сооружении радиорелейных линий и в использовании коаксиальных кабелей. Состояние нашей электровакуумной промышленности, производства высококачественных радиодеталей и элементов, а также полупроводниковых приборов нас не удовлетворяет.

Медленно внедряется в радиопромышленность технология автоматизированного производства электровакуумных и полупроводниковых приборов, малогабаритных радиодеталей и новых радиотехнических материалов.

Июльский Пленум ЦК КПСС поставил перед работниками радиопромышленности задачу — осуществить перевод радиотехнической аппаратуры массового потребления на поточные линии путем

широкого применения автоматов, внедрения печатных схем, унифицированных и нормализованных деталей, узлов и механизмов.

В проекте Директив к XX съезду КПСС по шестому пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР на 1956—1960 гг. уделяется большое внимание задачам применения радиоэлектроники в науке, технике и в народном хозяйстве нашей страны.

Особенно подчеркивается необходимость дальнейшего развития научно-исследовательской базы радиоэлектроники. Предусматривается широкая механизация и автоматизация производственных процессов на основе радиоэлектронных методов.

В целях расширения производственной базы по изготовлению приборов общепромышленного назначения предполагается в шестой пятилетке осуществить строительство и ввести в действие 30 приборостроительных заводов.

Большое внимание уделяется работам по конструированию и производству автоматических быстродействующих машин для решения самых сложных математических задач; предполагается широко развернуть научно-исследовательские работы по полупроводниковым приборам и расширить их практическое применение.

Проектом Директив предусматривается постройка 75 новых телевизионных станций, значительный рост выпуска телевизоров и радиоприемников, электронных ламп и радиоизмерительных приборов, ввод в действие не менее 10 тыс. км радиорелейных линий за пятилетие и расширение производства необходимой для этого аппаратуры.

Все это обеспечит широкий размах и быстрые темпы внедрения радиоэлектроники в Советском Союзе.

В настоящей брошюре по радиотехнике и электронике, подготовленной коллективом авторов к XX съезду КПСС, в популярной форме рассказывается о некоторых работах в этой области, ведущихся у нас и за границей.

В соответствии с общим планом серии брошюр мы рассматриваем только некоторые разделы радиотехники и электроники, так как темы: полупроводники, ультразвук, электронные счетные машины, электронная автоматика и др. освещаются в отдельных брошюрах.

В данной брошюре наиболее подробно описываются малоизвестные области радиотехники и электроники.

Обилие тем и разнообразие их научно-технического содержания не позволили изложить все вопросы в одинаковом стиле. Эта задача и не ставилась нами; поэтому различные главы сохранили основной стиль их авторов.

Февраль, 1956, Москва

*Академик А. И. Берг  
Профессор И. С. Джигит*

## ЧАСТЬ I

### РАДИОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА КАК ОТРАСЛИ ТЕХНИКИ

#### *Глава I. ВОПРОСЫ ТЕОРИИ*

Быстрое развитие социалистической промышленности и всего народного хозяйства ставит перед советской наукой и техникой новые, все более сложные, обширные и разнообразные практические задачи.

Объем и сложность этих задач в большинстве случаев настолько велики, что решение их наиболее экономичным и эффективным образом на основе только эмпирических факторов и установившихся теорий становится невозможным. Необходима широкая разработка принципиальных теоретических вопросов, раскрывающих перспективы развития техники. Это положение, справедливое для всех отраслей науки, имеет особенно большое значение для такой быстро развивающейся отрасли, как радиоэлектроника, и поэтому теоретические исследования очень важны для дальнейшего прогресса в этой области.

Важнейшими проблемами в настоящее время являются следующие: распространение радиоволн, теория антенно-фидерных устройств, теория связи (так называемая теория информации) и высокочастотная электроника.

Изучение законов распространения радиоволн всех диапазонов, повышение дальности действия, надежности и качества работы всех видов радиосвязи, радиовещания, радионавигации продолжает оставаться важнейшей задачей теоретической радиоэлектроники; с этим связана теоретическая и экспериментальная работа по изучению закономерностей и физических процессов, происходящих в земной атмосфере, ионосфере и тропосфере.

Выявленное за самые последние годы дальнейшее распространение метровых, дециметровых и сантиметровых волн далеко за пределами оптической видимости не может быть объяснено классическими теориями распространения радиоволн. В связи с этим особенно важным является теоретическое рассмотрение вопросов такого диффузного распространения радиоволн, возможность использования которого раскрывает ряд очень интересных перспектив.

В области теории антенно-фидерных устройств и связанных с ней вопросов электродинамики в послевоенные годы в Советском Союзе были опубликованы работы большого принципиального значения.

Основное внимание в этой области в настоящее время привлекают следующие проблемы: дифракция электромагнитных волн на металлических замкнутых поверхностях сложной формы; разработка теории широкополосных антенных систем, включая толстые вибраторы различной формы, широкие щели и т. д.; создание строгой электродинамической теории излучения из рупоров и зеркал конечных размеров; разработка принципа построения новых типов канализирующих систем для микрорадиоволн; развитие теории периодических структур.

За последние годы достигнуты серьезные успехи в разработке вопросов общей теории связи. Вся проблематика этой теории сводится к двум основным вопросам: эффективности и надежности. Первая проблема состоит в том, чтобы передать как можно больше сообщений наиболее экономичным способом, т. е. затратить наименьшую мощность, наименьшее время и наименьшую полосу частот. Вторая проблема состоит в обеспечении высокой достоверности при приеме сообщений, т. е. наименьшем искажении сообщения помехами.

Требования высокой эффективности и высокой надежности противоречивы, и задача состоит в отыскании компромисса, приемлемого для каждого конкретного случая.

Трудности, возникающие в общей теории связи, растут с каждым днем. Это объясняется требованием передавать сообщения на все большие расстояния в условиях сильных естественных и искусственных помех с возрастающей скоростью, со все большей надежностью и по возможности при жестком ограничении мощности.

За последние годы общая теория связи получила широкое обобщение в так называемой теории информации. Эта теория не только обобщает и поднимает на более высокую ступень наши знания, но указывает также новые пути решения труднейших задач. Так, новые возможности открываются в связи с широким использованием статистических свойств шумов и помех.

Большое внимание уделяется работе в области обнаружения и выделения слабых сигналов в присутствии шумов.

На протяжении примерно 30 лет электровакуумные приборы (электронные лампы) являются наиболее важной составной частью радиотехнической аппаратуры.

За истекшие годы проведены обширные теоретические исследования, позволившие разрабатывать все новые и новые типы электронных ламп.

Однако еще далеко не исчерпаны проблемы, связанные с движением электронов в постоянных и переменных электрических и магнитных полях, в полых телах сложной формы и с взаимодействием групп электронов с этими полями. Изучение этих проблем приводит к возможности создания новых видов электронных приборов. Особое значение указанные процессы приобретают в диапазоне сверхвысоких частот.

В связи с ценными свойствами для радиоэлектроники полупроводниковых приборов и все расширяющимся объемом их практического применения необходимо как можно шире развернуть давно и с успехом ведущиеся у нас теоретические работы по изучению электрических свойств твердого, в частности кристаллического тела.

Следует отметить, что радиоэлектроника, базирующаяся на прочных теоретических основах, является также в значительной мере экспериментальной наукой. Связь между теорией и практикой неразрывна.

Хорошим подтверждением этого может служить глубокая разработка в нашей стране теории нелинейных колебаний школой академиков Л. И. Мандельштама и Н. Д. Папалекси и их замечательные теоретические работы по фазовым и радиоинтерференционным методам измерения расстояний, нашедшие широкое практическое применение как в СССР, так и за границей.

Все сказанное обязывает нас значительно расширить объем и повысить качество выполняемых нашими учеными теоретических работ в области радиосвязи, радиотехники и электроники.

## *Глава 2. РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН*

В проекте Директив XX съезда КПСС по шестому пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР на 1956—1960 гг. содержатся важные указания о создании широкой сети радиорелейных линий связи; о развитии телевидения и об обмене телевизионными программами между Москвой, Ленинградом, столицами союзных республик и другими крупными городами; об оснащении морских судов современными средствами навигации; о переходе к новой технике в авиации и о расширении необходимых научных исследований.

Выполнение всех этих задач ставит перед советской радиотехникой и электроникой ряд новых, трудных проблем, среди которых весьма большое значение имеют вопросы, связанные с изучением распространения радиоволн всех диапазонов.

При изучении этих вопросов основное внимание исследователей сосредоточивается на процессах, происходящих между передатчиком и приемником, главным образом вблизи поверхности Земли и в различных слоях атмосферы. В своем современном состоянии учение о распространении радиоволн разъясняет физику явлений, дает расчетные соотношения и приводит к выводам, необходимым для проектирования и эксплуатации различных радиоустройств. Основные результаты исследований, проводимых с короткими, средними и длинными волнами, распространение которых зависит от состояния ионизированных высших слоев атмосферы (ионосферы), довольно широко известны и успешно используются в радиовещании, радиосвязи и радионавигации. Но в свете новых задач возникает необходимость значительного расширения работ, связанных с глубоким изучением физики ионосферы и распространения коротких, средних и длинных радиоволн.

Вопросы распространения ультракоротких радиоволн— метровых, дециметровых, сантиметровых и миллиметровых — пока еще изучены недостаточно; приходится констатировать, что здесь имеется значительное отставание. Необходимо в кратчайший срок получить большое количество экспериментальных данных, сделать соответствующие обобщения, решить ряд теоретических вопросов, сформулировать рекомендации и т. п. В связи с этим можно напомнить, что в 30-х годах, когда еще только начали говорить о практическом применении метровых волн, внимание многих исследователей сосредоточивалось на вопросах учета влияния высот поднятия антенн, расстояния, длины волны и поляризации. Эти работы дали возможность рассчитывать принимаемую мощность при распространении метровых волн над гладкой сферической Землей на расстояниях как меньших, так и больших прямой

видимости. Это явилось существенным шагом вперед по освоению новых диапазонов.

Но по мере перехода к широкому применению дециметровых и сантиметровых волн влияние тропосферы, которому раньше уделялось недостаточное внимание, стало проявляться значительно чаще и сильнее, начиная со сравнительно небольших расстояний. В то же время, благодаря увеличению направленности антенных устройств в вертикальной плоскости, проблема влияния земной поверхности в ряде случаев стала менее актуальной. Поэтому в центре внимания оказалось изучение влияния тропосферы на распространение таких и еще более коротких волн. При этом были изучены некоторые специфические вопросы, не существенные (или, во всяком случае, малосущественные) при распространении более длинных волн. Сюда следует отнести рефракцию дециметровых и сантиметровых волн в тропосфере, волноводное распространение, а также поглощение в дожде, туманах, кислороде и водяном паре и некоторые другие вопросы, тесно связанные с метеорологией.

Наряду с этим, благодаря успешному развитию телевидения, стали быстро накапливаться экспериментальные данные, относящиеся к приему телепередач на расстояниях, в два-три раза превышающих расстояние прямой видимости. Такой прием зависит от повышенной рефракции метровых волн в тропосфере. Возникновению таких условий благоприятствует антициклональная погода с высоким атмосферным давлением, слабыми ветрами и малой облачностью. При циклонах, из-за сильных ветров, воздух хорошо перемешан, и преломляющие свойства тропосферы выражены менее резко. В этих условиях прием телевидения на указанных расстояниях, как правило, или совсем отсутствует, или же он хуже, чем в других условиях.

Но хорошо известно, что иногда наблюдаются случаи приема телевизионных передач на расстоянии в сотни и даже в тысячи километров. Это связано с тем, что временами ионизация отдельных областей

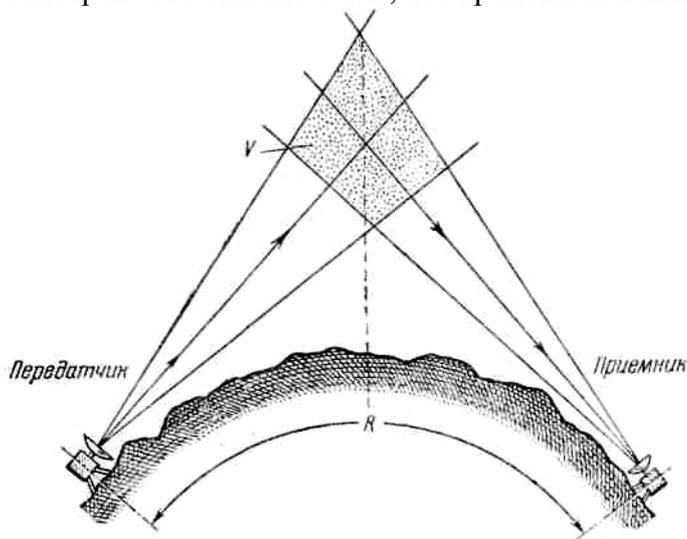


Рис. 1. К понятию о диффузном распространении дециметровых и сантиметровых волн

ионосферы (главным образом спорадического слоя  $E_s$ ) заметно возрастает и становится достаточной для отражения телевизионных сигналов, обычно передаваемых на волнах длиной 5—7 м. Но чаще всего такие радиоволны проходят через ионосферу и обратно к Земле не отражаются. Поэтому вплоть до 1950—1952 гг. считалось, что систематическое распространение метровых волн на расстояния, превышающие расстояние до горизонта на сотни километров, невозможно. Но за последние годы получены новые данные, относящиеся к приему на таких расстояниях не только метровых, но даже дециметровых и сантиметровых волн. При этом существенно, что большинство таких данных не может быть отнесено ни за счет волноводного распространения этих волн в тропосфере, ни за счет их отражения от слоистых неоднородностей. Изучение влияния расстояний, высот поднятия антенн и применение антенн с большой направленностью позволили установить некоторые особенности такого сверхдальнего приема дециметровых и сантиметровых волн и сопоставить их с результатами аэрологических исследований тропосферы. Теоретическое обобщение этих материалов привело к выводу, что здесь имеет место рассеяние радиоволн, обусловленное небольшими флуктуациями диэлектрической проницаемости воздуха в тропосфере, связанными с его турбулентным движением. Величина принимаемой рассеянной мощности зависит от эффективного объема рассеяния  $V$ , который образуется при «пересечении» диаграмм направленности передающей и приемной антенн (рис. 1), от флуктуаций диэлектрической проницаемости воздуха, размеров его неоднородностей, рефракции,

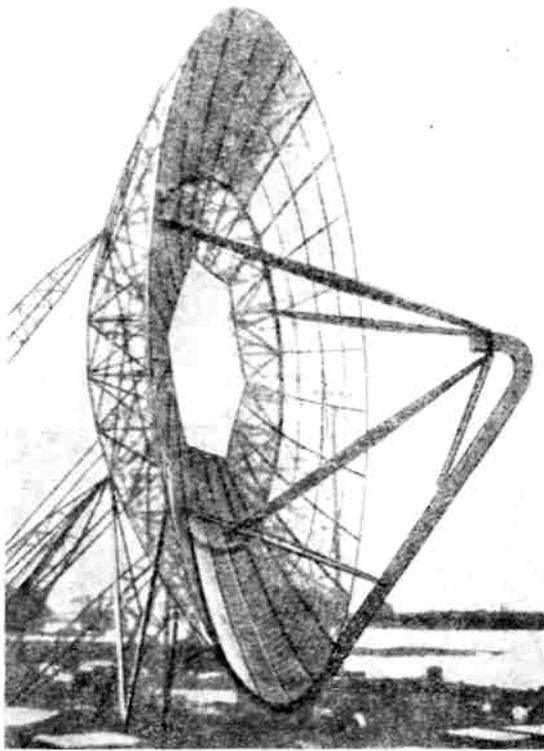


Рис. 2. Остро направленная антенна диаметром около 20 м, применяемая при изучении диффузного распространения

расстояния  $R$  и длины волны.

Распространение ультракоротких волн, обусловленное их рассеянием неоднородностями тропосферы, можно назвать диффузным. Практическое использование этого распространения требует применения сравнительно мощных передатчиков и антенн, обладающих весьма большой направленностью (рис. 2). При этом большое значение имеет также вопрос о допустимой ширине полосы частот, которая, судя по имеющимся данным, может достигать до нескольких мегагерц. Теоретическая сторона всех этих вопросов пока еще недостаточно разработана. Поэтому здесь особенно необходимо получение экспериментальных данных, характеризующих зависимость принимаемой мощности от различных условий. Изучение диффузного распространения дециметровых и сантиметровых волн является в настоящее время очень актуальным как с научной, так и с практической стороны. Подтверждение возможности значительного увеличения расстояния между соседними радиорелейными станциями должно привести к большому уменьшению расходов на строительство и эксплуатацию радиорелейных линий связи, позволить осуществлять морские переходы и передачу телевидения на большие расстояния.

### Глава 3. СОВРЕМЕННЫЕ АНТЕННЫ

Антенная техника охватывает не только собственно антенны, но и устройства, подводящие к ним энергию от генератора, так называемые фидерные или питающие линии.

Антенная техника весьма многогранна, так как она, обслуживает передачу и прием радиосигналов во всех; областях радиотехники, в том числе в области радиовещания (на длинных, средних, коротких и ультракоротких волнах), телевидения, радиосвязи, радиолокации, радиоастрономии и т. д.

Рассмотрим важнейшие достижения современной антенной техники в указанных областях. Не останавливаясь на передающих антеннах для радиовещания, которые уже достаточно давно стандартизировались, отметим новый тип антенны для приема радиовещания на средних волнах. Это так называемая ферритовая антенна (точнее, рамка). Феррит представляет собой ферромагнитный полупроводник с очень высоким удельным сопротивлением, благодаря чему в нем практически не возникают вихревые токи, являющиеся основной причиной потерь энергии в других ферромагнетиках при работе на радиочастотах. Он имеет довольно высокую магнитную проницаемость (порядка многих десятков или нескольких сотен). Применяемый для приемной рамки феррит обычно имеет вид стержня диаметром 1—2 см, длиной 20—30 см, на котором в один или два слоя навита обмотка. Получается малогабаритная приемная рамка с ферритовым сердечником, которая с успехом используется в портативных радиовещательных приемниках, оформляемых обычно в виде небольшого чемодана.

Вместе с развитием телевидения большое распространение получили передающие телевизионные антенны разных типов. Основной трудностью, которую приходится преодолевать при создании антенн для передачи телевидения, является требование пропустить без искажения большую полосу частот, используемую телевидением.

На рис. 3 изображены отдельные секции передающей телевизионной антенны принятого у нас типа. Все размеры показаны в долях волны  $\lambda$ . Как видим, каждая секция представляет собой два взаимно перпендикулярных решетчатых крыла, выполненных из стальных труб. Энергия подводится к точкам 2 каждого крыла отдельно и со сдвигом! фаз между крыльями  $90^\circ$ , что позволяет получить равномерное излучение во всех направлениях (в горизонтальной: плоскости). В Советском Союзе обычно число секций, или, этажей, меняется в антенне от двух до трех, в зависимости от номера канала телевидения.

Большое распространение в последнее время получили приемные телевизионные антенны

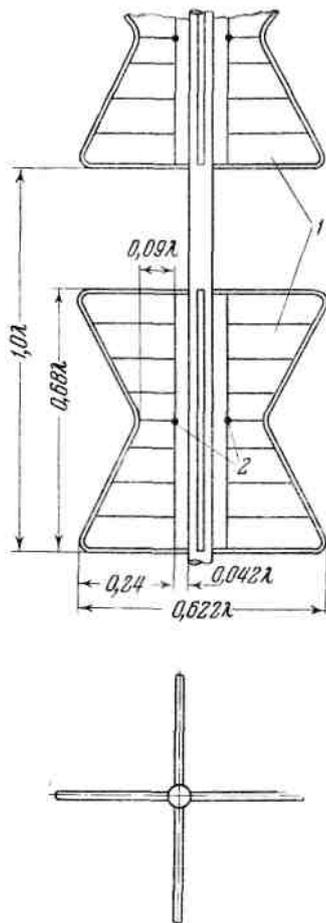


Рис. 3. Элемент телевизионной антенны турникетного типа

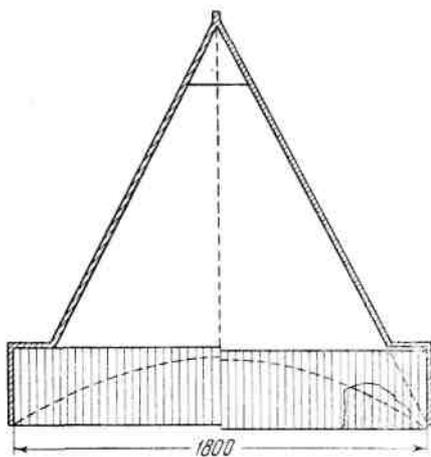


Рис. 4. Рупорно-линзовая антенна

коллективного пользования. От высококачественной приемной антенны, устанавливаемой на крыше, идет распределительная сеть по квартирам секции дома, обслуживаемой данной антенной. Проводка выполняется специальным высокочастотным (коаксиальным) кабелем. В местах ответвлений ставятся особые переходные устройства, обеспечивающие неискаженную подачу телевизионных сигналов к приемнику.

Для целей радиосвязи применяются антенны различных типов, в зависимости от длины волны, на которой ведется работа. Из антенн связанных радиостанций наибольший интерес сейчас представляют антенны для так называемых радиорелейных станций, работающих на сантиметровых или коротких дециметровых волнах. К этим антеннам предъявляются требования большой концентрации излучаемой энергии (иначе — высокого коэффициента усиления) и минимальных искажений передаваемых сигналов на пути от генератора до излучения из антенны. Надо иметь в виду, что передача ведется по цепочке из нескольких десятков радиорелейных станций, и искажения, допущенные в каждой из них, суммируются в конечном пункте.

На рис. 4 изображен один из типов антенн, применяемых для радиорелейных станций. Пирамидальный рупор, питаемый волноводом, имеет на входе выпуклую линзу из искусственного диэлектрика. Предложенный впервые А. Н. Капцовым искусственный диэлектрик в данном случае представляет собой систему помещенных в пеномол полистироле плоских узких и длинных металлических лент, разделенных небольшими промежутками. Благодаря значительным размерам и короткой волне (7—8 см), антенны эти дают усиление примерно в 10 000 раз.

Как уже указывалось, высокочастотная энергия к антенне подводится с помощью волновода, представляющего собой трубу с прямоугольным сечением, сделанную из проводящего ток материала. Чтобы избежать потери энергии и искажения сигналов в волноводном тракте, его стремятся сделать возможно более коротким, помещая аппаратуру наверху башни, недалеко от антенны.

Большое развитие за последние годы получила техника антенн, применяемых в радиолокации. Антенны эти, работающие, как правило, на сантиметровых волнах, строятся по тем же принципам, что и оптические системы, в частности прожекторы. Так же как прожектор, антенна сантиметровых волн обычно имеет зеркало, освещаемое небольшим облучателем (подобно источнику света в прожекторе) и построенное так, чтобы при отражении энергия сантиметровых волн концентрировалась в заданном направлении.

Для примера на рис. 5 изображена антенна станции, разработанной за границей и предназначенной для обнаружения с земли самолетов, летящих на большом расстоянии. Для этой цели антенна должна обладать очень большим коэффициентом усиления (порядка нескольких тысяч по сравнению с антенной, излучающей равномерно во все стороны) и должна быть рассчитана на работу импульсами большой мощности (в 1 млн. вт и более). Антенна должна обеспечивать круговой обзор воздушного пространства и иметь средства для определения не только азимута, но и высоты обнаруженных самолетов.

Антенна, изображенная на рис. 5, работает на волне около 10 см; она состоит из двух параболических зеркал, выполненных из металлической сетки: горизонтального и наклонного. Размеры каждого зеркала 305x762 кв. см, расстояние от зеркала до облучателя — около 2 м. В каждом

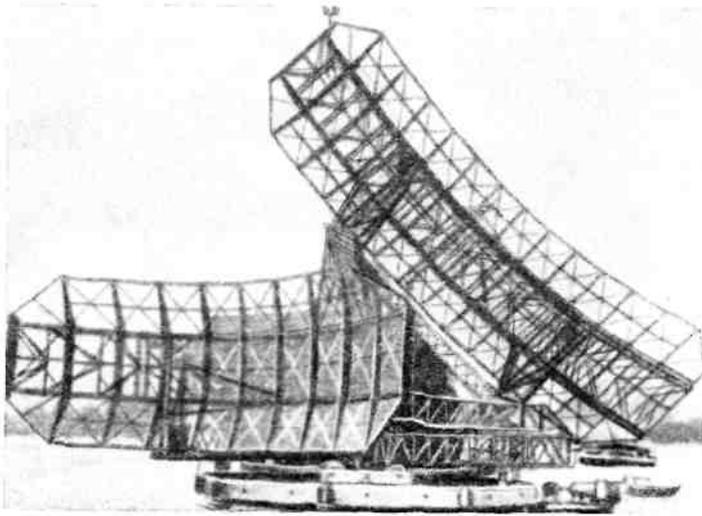


Рис 5. Антенна радиолокационной станции дальнего обнаружения

зеркале установлена сложная система облучателей, обеспечивающая получение луча заданной формы в вертикальной плоскости. Ширина луча в горизонтальной плоскости — около  $1^\circ$ . Наклонное зеркало вместе со своим облучателем и во взаимодействии с горизонтальной антенной позволяет определять высоту обнаруженных самолетов. Вся система вращается вокруг вертикальной оси со скоростью 6 об/мин.

Мы уже указывали, что канализация высокочастотной энергии от генератора до антенны осуществляется при помощи волноводов. В систему волноводного тракта входят также специальные устройства, так называемые переходы вращения, позволяющие передавать энергию в антенну при вращении последней. Основной задачей, которую

приходится решать при конструировании питающего тракта, является согласование тракта с антенной, т. е. получение такого режима работы, при котором вся энергия от передатчика переходит в антенну, а не отражается от нее, даже частично. Согласование достигается применением специальных подстроенных устройств и особой конструкцией стыков волноводных труб, их изгибов, переходов вращения и других элементов волноводного тракта. Задача осложняется тем, что согласование должно быть обеспечено не для одной какой-либо частоты колебаний, а для полосы частот, в которой может работать генератор. Несмотря на все принимаемые меры, небольшой процент энергии все же отражается от антенны и попадает обратно в генератор, ухудшая его работу.

В последнее время для целей согласования стали применять ферритовые пластинки, помещаемые в специальный волноводный элемент (так называемый вентиль), находящийся в поле постоянного магнита. Такое устройство позволяет разделять волны, идущие в прямом и обратном направлениях; оно дает возможность отделить отраженную от антенны волну, направить ее в специальный канал и избавить генератор от ее воздействия. Этим не только облегчается решение задачи согласования, но и резко улучшаются условия работы генератора (магнетрона).

#### Глава 4. РАДИОПЕРЕДАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

Передающая радиостанция является одним из основных узлов радиотелеграфных и радиотелефонных линий связи, радиовещательного и телевизионного трактов.

Отечественные ученые и инженеры внесли значительный вклад в развитие техники радиопередающих устройств. Особенно эффективными были их работы после Великой Октябрьской социалистической революции.

Быстрое развитие всех видов радиосвязи, широкое распространение радиовещания и телевидения, создание многочисленных радиослужб выдвинули перед советскими учеными и инженерами следующие основные направления разработок в области радиопередающих устройств.

##### Стабилизация частоты

Требование высокой стабильности частоты радиопередатчика обусловлено все возрастающим числом работающих станций, стремлением повысить защиту приемников от помех, создаваемых другими радиостанциями, и необходимостью бесперебойного вхождения в связь.

Основным методом решения этой задачи для одной частоты является применение возбуждителей, стабилизированных кварцем, т. е. маломощных генераторов, у которых в качестве фиксирующей цепи использована пластина пьезокварца. В послевоенные годы удалось добиться повышения частоты кварцевых возбуждителей более чем в десять раз. Главный успех здесь был обеспечен усовершенствованием способов изготовления кварцевых пластин. Найдены были такие типы срезов этих

пластин, которые резко уменьшили зависимость их частоты от изменений температуры. В высокостабильных генераторах часто применяется специальная мостиковая схема кварцевого возбуждителя. С этой схемой удастся обеспечить такую устойчивость частоты, которая еще недавно считалась достижимой только в лабораторных эталонах частоты ( $10^{-7} \div 10^{-8}$ ).

В области стабилизации частоты диапазонных генераторов, допускающих плавную перестройку частоты передатчика, большие успехи получены благодаря применению термокомпенсированных элементов контуров и специальных, довольно сложных схем.

Особо сложной является задача стабилизации частоты генераторов сверхвысоких частот (СВЧ). Эти генераторы нашли в последние годы применение в связи с возникновением ряда новых служб: радиолокации, радиорелейной связи, телевидения и др. Во всех этих случаях требования к стабильности передатчиков все возрастают. Одним из принятых в настоящее время методов является применение объемных стабилизирующих резонаторов. Такой резонатор, выполненный из специальных сплавов, позволяет во много раз уменьшить уход частоты генератора при изменении нагрузки и температуры окружающей среды. Однако в особо ответственных установках применяется кварцевая стабилизация частоты генератора, работающего на относительно низкой частоте, с последующим многократным умножением частоты в ламповых каскадах-усилителях.

### Получение больших мощностей

Увеличение мощности передатчиков всех видов служб связано с необходимостью обеспечить на максимальных расстояниях уверенный прием сигналов. Решение проблемы дальнего и уверенного приема имеет большое экономическое значение для таких служб, как радиовещание и телевидение, т. е. служб, в которых передача предназначена одновременно для большого числа слушателей. Естественно, что в этом случае удорожание стоимости передающей части окупается упрощением, а следовательно, и удешевлением приемной точки.

Повышение мощности радиостанций осуществляется как за счет увеличения мощностей генераторных ламп, работающих в передатчике, так и путем сложения мощностей отдельных блоков

генераторов или целых генераторов. На рис. 6 показан мощный блок радиопередатчика.

Генераторные лампы отпаянной конструкции достигли мощности 300 квт. Созданы разборные и полуразборные лампы мощностью до 500 квт.

Система сложения мощностей блоков была разработана и осуществлена в СССР в 1931 г. при сооружении 500-киловаттной радиовещательной станции им. Коминтерна. Эта схема была впоследствии усовершенствована и позволила во время Великой Отечественной войны создать самую мощную в мире радиотелефонную станцию. Особенностью схемы этого передатчика является то, что каждый блок модулятора образует единое целое с блоком последнего каскада — усилителя высокой частоты. Эта система, получившая название генераторно-модуляторных блоков, позволяет значительно повысить коэффициент полезного действия.

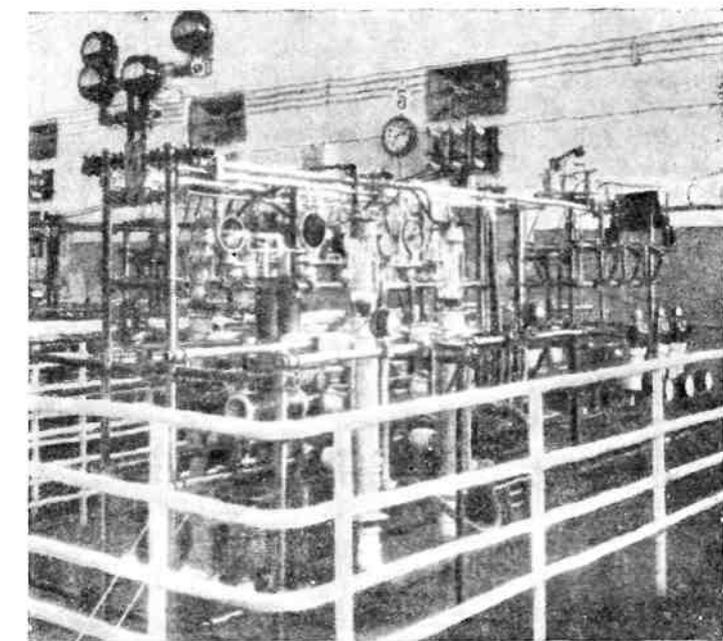


Рис. 6. Мощный блок современной средневолновой передающей радиостанции

1935 г. была предложена и осуществлена система сложения мощностей в пространстве. В этой системе используется несколько передатчиков, каждый из которых имеет свою антенну, слабо связанную с антеннами других передатчиков. Сложение мощностей при определенном сдвиге токов, питающих антенны, происходит в пространстве.

Проблема увеличения мощностей в диапазоне СВЧ была разрешена путем применения разных вариантов мостовых схем для сложения мощностей отдельных генераторов. Включив, например, два генератора в диагональ моста, а полезную нагрузку и балластное сопротивление — в другую, можно так

подобрать плечи моста и режим работы схемы, что на полезной нагрузке будет выделяться суммарная мощность обоих генераторов.

Разработанные в СССР идеи сложения мощностей оказались весьма плодотворными, позволив разрешить вопрос об увеличении мощности передатчика на всех диапазонах в случае, когда вакуумная техника еще не может предоставить в распоряжение конструкторов передатчиков лампы необходимой мощности.

### Освоение новых диапазонов волн

Как известно, для осуществления телевидения требуется передача весьма широкой полосы модулирующих частот. В соответствии с принятым в СССР стандартом (625 строк разложения) эта полоса равна 6 мГц. Неискаженная передача и прием этой полосы модулирующих частот определяет, в конечном счете, качество принятых изображений.

Такая большая ширина полосы модулирующих частот в телевидении вызвала необходимость освоения диапазонов метровых и дециметровых волн. Особое значение приобрели дециметровые, сантиметровые и миллиметровые волны в связи с развитием радиолокации. Создание различных типов радиолокационных станций потребовало решения задачи сооружения мощных генераторов в этих новых диапазонах. Наряду с радиолокацией эти диапазоны частот нашли широкое применение в радиометеорологии, радиоспектроскопии, радиоастрономии и т. д.

Обычные электронные лампы для этих новых диапазонов оказались непригодными, так как на сверхвысоких частотах они уже не являются безинерционными приборами, поскольку период колебания оказывается соизмеримым с временем пролета электронов между электродами ламп.

Были предложены и освоены новые типы ламп — триоды с плоскими электродами и круговыми выводами их (так называемые маячковые лампы), с очень малыми расстояниями между электродами.

Специально для телевидения были построены тетроды, пригодные для работы на волнах до 30 см.

Для других применений СВЧ были разработаны магнетроны, клистроны, лампы с бегущей волной и другие приборы.

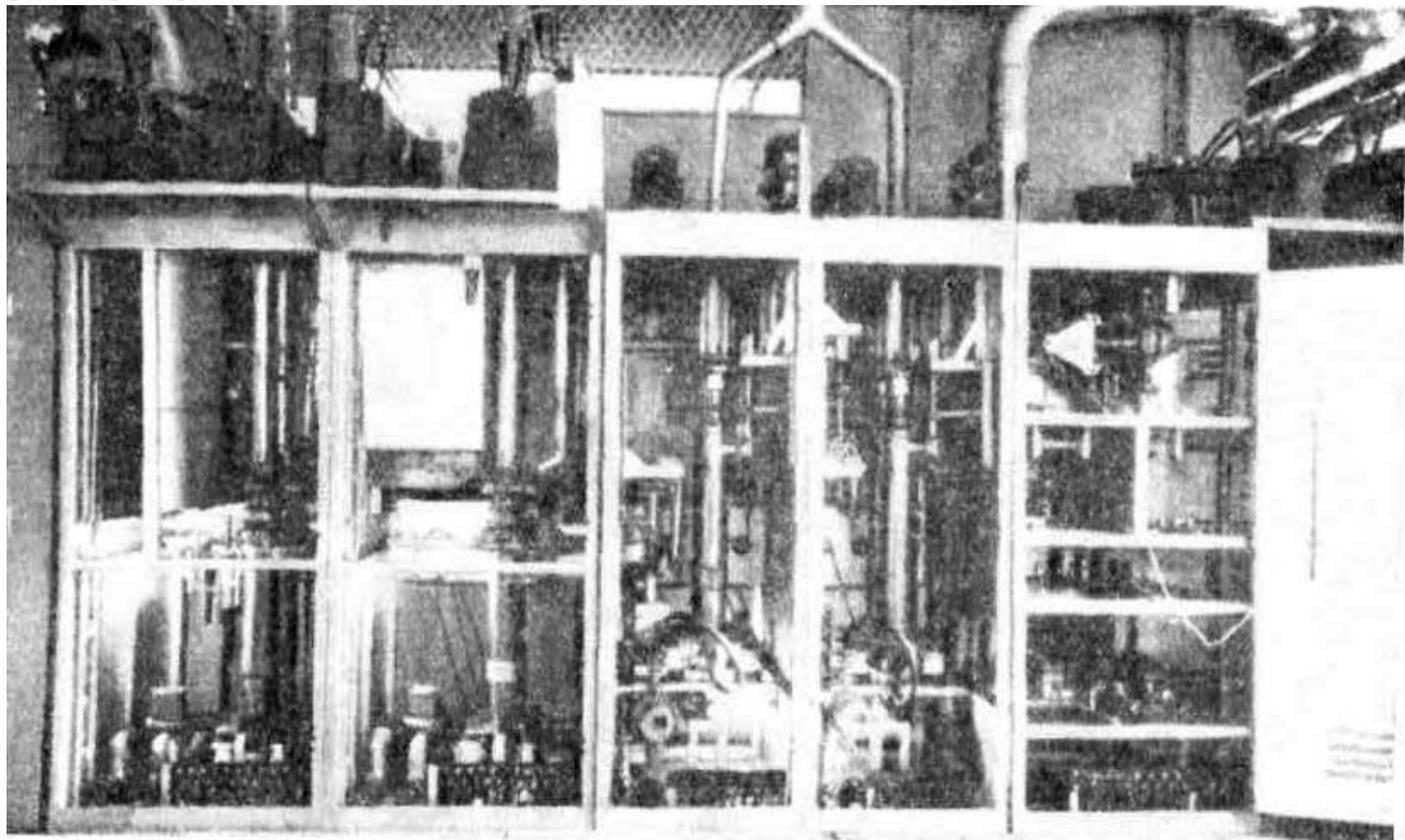


Рис.7 Внутренний вид каскадов телевизионного радиопередатчика

## Модуляция и манипуляция

Требование неискаженной передачи модулирующих частот важно для всех типов радиопередатчиков, особенно для радиовещательных и телевизионных.

Современные радиотелефонные передатчики строятся преимущественно с анодной (амплитудной) модуляцией. Использование специальных схем (с глубокой отрицательной связью) обеспечивает в этом случае малые нелинейные искажения (2%) при глубокой модуляции ( $\pm 95\%$ ) и малые частотные искажения в полосе  $50 \div 10\,000$  Гц.

В телефонной радиосвязи нашел применение метод передачи одной боковой полосой, который позволяет значительно лучше использовать мощность передатчика. При обычной амплитудной модуляции непрерывно излучаются колебания несущей частоты и колебания обеих боковых полос. При однополосной передаче излучаются только колебания одной боковой полосы и так называемый «пилот-сигнал», служащий для точной настройки гетеродина приемника на несущую частоту передатчика. Общий выигрыш мощности однополосной системы, по сравнению с обычной, может быть равен шести (учитывая выигрыш от повышения избирательности приемника).

В диапазоне ультракоротких волн для радиотелефонии и радиовещания преимущественно применяется широкополосная частотная модуляция, обеспечивающая повышенную помехозащищенность приемника. В современных радиовещательных передатчиках с частотной модуляцией применяются главным образом возбудители с фазовой модуляцией, преобразуемой затем в частотную модуляцию. Такие схемы возбудителей оказались проще, чем схемы с непосредственной частотной модуляцией, и более надежны в эксплуатации.

Особенно сложны вопросы модуляции для передатчиков телевизионных изображений. В этих передатчиках полоса модулирующих частот очень широка (6 МГц). Требования к отсутствию искажений весьма жестки. Для передатчиков изображений принята система амплитудной модуляции. Существенно также общее увеличение коэффициента полезного действия передатчика, что при такой ширине полосы модулирующих частот достигается не просто.

Все большее значение приобретают в настоящее время радиорелейные линии связи на ультракоротких волнах. Такие линии в первую очередь предназначены для создания многоканальных телефонных систем, а также для междугородного обмена телевизионными программами.

В современных радиотелеграфных передатчиках наиболее эффективной является частотная система манипуляции. При этой системе во время пауз работа передатчика не прерывается, а переводится на другую частоту. Такой переход с одной частоты на другую может осуществляться переключением двух кварцевых возбудителей.

## Задачи и перспективы

Освоение новых диапазонов волн, увеличение зоны надежного действия радиостанций, повышение их стабильности и помехозащищенности радиоприема, борьба за высокое качество передачи и отсутствие искажений передаваемых сигналов одновременно сочетаются в современных передатчиках с требованиями повышения коэффициента полезного действия, надежности и простоты эксплуатации.

Наиболее перспективным видом магистральной радиотелефонной связи на коротких волнах в настоящее время является однополосная радиосвязь. Кроме сужения полосы передаваемых частот получается существенный выигрыш мощности по сравнению с обычной системой передачи.

Успехи, достигнутые за последние годы в области многоканальной связи на коротких волнах, позволяют надеяться на значительное улучшение энергетических соотношений и, кроме того, существенно уплотнить частотный спектр.

Для телеграфной работы большое значение имеет совершенствование схем манипуляции. Разработанные в СССР схемы электронных манипуляторов уже позволили довести скорость передачи до 500—1000 слов в минуту.

Переход радиовещания в диапазон ультракоротких волн, особенно при применении частотной модуляции, является наиболее перспективным решением вопроса о помехозащищенности приемного устройства и повышении качества радиоприема благодаря возможности уменьшения нелинейных искажений и снижению влияния индустриальных помех.

## Глава 5. РАДИОПРИЕМНЫЕ УСТРОЙСТВА

В решении проблем надежной радиосвязи, высокого качества передачи и приема радиовещания и

телевидения, своевременного и уверенного обнаружения целей в радиолокации, точности определения местоположения в радионавигации, высокой точности регистрации внеземных источников радиоизлучения в радиоастрономии огромную роль играет радиоприемное устройство, или, как принято говорить, радиоприемник.

От первого радиоприемника (рис. 8), созданного изобретателем радио А. С. Поповым в 1895 г. для приема затухающих колебаний, до современных профессиональных и радиовещательных приемников техника радиоприема прошла большой путь развития. Это развитие шло в направлении постоянного

улучшения всех качественных показателей приемной аппаратуры, освоения новых диапазонов волн, расширения областей применения радиоприемных устройств и совершенствования технологии производства.

Общие тенденции развития радиосвязи и радиовещания — переход от затухающих к незатухающим колебаниям, от длинных к коротким волнам в телеграфной и телефонной радиосвязи, к ультракоротким волнам в местном радиовещании, к дециметровым и сантиметровым волнам в телевидении, радиолокации и радиорелейных линиях связи — сказались на развитии радиоприемной техники. Эти тенденции привели к почти полному отказу от детекторных приемников и приемников прямого усиления.

Основной схемой современного радиоприемника является супергетеродинная, позволившая осуществить коренной перелом в технике радиоприема.

По сравнению со схемами прямого усиления супергетеродинный приемник обладает более высокой чувствительностью, лучшей избирательностью и повышенной помехоустойчивостью.

Рис 8. Радиоприемник А. С. Попова, выпуск фирмы Дюкрете

На протяжении 30 лет, прошедших со времени изобретения схемы супергетеродинного приемника, продолжалось непрерывное совершенствование ее, определившее те высокие показатели, которыми обладает современный приемник.

О степени совершенства современной радиоприемной техники можно судить, например, по тому, что чувствительность приемного устройства радиотелескопа позволяет осуществить регистрацию радиоизлучения, приносящего к антенне ничтожную мощность, соответствующую примерно мощности, получаемой от лампочки карманного фонаря на расстоянии более 10 000 км.

Реализация такой высокой чувствительности в приемном устройстве весьма важна при решении задачи обеспечения надежной и уверенной дальней радиосвязи и тесным образом связана с проблемой помехозащищенности радиоприема. Очевиден и тот огромный экономический эффект при сооружении радиолиний связи, который зависит от решения задач повышения чувствительности и помехоустойчивости приемного устройства.

Предельная чувствительность приемного устройства ограничивается внутренними шумами, вызываемыми хаотическими колебаниями (флуктуациями) токов в цепях, деталях и лампах приемника.

Под помехоустойчивостью приемного устройства или линий радиосвязи понимается способность обеспечить правильное воспроизведение передаваемых полезных сигналов (телеграфных, телефонных, телевизионных и т. д.) в условиях действия внешних помех. Эти помехи — атмосферные, промышленные и от посторонних радиостанций (иногда умышленно создаваемые)—резко снижают отношение полезного сигнала к сигналу помехи, что существенно сказывается на качестве, надежности и устойчивости радиоприема.

В борьбе за помехоустойчивость приема большой вклад внесен советскими учеными и инженерами. Созданы методы пространственной, вероятностной, амплитудной и частотной избирательности, позволяющие значительно улучшить отношение сигнал — помеха и тем повысить помехоустойчивость радиоприема.

Классификация современных приемных устройств весьма обширна. Она учитывает области применения, диапазон рабочих волн, качественные показатели, систему питания и пр. Успехи, достигнутые в настоящее время, и задачи, стоящие перед техникой радиоприема, удобно рассмотреть на примерах радиовещательных и профессиональных приемников.

## Радиовещательные и телевизионные приемники

Радиопромышленность СССР выпускает радиовещательные приемники четырех классов, отличающиеся качественными показателями. Наиболее совершенными являются приемники первого класса, например «Мир», «Беларусь» и др.

Наиболее дешевые приемники, типа «Москвич», относятся к четвертому классу.

Одним из самых важных показателей любого радиовещательного приемника является качество звучания. Оно определяется выбором схемы (в частности, усилителя низкой частоты), а также электроакустическими характеристиками системы приемника (громкоговорителя, ящика). Современные тенденции развития требуют расширения полосы неискаженно воспроизводимых частот (от 30÷40 до 10÷20 тыс. гц) снижения нелинейных искажений, увеличения динамического диапазона звучания и правильного пространственного распределения звука.

Потребность в размещении большого числа передающих радиовещательных станций без взаимных помех, борьба за высокое качество звучания вызвали стремление к переходу радиовещания в диапазон ультракоротких волн. Лучшие современные радиовещательные приемники снабжаются УКВ диапазоном для приема частотно-модулированных передач.

Массовость производства радиовещательных приемников и применение конвейерной системы сборки предъявляют особые требования к конструкции приемника, взаимозаменяемости деталей и ламп, в связи с чем необходимо разрабатывать новые технологические процессы изготовления и сборки приемников. Огромное значение имеют также и экономичность конструкции и расход материалов (вес приемника). Каждый сэкономленный грамм в весе деталей, помноженный на миллионы выпускаемых приемников, превращается в тонны сэкономленного сырья и позволяет удешевить стоимость приемника и уменьшить расход дефицитных материалов.

В телевизионных приемниках, помимо общих требований повышения качества изображения и звукового сопровождения, существенным является увеличение размеров экрана и упрощение системы управления телевизором.

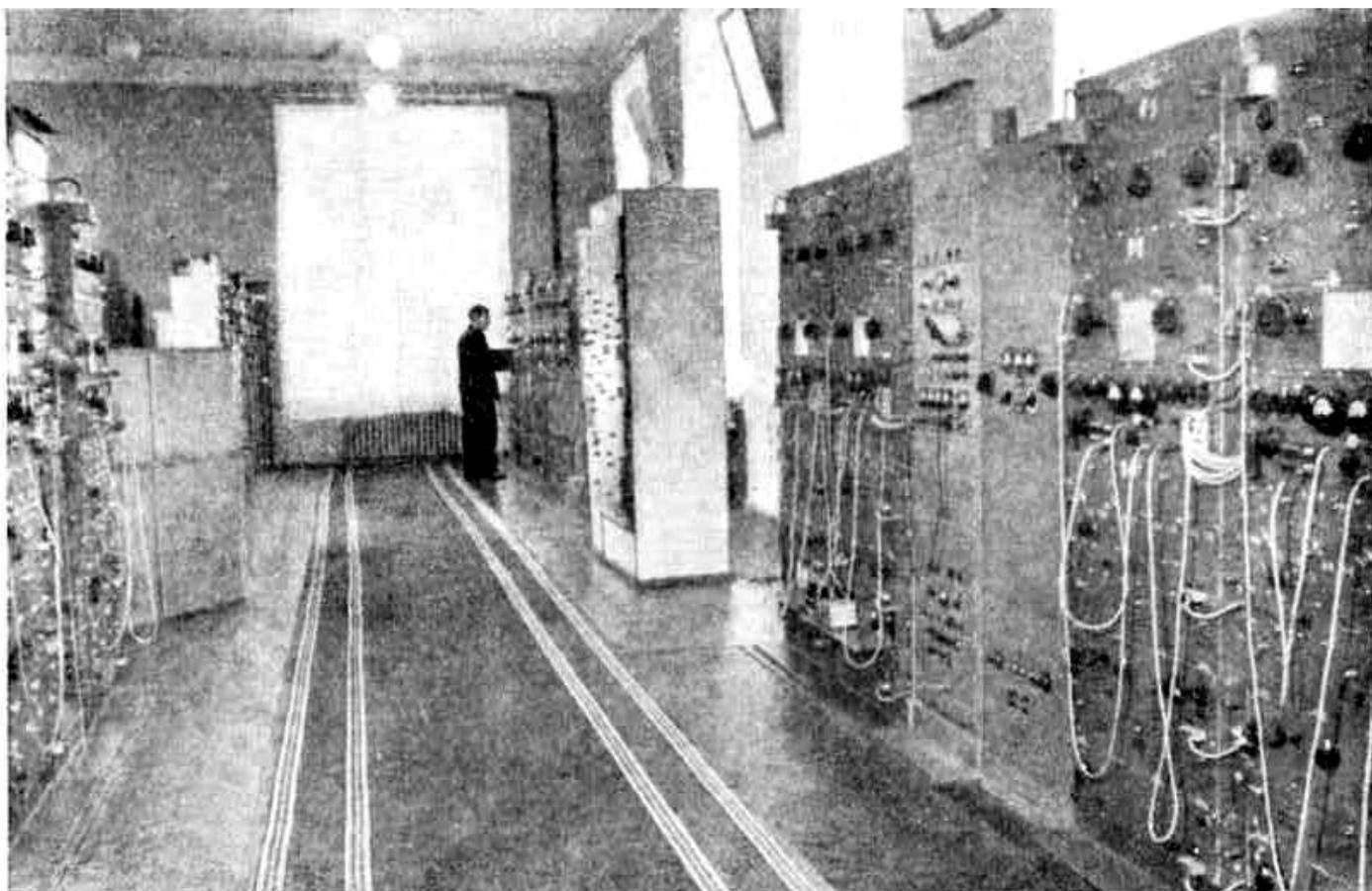


Рис.9 Зал приемников приемного радиоцентра

## Профессиональные приемные устройства

Основными показателями качества профессионального приемного устройства радиосвязи являются стабильность и помехозащищенность. В этих приемниках для повышения стабильности их работы нашли применение схемы автоматической подстройки частоты.

Применение новых систем фильтров, в частности электромеханических и узкополосных кварцевых, позволяет значительно улучшить частотную характеристику и избирательность приемника в отношении помех от соседних радиостанций.

Применение частотной или различных видов импульсной модуляции, систем сдвоенного и строенного приема значительно повышает помехоустойчивость профессиональных приемных устройств.

### Перспективы развития

Дальнейшее развитие общей теории передачи сообщений (теории информации), теории потенциальной помехоустойчивости, общей теории шумов повысит чувствительность и помехоустойчивость приемников, а разработка вопросов электроакустики и новых схем усиления низкой частоты улучшит качество воспроизведения.

Внедрение в конструкции приемных устройств полупроводниковых приборов особенно важно для уменьшения веса и размеров переносной радиоаппаратуры и повышения экономичности питания.

Расширение применения магнитных и усовершенствование диэлектрических усилителей, в сочетании с полупроводниковыми и ламповыми, разрешат многие вопросы создания необслуживаемых приемных устройств, повысят их надежность и срок службы.

Важнейшими задачами в области массового производства, приемников и их удешевления является создание новых магнитных и диэлектрических материалов, новых деталей, а также дальнейшая разработка технологических процессов.

## Глава 6. ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ

Параллельно с прогрессом радиотехники происходит развитие смежных отраслей науки и техники, в частности усовершенствование источников электрического питания радиоустройств.

Объем устройств электропитания в современной радиоаппаратуре доходит в среднем до 20÷30% от общего объема. Мощность отдельных источников питания радиоустройств различного назначения колеблется от долей ватта до сотен и тысяч киловатт. Величина напряжения, отдаваемого этими источниками, лежит в пределах от единиц вольт до нескольких десятков киловольт. Разработка новых радиосредств — радиолокации, радионавигации, радиотелеуправления — предъявляет повышенные требования к постоянству питающих напряжений во времени при изменении нагрузки и при изменении окружающих условий. Требования по стабильности напряжения выражаются нередко в десятитысячных долях процента.

В последнее время особое значение имеет проблема уменьшения габаритов и веса радиоаппаратуры. Решение ее требует широкого использования новейших достижений физики, химии и металлургии.

В качестве первичных источников электроэнергии в большинстве стационарных и бытовых радиоустройств используются промышленные электросети переменного тока с частотой 50 гц. Энергетическое оборудование современной мощной радиостанции представляет собой сложный и мощный комплекс, состоящий из понизительной подстанции, системы регулирующих и выпрямительных устройств, защиты, резерва и т. п. Представление о мощности этих установок можно получить, если принять во внимание, что общий энергетический коэффициент полезного действия радиостанции весьма мал и равен только 15÷25%, т. е. на каждый киловатт энергии, излучаемой радиостанцией, из первичного источника потребляется 5÷10 квт.

В качестве первичного источника применяются также специальные агрегаты с дизельными и бензиновыми двигателями. Мощность подобных агрегатов в настоящее время лежит в пределах от 0,5 до 100 квт, а в некоторых случаях применяются стационарные дизель-агрегаты значительно большей мощности.

Для уменьшения веса и габаритов источников питания в течение последнего десятилетия получили применение системы переменного тока с частотой 400 гц. Широкое распространение получили разного рода машинные преобразователи переменного тока частоты 50 гц и постоянного тока, напряжением до

220 в, в напряжение переменного тока частоты 400 гц и в различные напряжения постоянного тока. Ведутся работы по повышению частоты специальных систем электрического питания.

В будущем значение электромашинных источников питания радиоаппаратуры будет, по-видимому, повышаться, так как они позволяют хорошо решать вопросы преобразования первичного напряжения непосредственно в необходимые напряжения постоянного тока, без трансформаторов, выпрямителей, фильтров. Положительным свойством электрических машин является относительно малое их внутреннее сопротивление, что обеспечивает меньшие изменения напряжения при изменении нагрузки, чем в случае других типов источников.

В качестве выпрямителей в настоящее время широко применяются вакуумные, газонаполненные и полупроводниковые приборы. К числу вакуумных выпрямителей относятся кенотроны, которые в настоящее время выпускаются промышленностью для обратных напряжений в несколько десятков киловольт и на токи до сотен миллиампер. Основным недостатком кенотронов является их большое внутреннее сопротивление и относительно малые токи на выходе, что вызывает необходимость параллельного включения ламп, усложнение схем, громоздкость и т. п.

Лучшими свойствами обладают газотроны и тиратроны. Современные газотроны и тиратроны изготавливаются на обратные напряжения до 60–70 кв при рабочем токе свыше ампера. Тиратроны дают возможность непосредственного регулирования и стабилизации напряжения. За последнее время газотроны и тиратроны во многих случаях вытесняют кенотроны.

Однако ни кенотроны, ни газонаполненные выпрямители в настоящее время не являются удовлетворительными в отношении коэффициента полезного действия, надежности и размеров.

Сейчас все большее применение получают полупроводниковые выпрямители — селеновые и германиевые. Выпускаемые в массовом порядке селеновые выпрямители позволяют упростить устройства питания и существенно повысить их надежность и компактность. Наша промышленность уже выпускает мощные высоковольтные селеновые выпрямители с рабочим напряжением порядка 60 кв на токи до нескольких сотен миллиампер. Эти выпрямители собираются в отдельном баке, заливаются трансформаторным маслом и по внешнему виду сходны с обычным масляным трансформатором. Эксплуатация подобных выпрямителей показала их высокую надежность.

Наша промышленность начала осваивать и выпускать германиевые выпрямительные элементы (диоды). Этот вид выпрямителей значительно превосходит селеновые по удельным нагрузкам и обратным напряжениям. Новые разработки Академии наук СССР показали возможность создания эффективных малогабаритных германиевых диодов на силы тока свыше 300 а. В ближайшем будущем должно быть налажено серийное производство таких выпрямителей.

Современные электронные стабилизаторы напряжения представляют собой довольно громоздкие и сложные устройства с относительно низким коэффициентом полезного действия. Создание портативных, обладающих высокой эффективностью стабилизаторов напряжения возможно путем использования полупроводниковых диодов и триодов.

Основной проблемой в этой области является разработка высокостабильных источников опорного напряжения. Ионные стабилизаторы-стабиловольты, которые главным образом применяются в настоящее время, обладают недопустимой температурной зависимостью и изменяют свои свойства при длительной работе. Серьезным конкурентом стабиловольтов могут явиться радиоактивные полупроводниковые элементы, о которых сказано в разделе полупроводниковых приборов.

Стабилизаторы напряжения переменного тока также получают все более широкое применение. Известные феррорезонансные стабилизаторы во многих случаях не пригодны из-за большой зависимости выходного напряжения от частоты, из-за громоздкости, малой точности стабилизации и малого коэффициента полезного действия.

Стабилизаторы переменного напряжения с применением дросселей насыщения могут быть построены более легкими, с повышенной степенью стабильности и независимыми от частоты. Однако существующие схемы все же приводят к относительно тяжелым конструкциям, вес которых возрастает по мере увеличения стабильности и мощности. Недостатком стабилизаторов этого типа является очень большое искажение формы кривой напряжения на выходе. Одной из задач, стоящих при создании источников питания, является также создание новых конструкций и схем стабилизаторов напряжения переменного тока без указанных выше недостатков.

В течение последних лет достигнуты большие успехи в создании новых типов сухих батарей. Новые батареи отличаются большой удельной емкостью, т. е. большими запасами энергии на единицу веса и объема. Существенно, что в этих батареях значительно уменьшен саморазряд, так что они допускают

хранение в течение двух лет без существенного ухудшения свойств. Большим достижением является создание сухих батарей, работающих в широком диапазоне внешних температур и в условиях повышенной влажности.

Наметились некоторые пути усовершенствования аккумуляторов, также играющих важную роль в некоторых специальных типах подвижной радиоаппаратуры и в других отраслях техники.

На очереди стоит вопрос о создании источников питания для радиоаппаратуры на базе использования внутриатомной энергии. Работы в этом направлении показывают, что в недалеком будущем подобные источники, вероятно, получат практическое применение, по крайней мере, в виде маломощных источников напряжения.

В течение шестой пятилетки будут проведены большие работы по созданию новых высококачественных источников питания радиоустройств, что, в свою очередь, обеспечит создание более совершенной радиоаппаратуры.

## *Глава 7. РАДИОИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА*

Всякая наука после первых шагов развития, когда она переходит от описания явлений природы к их глубокому изучению, обязательно использует измерение как метод познания. Особенно характерно это для всех областей физики. В ней развитие немыслимо без совершенствования методов и средств измерений. История науки знает много случаев, когда совершенствование техники измерений, повышение их точности, приводило к открытию неизвестных до этого явлений или закономерностей.

Не менее важную роль играют измерения во всех областях техники. Без измерений, дающих количественные характеристики предметов и явлений, невозможно контролировать производственные процессы, нельзя обеспечить однородность продукции, немыслимо современное производство. Развитие механизации и автоматизации производственных процессов еще более увеличивает роль измерений в технике. В любой области прикладных знаний измерительная техника всегда использует наиболее разнообразные и совершенные приемы и средства. Без преувеличения можно утверждать, что степень совершенства методов измерений и применяемых измерительных приборов является важнейшим показателем культуры современного производства.

Особо важную роль играют измерения при изучении и использовании электрических явлений. В других областях физики и техники органы чувств человека, как правило, позволяют непосредственно наблюдать явления и давать хотя бы грубую количественную оценку: «больше или меньше», «сильнее или слабее», «теплее или горячее» и т. д. Часто измерительные приборы являются только помощниками наших органов чувств или наших рук, позволяя сделать эти оценки точнее.

Совсем иначе дело обстоит в области электрических явлений, не воспринимаемых непосредственно органами чувств.

Для того чтобы «увидеть» электрический ток, напряжение или любую другую электрическую величину, нам всегда нужно специальное средство — электроизмерительный прибор.

Именно поэтому с самых первых шагов науки об электричестве появились такие приборы. Уже М. В. Ломоносов и Г. В. Рихман построили «указатель электрической силы», явившийся прообразом электрометров и современных электростатических вольтметров; с тех пор каждый шаг развития этой науки сопровождался созданием новых или совершенствованием прежних приборов и методов измерений. Очень скоро электроизмерения стали самостоятельной научной дисциплиной, достигшей очень высокой степени развития. То же самое произошло с радиоизмерениями: первым конструктором радиоизмерительных приборов был изобретатель радио А. С. Попов, и каждое новое изобретение или новое применение радиотехники и электроники приводило к появлению целого ряда методов измерений и измерительных приборов.

Роль измерений в радиоэлектронике еще значительней, чем в электротехнике. Обусловлено это использованием радиоэлектроникой значительно большего разнообразия таких явлений, как излучение электромагнитной энергии, электрических токов в разреженных газах и в вакууме, различных способов управления ею (модуляцией) и, наконец, применением огромного спектра частот от нуля (постоянный ток) до сотен тысяч мегагерц, вместо полосы частот в сотню герц, используемой электротехникой. Для измерения тех же величин, что и в электротехнике, в различных участках диапазона частот приходится применять принципиально отличные методы и приборы, а для контроля и изучения таких процессов, как модуляция или распространение радиоволн, применяется множество оригинальных методов и приборов.

Для радиоизмерений характерно не только большое разнообразие методов и приемов измерений, но также и огромные пределы измерений одних и тех же величин.

Уже отмечалось, что в радиоэлектронике используются, а, следовательно, и измеряются, частоты от долей герца до сотен тысяч миллионов герц.

Обычные для радиоэлектроники пределы измерения токов простираются от тысячных долей микроампера до тысяч ампер, напряжений — от долей микровольта до сотен киловольт, мощностей — от микроватт до миллионов ватт, сопротивлений — от тысячных долей ома до миллионов мегомов и т. п.

Одна из самых интересных областей радиоизмерений — это измерение частоты. Частота электрических колебаний является важнейшей характеристикой почти любого радиотехнического процесса. Естественно, что первыми радиоизмерительными приборами были частотомеры (в большинстве случаев их называют волномерами). В дальнейшем, одновременно с развитием радиосвязи, быстро развивалась и техника измерения частот. Это было обусловлено стремлением наиболее эффективно и полно использовать «каналы» радиосвязи без взаимных помех различных радиостанций, для чего необходимо точно знать и поддерживать частоты радиостанций. Измерения частот в настоящее время производятся с исключительно высокими точностями. Обычными являются измерения с погрешностями, не превышающими одной десятитысячной процента. Для некоторых случаев «технических» измерений точность повышается в десятки раз, а погрешности особо точных измерений не превышают десятимиллионных долей процента. Если бы существовали часы, идущие с такой точностью, то они бы «отставали» или «убегали» не более чем на одну секунду за 32 года. Это сопоставление приведено не только для наглядности. Измерения частоты и времени тесно связаны, так как частота определяется посредством времени и представляет собой число полных колебаний в секунду. Естественным эталоном времени всегда являлось суточное обращение Земли, и самые точные измерения частоты ведутся путем счета числа колебаний (разумеется, это делается автоматически) за время, измеряемое в единицах «солнечного времени». Однако для целей ускорения и упрощения измерений частоты какого-либо радиопередатчика лучше сравнить ее не непосредственно с частотой обращения Земли вокруг оси, а с частотой очень стабильного радиогенератора, которая систематически сличается с частотой обращения Земли. Стабильность, т. е. постоянство частоты во времени, таких радиогенераторов, по существу, и определяет точность измерений частоты. Уже несколько десятилетий специалисты улучшают стабильность генераторов, применяя для этой цели стабилизаторы из пьезоэлектрического кварца. В настоящее время стабильность таких генераторов уже заметно выше стабильности частоты обращения Земли. Вследствие воздействия на нашу планету сил притяжения других планет солнечной системы скорость ее вращения, а, следовательно, и длительность суток периодически несколько изменяются. Таким образом, «солнечное время» теперь уже не является достаточно точным эталоном, и дальнейшее повышение точности измерения частот возможно только в случае применения более точного эталона времени.

Более точными эталонами могут явиться частоты процессов, происходящих внутри молекул и атомов вещества.

Уже несколько лет ведутся работы по использованию как эталона частот поглощения в аммиаке. Установлено, что при прохождении электрических колебаний через газы при строго определенных частотах наблюдается поглощение этих колебаний. Частота поглощения определяется строением молекулы газа и практически не зависит от других факторов. Уже созданы стабилизированные таким путем высокочастотные генераторы, приводящие в действие часовые механизмы. Эти приборы называют «атомными часами». Пока эти эталоны частоты менее точны, чем генераторы со стабилизацией частоты пьезокварцами, однако они, несомненно, будут усовершенствованы.

Очень широко используются в радиоизмерениях явления электрического резонанса как в цепях с сосредоточенными постоянными (резонансные контуры с емкостями и индуктивностями), так и в цепях с распределенными постоянными (провода или волноводы с размерами, кратными четверти длины волны). Пользуясь резонансными методами, легко создать сравнительно простые и недорогие приборы, обладающие очень высокой чувствительностью. Сочетания явления резонанса с методами точного сравнения радиочастот («метод биений») позволяют, например, просто обнаруживать и оценивать изменения емкостей и индуктивностей, составляющие сотые или тысячные доли процента.

Весьма большое значение имеют в радиотехнике измерения мощностей, так как дальность действия радиосредств зависит от мощности радиопередатчика и от чувствительности радиоприемника. Особенно сложна задача измерения чувствительности. На сравнительно низких радиочастотах, применяющихся в

радиосвязи и радиовещании, чувствительность радиоприемников обычно оценивается в значениях минимального напряжения радиосигнала (в микровольтах) на входе радиоприемника, обеспечивающего нужную силу сигнала на выходе. На сверхвысоких частотах чувствительность оценивается значением мощности, так как при использовании волноводных линий передачи понятием электрического напряжения для практических целей пользоваться уже нельзя. Однако при обоих методах оценки чувствительности возникают, по существу, одинаковые проблемы. Чувствительность современных радиоприемных устройств составляет доли микроватта. Непосредственно, превращая мощность высокочастотных колебаний в тепло, удастся измерить только мощности до микроватта. Для их измерения приходится прибегать к множеству ухищрений, применять исключительно чувствительные к нагреву микроскопические нелинейные сопротивления, так называемые термисторы, служащие для поглощения измеряемой мощности. Однако чувствительность радиоприемников оценивается мощностями, которые в миллионы раз меньше мощности, поддающейся измерениям. Измерить ее непосредственно нельзя, и поэтому приходится применять специальный прием, называемый методом стандартного сигнала.

Слабый сигнал, напряжение или мощность которого должны быть измерены, заменяется эквивалентным сигналом от специального генератора. Мощность этого сигнала измеряется, а затем уменьшается в известное число раз специальными устройствами, обычно называемыми «аттенуаторами» (ослабителями). Таким путем удастся определить значения мощности или напряжения, соответствующие минимальным сигналам, воспринимаемым самыми чувствительными радиоприемниками, однако обеспечение правильного деления мощностей до этих значений требует применения довольно сложных технических средств. Следует также сказать, что в методе стандартных сигналов искусственный сигнал делается эквивалентным действительному не только по частоте и по величине, а также и по характеру передачи, т. е. по виду модуляции. Таким образом, генератор стандартных сигналов является как бы уменьшенной во много раз моделью реальной радиостанции, для приема которой рассчитан измеряемый приемник.

Однако в радиотехнике приходится измерять не только ничтожно малые мощности. Измеряются также мощности, исчисляющиеся сотнями и тысячами киловатт, что выдвигает трудности уже совсем другого рода. В последнее время для измерения значительных мощностей на сверхвысоких частотах начали использовать пондеромоторные силы электрического поля, т. е. те же способы, которыми П. Н. Лебедев измерил давление света. Очевидно, что электромагнитные радиоволны, падая на какие-либо препятствия, должны оказывать механическое давление на это препятствие так же, как давят на препятствие световые волны, имеющие ту же природу, что и радиоволны. Теория позволяет точно вычислить величину этого механического воздействия. Оно чрезвычайно мало, поэтому обнаруживающие его приборы необыкновенно чувствительны ко всяким внешним воздействиям и пока еще очень хрупки; однако ведутся работы по их совершенствованию, и можно надеяться, что со временем этот метод измерения мощностей станет общераспространенным.

Другой областью радиоизмерений, представляющей весьма большой интерес, является электронная осциллография. Зародилась она первоначально как средство исследования перенапряжений в электротехнике, но развивалась почти исключительно как средство радиотехники и электроники, оставив далеко позади требования электротехники.

Использование электронного пучка для записи зависимости электрического напряжения от времени позволяет регистрировать процессы, протекающие с огромными скоростями. В обычных осциллографах, являющихся совершенно необходимыми приборами для любой радиолоборатории, электронный луч вычерчивает на экране кривую со скоростью до сотен километров в секунду. В специальных осциллографах скорость записи измеряется тысячами километров в секунду. В результате этого удастся записывать или наблюдать процессы, протекающие в течение долей микросекунд. Благодаря массовому применению техники широкополосного усиления напряжений современные электронные осциллографы очень чувствительны, позволяют наблюдать и записывать напряжения от единиц до долей милливольт. Они применяются для наблюдения самых разнообразных временных процессов для периодических, так и непериодических, как очень быстрых, так и очень медленных.

\* \* \*

В кратком очерке невозможно даже бегло охарактеризовать все многочисленные и разнообразные отрасли радиоизмерений. Для примера мы выбрали наиболее характерные. Следует, однако, добавить, что развитие радиоизмерений благоприятно отразилось не только на технике электроизмерений, но и на

многих других областях техники. Как электроника все больше проникает в самые различные области науки и техники, так и радиоизмерения проникают в измерительную практику этих областей. Ярким примером этого может служить исключительно широкое применение электронной осциллографии. Электронно-лучевой осциллограф с периодической временной разверткой, появившийся как типичный радиотехнический прибор, используется в настоящее время для самых разнообразных целей в машиностроении, в строительстве сложных инженерных сооружений, в медицине и т. д. для наблюдения процессов, связанных с изменениями во времени различных величин, в том числе и не электрических.

Высокая чувствительность радиотехнических методов измерения частот, сопротивлений, емкостей и индуктивностей позволяет широко использовать их для измерения малых значений таких физических величин, как перемещение, давление, температура, совмещая для этого механические измерительные приборы с электрическими устройствами, например с подвижными электродами конденсаторов, с подвижными магнитными сердечниками катушек индуктивности и т. п.

Изменение диэлектрических свойств различных материалов от нежелательных примесей, например от влажности, позволило и здесь использовать радиотехнические методы измерения емкостей и сопротивлений. Широко применяются они, в частности, для контроля влажности зерна, древесины, пряжи, для контроля электролитических процессов. Нет сомнения в том, что дальнейшее развитие радиоизмерений еще больше обогатит различные области техники.

## *Глава 8. РАДИОДЕТАЛИ И РАДИОМАТЕРИАЛЫ*

Любой вид радиоаппаратуры представляет комплекс большого числа разнообразных элементов (радиодеталей) — сопротивлений, конденсаторов, трансформаторов, реле, переключателей, ламповых панелей и т. д. Некоторые виды современной радиоаппаратуры содержат несколько тысяч и даже десятков тысяч отдельных радиодеталей. Очевидно, что конструкция и технические показатели радиоаппаратуры в значительной степени определяются особенностями примененных радиодеталей. В свою очередь, основные тенденции развития современной радиоаппаратуры определяют задачи, которые надлежит решать ученым и инженерам, работающим в области радиодеталей и радиоматериалов.

Отечественная промышленность радиодеталей и радиоматериалов оформилась как специальная область техники, в сущности, только в послевоенные годы. В короткий срок были созданы и внедрены в массовое производство несколько видов радиоматериалов и радиодеталей общего назначения с существенно улучшенными техническими показателями. Прогресс радиоэлектроники, — а именно решение более сложных технических и тактических задач, применение в радиоаппаратуре полупроводниковых приборов, печатных схем и новых методов производства, — выдвинул в области радиодеталей новые проблемы: повышение эксплуатационной надежности, увеличение верхнего предела рабочей температуры, уменьшение размеров и веса, снижение себестоимости и брака, особенно за счет механизации и автоматизации процессов производства и контроля.

На успешное решение этих и некоторых других задач, связанных с созданием в короткое время комплекса радиодеталей и радиоматериалов, удовлетворяющих современным и перспективным требованиям и не уступающих лучшим образцам зарубежной техники, были направлены в последние годы усилия советских ученых и специалистов промышленности. Работы ведутся по разработке принципиально новых видов радиодеталей и радиоматериалов, а также по усовершенствованию существующих изделий, например за счет более глубокого изучения предельных значений их характеристик и причин, вызывающих преждевременный выход радиодеталей из строя при их эксплуатации в различных условиях.

Необходимо отметить, что работы по снижению размеров и стоимости радиодеталей дадут большой экономический эффект, так как наша промышленность выпускает в год миллионы деталей массового применения.

Проблемой для отечественной промышленности радиодеталей и радиоматериалов остается задача создания и выпуска в необходимых масштабах современного высокопроизводительного технологического и измерительно-испытательного оборудования.

Номенклатура радиодеталей и радиоматериалов чрезвычайно широка и разнообразна, поэтому ниже будут кратко рассмотрены только некоторые из наиболее распространенных или перспективных видов радиодеталей и радиоматериалов.

## Радиоконденсаторы

В настоящее время в различных видах радиоаппаратуры широко применяются конденсаторы — бумажные, металлобумажные, слюдяные, электролитические и керамические. Эти виды конденсаторов обладают достаточно высокой эксплуатационной надежностью, номенклатура их типоминималов по величине емкости и по рабочим напряжениям такова, что оказывается возможным проектирование большинства видов радиоаппаратуры. Однако применение указанных конденсаторов в некоторых современных радиоустройствах затрудняется их недостаточной теплостойкостью ( $60\text{—}70^\circ$ ) и чрезмерно большими габаритами. В связи с этим в последние годы были разработаны новые виды конденсаторов с уменьшенными размерами, допускающие работу при температуре  $100$  и даже  $150^\circ$ . Наряду с решением проблемы теплостойкости, советским исследователям пришлось решать проблему влагозащитной герметизации конденсаторов при высоких температурах.

На основе органического диэлектрика разработаны бумажные и металлобумажные конденсаторы, работающие в диапазоне температур до  $100^\circ$ ; для работы при  $150^\circ$  созданы конденсаторы из пленки фторопласта-4. Новые конденсаторы с бумажным диэлектриком имеют при температуре  $85^\circ$  размеры меньшие, чем конденсаторы старых типов, работающие при температуре не выше  $70^\circ$ . В пленочных конденсаторах применяется новый принцип герметизации путем спая керамики с металлом через тонкий промежуточный слой стекла со специально подобранным коэффициентом теплового расширения. Актуальной задачей является создание малогабаритных теплостойких пленочных конденсаторов по широкой номенклатуре емкостей и напряжений, аналогичных зарубежным конденсаторам из пленки типа «майлар».

Наибольшее снижение размеров получено в серии низковольтных ( $4 \div 160$  в) конденсаторов — для полупроводниковой техники. Сюда можно отнести следующие виды: а) конденсаторы из сверхтонкой бумаги толщиной  $4 \mu$ , покрытые оболочкой из влагостойкого материала; б) металлобумажные цилиндрические конденсаторы, в которых влагозащита обеспечена уплотнением из органических материалов; в) стирофлексовые высокочастотные цилиндрические конденсаторы; г) электролитические конденсаторы с объемно-пористыми анодами из тантала и ниобия; в этих видах конденсаторов достигнута чрезвычайно большая удельная емкость (порядка  $1000 \text{ мкф/см}^3$ ), полученная за счет увеличения эффективной поверхности в пористых анодах; д) керамические дисковые, трубчатые, пластинчатые и пленочные конденсаторы; использование сегнетокерамики с весьма большой диэлектрической проницаемостью и многослойных пакетов из тонкой керамической пленки позволило получить удельные емкости до  $300\,000 \text{ пф/см}^3$  и емкости, величиной до  $1 \text{ мкф}$ . Широкому применению большинства видов новых малогабаритных и теплостойких конденсаторов препятствует их дефицитность и высокая стоимость.

## Непроволочные сопротивления

Развитие техники непроволочных сопротивлений тесно связано с результатами работ по исследованию особенностей проводимости определенных видов полупроводников и по созданию оригинальных видов металлизированных и объемных проводящих элементов.

В послевоенные годы наша промышленность освоила массовое производство углеродистых и металлизированных малогабаритных постоянных сопротивлений, которые имеют значительно большую стабильность и теплостойкость, чем сопротивления старых типов на лакосажевой основе. Внедряются в производство малогабаритные теплостойкие переменные сопротивления объемного типа с улучшенными показателями.

Наша промышленность освоила также производство некоторых видов непроволочных сопротивлений для специального применения: высоковольтные, ультравысокочастотные, прецизионные и др. Прецизионные бороуглеродистые и металлизированные сопротивления, имеющие весьма небольшой температурный коэффициент ( $1\%$  на  $100^\circ$ ), могут заменить проволочные прецизионные сопротивления и дадут выигрыш в размерах, стоимости и надежности работы. Для полупроводниковой техники разработаны сопротивления очень малых габаритов (диаметр  $2 \text{ мм}$ , длина  $6 \text{ мм}$ ).

Ведется разработка и внедрение в производство нелинейных непроволочных термо- и фотосопротивлений. Медно-марганцевые и кобальто-марганцевые термосопротивления в заметных пределах меняют величину сопротивления (до  $6\%$  на  $1^\circ$ ), что позволяет применять их для измерения и регулировки температуры, температурной компенсации и т. д.

Фотосопротивления, изготавливаемые из сернисто-свинцовых, сернисто-кадмиевых и сернисто-

висмутовых соединений, находят все более широкое применение в радиоаппаратуре, где они с большим эффектом заменяют вакуумные фотоэлементы, благодаря чрезвычайно большой чувствительности (превышающей чувствительность некоторых фотоэлементов в тысячи раз) и весьма малым размерам.

### **Органические материалы**

Прогресс в области органических материалов в значительной мере связан с успехами химии высокомолекулярных соединений. Создан ряд термопластичных и терморезистивных полимеров, в которых сочетается повышенная теплостойкость с высокой влагостойкостью и хорошей прилипаемостью (адгезией) к металлическим и керамическим поверхностям. Расширяется применение кремнийорганических соединений и фторорганических материалов (фторопластов). На основе кремнийорганических смол промышленностью выпускаются прессматериалы, стеклотекстолит, лаки, а также масла и смазки. В этих материалах обеспечивается сочетание хороших электрических показателей с возможностью работы при весьма низких (до  $-70^{\circ}$ ) и весьма высоких ( $200-250^{\circ}$ ) температурах.

Из фторорганических соединений следует отметить твердые диэлектрики — политетрафторэтилен (фторопласт-4) и политрифторхлорэтилен (фторопласт-3). Фторопласт-4 применяется в технике сверхвысоких частот для изготовления установочных деталей; в узлах аппаратуры, где имеется высокая температура; для изготовления теплостойких пленок. В этом материале сочетается много ценных свойств: большой диапазон рабочих температур (от  $-60$  до  $+200^{\circ}$ ); высокая электрическая прочность; исключительная химическая стойкость к агрессивным средам; ничтожно малые потери на высоких частотах, возможность механической обработки для получения деталей разнообразной формы. Фторопласт-3 имеет преимущество перед фторопластом-4 по твердости, но менее теплостоек. Он пригоден для изготовления установочных деталей в низкочастотных цепях аппаратуры и для получения конденсаторных и антикоррозийных пленок.

Кроме этих материалов, в исследовательских институтах разработаны смолы, на основе которых может быть успешно решена задача защиты от воздействия тропической влажности радиодеталей и радиоаппаратуры, работающих при высоких температурах окружающей среды. К таким материалам относятся: полиамиды, полиэферы, эпоксиды и полиуретаны. На основе различных модификаций этих смол созданы компаунды, пластмассы, лаки и клеи на рабочие температуры в пределах от  $-60$  до  $+120^{\circ}$ , с хорошими электрическими, механическими и технологическими свойствами. В последнее время созданы образцы смол других классов, которые, однако, еще не получили широкого распространения.

Для конденсаторостроения и для других радиотехнических применений особенно большой интерес представляет полиэтилентерефталат (лавсан), разработанный Институтом высокомолекулярных соединений АН СССР. Из этого материала могут быть получены сверхтонкие (до  $6,5 \mu$ ) механически прочные пленки, обладающие высоким значением электрической прочности и сопротивления изоляции при температурах до  $125^{\circ}$  и ничтожно малым эффектом старения. Подобные пленки, выпускаемые за рубежом под названием «майлар», нашли широкое применение в качестве теплостойкой изоляции конденсаторов, трансформаторов и других изделий. Большие перспективы в качестве теплостойкого пропитывающего состава имеет низкомолекулярный полиизобутилен, известный за рубежом под названием «витамин Q».

Широкое внедрение в практику этих перспективных материалов ограничивается их дефицитностью, высокой стоимостью и недостаточной отработанностью технологии их изготовления и применения. Актуальной задачей является дальнейшее совершенствование таких материалов и создание типовой технологии обработки ими различных изделий (покрытия, пропитки, заливки и т. п.), а также скорейшая организация промышленного производства новых материалов и доведения их до технического уровня, достигнутого за рубежом.

### **Неорганические материалы**

Наибольшее значение среди неорганических материалов имеют электро- и радиокерамика, в области производства которых достигнуты значительные успехи. Научный подход к решению производственных вопросов позволил изготавливать в заводских условиях радиокерамику с заметно улучшенными свойствами. При этом решались следующие задачи: а) разработка новых видов сегнетокерамики; б) улучшение электрических свойств и стабильности конденсаторной керамики; в) повышение механической прочности установочной керамики.

Сегнетокерамика применяется, в основном, для конденсаторов постоянной емкости низкой частоты,

для нелинейных элементов и для пьезоэлементов. Сегнетокерамика, с успехом применяемая в качестве нелинейных элементов (вместо электронных ламп) в диэлектрических усилителях, умножителях частоты, модуляторах, стабилизаторах напряжений и других устройствах, выпускается пяти типов под маркой ВК (вариконд). В этом материале величина диэлектрической проницаемости при изменении величины приложенного напряжения в области малых градиентов потенциала изменяется в большей степени, чем у ранее выпускавшихся керамических сегнетоэлектриков. Важно отметить, что нелинейные свойства варикондов мало меняются в широком диапазоне частот и температур. Новые пьезоэлементы из сегнетокерамики обладают достаточно высокой стабильностью и применяются в ультразвуковой технике, для звукоснимателей и в других областях техники.

Конденсаторная керамика включает широкий ассортимент материалов, используемых для изготовления разнообразных видов конденсаторов: термостабильных, термокомпенсирующих, высокочастотных, низкочастотных и импульсных на низкие и высокие рабочие напряжения. Имеется несколько видов установочной керамики, отличающихся: а) малым значением тангенса угла потерь; б) особо высокой стабильностью; в) простотой изготовления крупных деталей; г) высокой механической и термической стойкостью. Проблема широкого внедрения в производство новых керамических материалов с улучшенными свойствами заключается в необходимости создания совершенного, высокопроизводительного технологического оборудования.

Необходимо также отметить успехи в области неорганических материалов в части разработки высокочастотных стеклоэмалей, позволяющих заменить слюду в конденсаторах, а также в части некоторых специальных стекол, включая стекла с управляемой величиной коэффициента теплового расширения для электровакуумной промышленности и для вакуумной герметизации конденсаторов.

### Магнитные материалы

Развитие техники магнитных материалов происходило в послевоенные годы в области магнитно-твердых и магнитно-мягких материалов. Работы по материалам для постоянных магнитов велись в направлении получения сплавов с большим значением коэрцитивной силы, повышенным значением внешней энергии в единице объема и уменьшения содержания дефицитных компонентов.

Магнитно-мягкие листовые материалы, применяемые в основном для сердечников радиотрансформаторов промышленной и звуковой частоты, совершенствовались в отношении уменьшения потерь и повышения магнитной проницаемости и индукции насыщения. Были разработаны новые тонкие и сверхтонкие холоднокатаные ленточные кремнистые и пермаллоевые текстурованные стали, обладающие резко улучшенными магнитными свойствами вдоль проката (текстуры). Использование текстурованных сталей позволяет уменьшить размеры, вес и качество силовых, низкочастотных и импульсных трансформаторов. Однако стоимость этих сталей остается еще достаточно высокой.

Порошковые магнитные материалы (магнитодиэлектрики), используемые для изготовления сердечников высокочастотных катушек индуктивности, совершенствовались в отношении уменьшения потерь на высокой частоте и повышения величины и стабильности магнитной проницаемости. Разработаны и освоены в промышленном производстве сердечники на основе порошков карбонильного железа, альсифера и пермаллоя. Потери в этих сердечниках, однако, еще достаточно велики.

Наибольшее значение из всех видов магнитных материалов для радиоэлектроники имеют ферриты — соединения окислов железа с окислами других металлов — цинка, никеля, лития и др., отличающиеся высоким удельным сопротивлением (до  $10^7$  ом/см), малыми потерями на высоких и сверхвысоких частотах, большим значением магнитной проницаемости. Изделия из ферритов можно изготавливать методами, используемыми при производстве керамических деталей.

Замена магнитодиэлектриков ферритами в катушках индуктивности позволяет заметно увеличить добротность катушек и уменьшить их объем и вес. Ферриты с успехом применяются также для сердечников импульсных, звуковых и телевизионных трансформаторов, в магнитных антеннах, запоминающих устройствах электронных математических машин, в магнитных усилителях и т. д.

Особенно большой технический и экономический интерес представляет применение ферритов в технике сверхвысоких частот, где используется свойство ферритов в намагниченном состоянии менять плоскость поляризации электромагнитных колебаний (эффект Фарадея), а также свойство изменять фазу электромагнитных колебаний при прямом и обратном движении волны через феррит. Использование этих свойств позволило создать ряд элементов сверхвысокочастотного тракта.

Недостатком ферритов, ограничивающим их применение в некоторых видах радиоэлектронной

аппаратуры, является сравнительно невысокая температурная стабильность магнитной проницаемости (до 0,6% на 1°).

Неотложной задачей промышленности является организация массового производства ферритов с улучшенными характеристиками. Одновременно следует продолжать в более широких масштабах научно-исследовательские и технологические работы по созданию новых видов ферритов, полностью удовлетворяющих требованиям современной радиоэлектронной аппаратуры.

## Глава 9. ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫЕ ПРИБОРЫ И ЭЛЕКТРОНИКА

Первые электронные лампы, или, как их прежде называли, «катодные лампы», появились около полувека тому назад. Их постепенный прогресс привел к превращению старого беспроводного телеграфа в современную радиоэлектронику, охватывающую много областей техники: радиосвязь, радиовещание, телевидение, радиолокацию, радионавигацию и др. Этому в огромной степени содействовал быстрый прогресс физики, благодаря чему возникла новая большая отрасль — ядерная техника, основанная на результатах изучения процессов, протекающих в ядре атома. Электроника — родная сестра ядерной техники; она базируется на явлениях, связанных с электронной оболочкой атома, — на поведении электронных потоков в газах и вакууме.

Сущность любого электровакуумного прибора заключается в том, что с помощью такого прибора можно как бы «извлечь» электрические сигналы из проводника и подвергнуть их определенным воздействиям: усилению, модуляции, умножению или делению частоты, суммированию амплитуд, ограничению, дифференцированию, интегрированию и многим другим преобразованиям.

В нашей стране производится огромное количество электровакуумных приборов различных типов и назначений, начиная от сверхминиатюрных лампочек и кончая специальными приборами, требующими для своей установки особых помещений и потребляющими мощности в несколько сотен и даже тысяч киловатт.

Такое разнообразие приборов обусловлено некоторыми свойствами электронных потоков, которые, в основном, сводятся к следующим.

1. Малая инерция и большая скорость движения, обеспечивающие осуществление быстродействующих, безинерционных и сверхвысокочастотных приборов.

2. Свойство концентрации энергии электронных потоков, которое обеспечило получение кратковременных импульсов с мощностью, измеряемой десятками тысяч киловатт, или длительно действующих мощностей в сотни и тысячи киловатт.

3. Свойство дробимости, которое позволило выделять микроскопические количества энергии, измеряемые миллиардными долями микроватта, и управлять ими.

Перечисленные выше и другие свойства электронных потоков позволили создать электронные приборы, обеспечивающие решение таких задач, которые не могут быть решены никакими механическими средствами. Аппараты, использующие электровакуумные, полупроводниковые и вспомогательные приборы, обеспечивают решение большого количества проблем народного хозяйства и обороны. В таких аппаратах электровакуумные приборы играют основную роль, определяя их важнейшие технические, тактические и эксплуатационные характеристики.

Электровакуумные приборы широко используются во всех отраслях народного хозяйства нашей страны. Помимо радиосвязи, телевидения, радиолокации они находят широкое применение в исследовательских лабораториях, системах управления и автоматизации, в энергосистемах, на транспорте, на предприятиях химической, деревообрабатывающей, пищевой промышленности, в медицине, георазведке, метеорологии, астрономии и т. д.

Выпускаемые нашей промышленностью электровакуумные приборы можно подразделить на следующие группы.

1. Приемно-усилительные лампы.

2. Мощные лампы для генерирования высокочастотной энергии и преобразования электрического тока.

3. Специальные приборы для генерирования и преобразования энергии сверхвысокой частоты — магнетроны, клистроны, волновые лампы и т. д.

4. Электронно-лучевые трубки для телевидения, радиолокации, техники измерений, техники применения инфракрасного излучения и т. д.

5. Ионные (газоразрядные) приборы: ртутные выпрямители, газотроны, тиратроны, газовые

разрядники и т.д.

Приемно-усилительные лампы образуют наиболее обширную группу электровакуумных приборов. Они выпускаются по сериям, отличающимся напряжением накала (1; 2,2; 6,3; 12,6 в), анодным напряжением (80—300 в), габаритами (нормальные лампы, малогабаритные, пальчиковые и др.). Каждая серия включает наиболее употребительные лампы для отдельных участков схемы приемника или телевизора (смесители, высокочастотные пентоды, двойные триоды, диоды, низкочастотные или выходные пентоды и др.).

Приемно-усилительные лампы до последнего времени не обладали достаточной надежностью работы. Наличие стеклянного баллона, сеток, навитых из тонкой проволоки, хрупких катодов, спаев металла со стеклом, работающих при высоких температурах, вызывало нередкие аварии, понижение параметров и преждевременные выходы ламп из строя. Номинальный срок службы ламп выражался в 500—1000 часов, но нередко лампы выходили из строя задолго до окончания номинального срока.

Проведенные исследования показали наличие физико-химических процессов, протекающих в работающей лампе, которые постепенно или внезапно выводят ее из строя. Сюда относятся потери вакуума, растрескивание стекла, выделение окклюдированных газов, образование на катоде тонких пленок, загрязнение электродов продуктами испарения и т. д. В результате таких исследований, а также в результате конструкторских и технологических разработок удалось повысить срок службы некоторых ламп до 5000 часов и более. Стала возможной работа ламп в условиях повышенной температуры (до 125°), пониженного давления (например, для высоты до 15 км) и сильных вибраций, имеющих место, например, в зенитных снарядах и высотных ракетах. Однако исследования по повышению надежности работы электровакуумных приборов еще далеко не завершены. В настоящее время открываются возможности повышения надежности работы радиоэлектронной аппаратуры применением «прогнозирования» возможных выходов из строя электровакуумных приборов. Такое прогнозирование требует дополнительных приспособлений в аппаратуре для периодической проверки значений крутизны или других параметров электровакуумного прибора при различных питающих напряжениях.

Можно полагать, что в недалеком будущем электровакуумные приборы станут вполне надежными приборами; тогда их не надо будет включать в ламповые панели, как это делается сейчас, а можно будет просто запаивать в схему приемника или телевизора, как запаивают сопротивления и конденсаторы.

Наиболее перспективной группой электровакуумных приборов являются специальные приборы для сверхвысоких частот. К ним относятся магнетроны, клистроны, лампы с бегущей волной и лампы с обратной волной. С развитием техники этот список может пополниться новыми, в настоящее время неизвестными приборами.

Многорезонаторный магнетрон, изобретенный советскими специалистами накануне второй мировой войны, уже прошел значительный путь развития. Он воплощается в десятках вариантов для импульсного и непрерывного генерирования на фиксированной или перестраиваемой рабочей волне. Максимальная импульсная мощность доведена до нескольких тысяч киловатт, а максимальная мощность непрерывного генерирования — до нескольких десятков киловатт. Необходимо в ближайшие годы повысить надежность работы магнетрона (путем внедрения новых типов катодов) и срок его службы, улучшить методы перестройки и расширить диапазоны перестройки.

Ко второй группе приборов СВЧ можно отнести клистроны, в которых управление электронным потоком производится путем изменения скорости потока. Использование взаимодействия электронного потока с электромагнитным полем объемных резонаторов позволило осуществить клистронный усилитель и генератор сантиметровых и миллиметровых волн. Этот прибор, до недавнего времени считавшийся маломощным, строится теперь на мощности в несколько десятков тысяч киловатт в импульсе. Однорезонаторные конструкции отражательных клистронов применяются исключительно в гетеродинах приемных устройств сантиметровых и миллиметровых волн. Применение ферритов позволяет надеяться на осуществление конструкций клистронов с широкими диапазонами электрической перестройки рабочей волны.

К последней группе можно отнести электронно-волновые приборы, основанные на взаимодействии электронного потока с электромагнитным полем. Лампы с бегущей волной (ЛБВ) уже получают широкое применение в качестве усилителей сверхвысокой частоты, обеспечивающих большое усиление с широкой полосой пропускания и при низком уровне шумов. Они могут служить в качестве генераторов СВЧ, перестраиваемых в широких Диапазонах частот.

Разновидность ЛБВ — лампы с обратной волной (ЛОВ)— обеспечивают генерирование значительных мощностей СВЧ при возможности плавной подстройки частоты изменением величины

ускоряющего напряжения. Эти лампы имеют широчайшие перспективы применения в самых различных областях.

Специальные приборы СВЧ требуют проведения значительных научно-исследовательских работ. Характерными направлениями таких работ являются исследования длинных и равномерных по плотности электронных пучков, их излучения (катоды), фокусирования, учет пространственного заряда, расчет электродов сложной конфигурации, создание замедляющих систем и их согласование с внешними цепями, изучение поведения электронных потоков в электромагнитных полях и пр. Отличительной чертой многих таких работ является их поисковый характер. Таковы, например, работы по изысканию и проверке новых методов генерирования (многолучевые системы, системы со скачками потенциала, приборы со змеевидным электронным пучком и др. Подобные системы выгодно отличаются отсутствием замедляющих систем и простотой конструкции).

Заводы, выпускающие электровакуумные приборы, работают в самой тесной кооперации со множеством смежных предприятий, поставляющих строго кондиционные исходные материалы и полуфабрикаты. Сюда относятся различные сорта стекол, черные, цветные и редкие металлы, сплавы, керамика, фосфоры, всевозможные химикаты и т. д.

Особенностями современного производства электровакуумных приборов являются рост степени механизации и автоматизации производственных процессов, большой объем контрольных и измерительных операций и жесткое соблюдение вакуумной гигиены.

Раньше производство строилось по принципу, так называемых, линеек, на которых осуществлялась ручная сборка ламп; детали ламп, собранные ножки, колбы и т. д. изготовлялись на станках, а в последнее время начинают изготовляться на высокопроизводительных автоматах (да 1000 операций в час и более). С помощью таких же автоматов выполняются и отдельные операции. С каждым годом в производство все больше внедряется автоматизация. Недалеко то время, когда начнут работать полностью автоматизированные цехи и заводы. Это обеспечит дальнейшее повышение производительности труда и улучшение качества выпускаемых приборов.

Подавляющее большинство электровакуумных приборов выпускается в виде так называемой отпаянной конструкции; здесь малейший незамеченный дефект в деталях или сборке, малейшее загрязнение приводят к браку всего прибора, потому что готовый прибор не может быть разобран для устранения неисправности. Поэтому особую важность приобретают контроль и измерения, которые должны выполняться почти после каждой операции, а число операций для отдельных типов ламп доходит до нескольких десятков.

Производство современных электровакуумных приборов требует соблюдения жестких правил вакуумной гигиены. Малейшие посторонние примеси, попадающие на электроды ламп, нарушают их характеристики, понижают качество и надежность их работы. В цехах и лабораториях приходится вводить строгое кондиционирование воздуха, принимать особые меры против загрязнения деталей и ножек на сборках. Простое прикосновение рукой к детали уже вызывает недопустимое загрязнение. Поэтому автоматизация производства приводит к повышению качества продукции.

Технология производства электровакуумных приборов теснейшим образом связана с научно-исследовательской работой. Для того чтобы приборы обладали заданными характеристиками и обеспечивали длительную и надежную работу, необходимо хорошо исследовать все исходные материалы, их состав, способность к физическим процессам и химическим реакциям, которые могут протекать при работе прибора. К таким процессам относятся выделение и поглощение газов накаливаемыми металлами и стеклом, осаждение продуктов испарения на электродах, возникновение вторичной электронной эмиссии и ее следствия, диффузия одного металла в другой, проникновение частиц вещества сквозь стекло при очень высокой степени вакуума и многие другие вопросы, которые не могут быть решены без проведения детальных физико-химических исследований. Только на базе таких исследований может быть построена современная технология электровакуумного производства.

Если электровакуумный прибор является основным элементом любого радиоэлектронного устройства, то сердцем самого прибора является катод. Катод излучает первичный электронный поток, подвергаемый в дальнейшем всевозможным воздействиям и преобразованиям. Неудивительно, что проблема создания эффективных, экономичных и долговечных катодов для различных классов электровакуумных приборов является одной из основных проблем, над разрешением которой напряженно работают многие ученые, конструкторы и изобретатели.

На заре радиотехники применялись простые металлические катоды. Известно, что чисто вольфрамовый катод при температуре нагрева до 2250° обеспечивает удельную эмиссию 0,1 а на

квадратный сантиметр излучающей поверхности катода. В дальнейшем в приемно-усилительных лампах стали применяться различные типы активных катодов, которые обеспечивали более высокую эмиссию и являлись более экономичными в отношении энергии накала. В мощных генераторных лампах чистый вольфрам служил материалом катодов до самого последнего времени. Для таких ламп только теперь начинают применять катоды активного типа.

Проблема катода еще более остро стоит перед специальными сверхвысокочастотными приборами. Для импульсных магнетронов требуются катоды с огромными значениями удельной эмиссии. Такие значения (до  $100 \text{ а/см}^2$ ) были получены, однако работа таких катодов не была устойчивой. Предстоит еще большой труд, прежде чем и этот класс приборов будет обеспечен катодами требуемого качества.

\* \* \*

Проектом Директив XX съезда КПСС намечена большая программа дальнейшего роста радиоэлектроники в Советском Союзе, обеспечивающая развитие радиотехнической и приборостроительной промышленности, и в особенности производства приборов для контроля и регулирования технологических процессов. По этой программе производство электровакуумных приборов должно за пятилетие возрасти в 2,6 раза. Одновременно будет развиваться научно-исследовательская и лабораторная база приборостроения, радиотехники и электроники и резко возрастет ее техническая вооруженность. Для лучшего оборудования предприятий электровакуумной промышленности осваивается производство высокопроизводительных машин, станков и автоматов.

Дальнейшее развитие электроники связано с ростом производства и улучшением сортамента цветных и редких металлов — никеля, молибдена, вольфрама, титана, германия, циркония, ниобия, тантала и др. Этому же способствует соответствующее развитие химической промышленности.

Увеличение выпуска электровакуумных приборов предусматривает полное обеспечение электронно-лучевыми трубками растущего производства телевизионных приемников — телевизоров. Выпуск полупроводниковых приборов увеличивается в несколько десятков раз. Новый пятилетний план открывает широчайшие перспективы развития радиотехники и электроники и их внедрения во все отрасли народного хозяйства нашей страны.

## *Глава 10. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ*

Наряду с электронными лампами, широкое применение получают новые приборы — полупроводниковые диоды, триоды и тетроды. Подобно тому, как около 40 лет назад электронные лампы совершили переворот в радиотехнике, в настоящее время появление полупроводниковых приборов представляет очень большой прогресс в радиоэлектронике. Имеются все основания считать, что полупроводниковые приборы в недалеком будущем будут применяться в большинстве радиотехнических схем и сделают их более надежными, с большим сроком службы, экономичными и компактными.

Во время второй мировой войны перед радиоспециалистами возникла неотложная задача перевода радиолокации на сантиметровые волны. Имевшиеся в то время электронные лампы не могли осуществить детектирование и преобразование сантиметровых волн. Поэтому вновь нашли применение кристаллические детекторы — сначала из кремния, а затем из германия.

Кремний и германий принадлежат к группе полупроводников, занимающих по своим свойствам промежуточное положение между металлами (проводниками) и диэлектриками (изоляторами).

Исследование свойств полупроводников, разработка методов получения сверхчистых полупроводников и выяснение влияния примесей позволили, кроме полупроводниковых детекторов-диодов, разработать полупроводниковые усилители—триоды и тетроды. Конечно, характеристики полупроводниковых триодов сильно отличаются от характеристик электронных ламп, поэтому полупроводниковый триод не может быть просто включен в схему вместо электронной лампы. В специальных схемах, разработанных с учетом особенностей полупроводниковых триодов, они успешно конкурируют с электронными лампами.

Полупроводниковые приборы обладают некоторыми преимуществами перед электровакуумными лампами. Отсутствие накаливаемого катода экономит мощность, расходуемую на накал катодов ламп, и уменьшает количество тепла, выделяемого в аппаратуре, что, в свою очередь, позволяет уменьшить габариты аппаратуры.

К недостаткам полупроводниковых приборов относятся сравнительно высокий уровень шумов, а также меньшая — по сравнению с электронными лампами — предельная частота и выходная мощность.

Полупроводниковые триоды хорошо работают от источников питания с напряжением всего лишь в несколько десятков и даже единиц вольт. Это также уменьшает необходимую мощность источников питания и мощность, рассеиваемую в деталях схемы и в самих полупроводниковых триодах, по сравнению со схемами на электронных лампах.

Современные маломощные полупроводниковые триоды имеют объем порядка  $0,1 \text{ см}^3$ , т. е. в сотни раз меньший, чем объем электронных ламп равной мощности. Это позволяет значительно уменьшить вес и объем радиоаппаратуры.

В полупроводниковых триодах отсутствуют сетки и вся сравнительно хрупкая конструкция электронной лампы. Поэтому современные полупроводниковые приборы, особенно так называемые плоскостные триоды, не боятся ударов и вибраций, что в ряде случаев весьма существенно.

Полупроводниковые приборы при нормальных условиях эксплуатации имеют срок службы в десятки тысяч часов. Это повышает надежность радиоэлектронной аппаратуры и позволяет внедрить радиотехнические методы в те области, где они не могли применяться ранее из-за недостаточного срока службы электронных ламп.

Применение полупроводниковых диодов и триодов, а также современных малогабаритных деталей и сухих батарей позволяет создать громкоговорящий радиоприемник, по объему равный обычному портсигару. В этом объеме помещается и батарея, обеспечивающая питание приемника в течение месяца при обычных условиях работы.

Существуют опытные телевизоры, в которых единственным электровакуумным прибором является электронно-лучевая трубка, а все остальные функции выполняются полупроводниковыми приборами. По объему и весу такой телевизор много меньше обычного.

В одной экспериментальной электронной вычислительной машине, содержащей 1250 электронных ламп, после замены ламп полупроводниковыми приборами потребление электроэнергии снизилось на 95% (от 6,2 квт до 310 вт). Размеры машины были уменьшены вдвое, отпала надобность в электрических вентиляторах, охлаждавших машину во время работы. Существенно увеличилась надежность работы машины.

Полупроводниковые триоды, применяемые в приборах для тугоухих, позволяют уменьшить вес и габариты и во много раз увеличить срок службы приборов.

Если в первое время полупроводниковые триоды могли применяться только в низкочастотной, а потом и в среднечастотной аппаратуре и лишь в маломощных цепях, то теперь имеются полупроводниковые точечные триоды, усиливающие электрические колебания с частотой в десятки миллионов герц и генерирующие колебания до сотен миллионов герц. Плоскостные триоды, работающие на средних и низких частотах, дают теперь мощности в десятки ватт, так что электронные лампы могут быть заменены полупроводниковыми триодами во многих современных радиосхемах.

Особенно широкое применение найдут полупроводниковые приборы в современных математических машинах и устройствах автоматики, где требования надежности, компактности и экономичности играют существенную роль.

Полупроводниковые приборы применяются в наши дни не только в радиотехнических схемах. Они успешно проникают и в другие смежные области.

Например, ртутные и ионные выпрямители средней и большой мощности в ряде случаев будут вытеснены германиевыми и кремниевыми выпрямителями, коэффициент полезного действия которых превышает 95%, а компактность, срок службы и простота эксплуатации несравненно выше.

В энергетике будущего, по-видимому, большую роль сыграют полупроводниковые термоэлементы, способные непосредственно превращать тепловую энергию в электрическую. Известные до сих пор термоэлементы в виде спая двух различных металлов способны развить электродвижущую силу величиной всего в одну сотысячную вольта на каждый градус разности температур между спаем и свободными концами проводников. Полупроводниковые термоэлементы способны развивать в сто раз большую электродвижущую силу на градус. Коэффициент полезного действия полупроводниковых термоэлементов достигает 7% и может быть еще повышен.

Существуют термобатареи, способные питать радиоприемник, передвижную радиостанцию или киноустановку с помощью тепла, выделяемого обычной керосиновой лампой (рис. 10).

В будущем термоэлементы будут применяться для непосредственного преобразования солнечной энергии в электрическую, для утилизации тепла отходящих газов в металлургическом производстве и в других случаях, когда имеющиеся запасы тепловой энергии не могут быть использованы обычными способами.

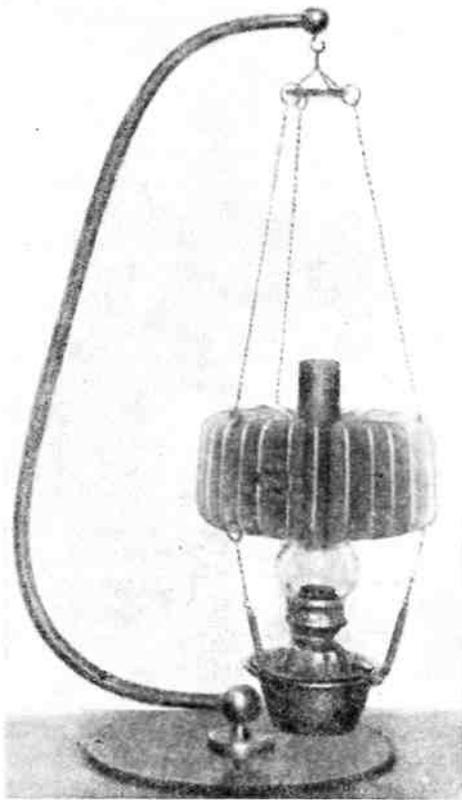


Рис. 10. Типовая термобатарея

Полупроводниковые фотосопротивления и термосопротивления — термисторы, величина электрического сопротивления которых зависит соответственно от освещенности и температуры, позволяют обнаруживать удаленные нагретые предметы (здания, самолеты, корабли), измерять и регулировать температуру во многих технологических процессах и т. д. Полупроводниковые фотокатоды, чувствительные к инфракрасным лучам, дают возможность создать приборы, позволяющие видеть в темноте.

Полупроводники позволяют решить задачу непосредственного преобразования энергии радиоактивного распада (ядерной энергии) в электрическую, удобную для практического применения. Уже созданы полупроводниковые электрические батареи, использующие энергию распада искусственного радиоактивного изотопа стронция. Эти батареи могут непрерывно работать в течение двадцати лет. Подобные батареи дают возможность, например, организовать автоматические метеорологические станции на труднодоступных вершинах гор, в районах Арктики и Антарктики. Существующие типы полупроводниковых «ядерных» батарей еще сравнительно дороги, однако в дальнейшем они смогут успешно конкурировать с другими источниками электроэнергии, а может быть, и сыграют немаловажную роль в промышленном использовании ядерной энергии.

Очерк о возможностях, открываемых полупроводниками, был бы неполным без упоминания о

полупроводниковых холодильниках. В 1838 г. академик Ленц поместил на стыке двух металлов каплю воды и заморозил ее, пропуская электрический ток через эти металлы. Это было иллюстрацией возможности практического применения открытого незадолго до того французским ученым Пельтье явления, заключающегося в том, что спай двух проводников нагревается или охлаждается в зависимости от направления электрического тока, протекающего через него.

В полупроводниках наблюдаются аналогичные эффекты, причем применение полупроводниковых охлаждающих и нагревающих элементов в большинстве случаев более выгодно, чем применение таких же элементов, изготовляемых из обычных металлов или сплавов. В настоящее время уже имеются полупроводниковые холодильники, которые гораздо экономичнее и надежнее в эксплуатации, чем холодильники компрессорного или диффузионного типа.

Для реализации очень больших возможностей, открываемых применением полупроводниковых приборов, необходимо, прежде всего, организовать массовое производство сверхчистого германия и кремния, шире развернуть научно-исследовательскую и конструкторскую работу в этой новой, развивающейся области техники.

## ЧАСТЬ II

### ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ В РАДИОСВЯЗИ, РАДИОВЕЩАНИИ, РАДИОЛОКАЦИИ И РАДИОНАВИГАЦИИ

#### Глава I. РАДИОСВЯЗЬ

Радиосвязь, наряду с проводной связью, играет жизненно важную роль в обороне и экономике нашей страны.

Основными видами дальней радиосвязи являются магистральные линии на коротких волнах и радиорелейные линии. Первые обладают преимуществами в отношении большей оперативности

(быстрое переключение на связь с подвижными объектами), вторые обеспечивают передачу большого объема сообщений и, в частности, передачу телевизионных изображений на дальние расстояния.

Ближняя связь осуществляется при помощи областных и районных сетей связи.

В 1956—1960 гг. развитие технических средств радиосвязи будет направлено на дальнейшее повышение устойчивости действия существующих каналов телеграфной, телефонной и фотосвязей, на максимальное уплотнение их использования и на организацию новых линий радиосвязи.

За 1956—1960 гг. будут организованы вновь 24 магистральных линии радиосвязи. Из них намечается открытие 17 телеграфных каналов, в том числе 12 каналов внутрисоюзных и 5 каналов международных связей, 4 телефонных и 3 фототелеграфных радиоканала.

Для выполнения этих задач будут осуществлены: строительство новых предприятий, реконструкция и расширение действующих предприятий радиосвязи во многих городах; будут завершены начатые в пятой пятилетке строительство и реконструкция предприятий радиосвязи в Якутской АССР и других районах.

В период 1956—1960 гг. предполагается расширить внутриобластную и внутрирайонную сеть радиосвязи в районах Сибири, Крайнего Севера, Казахстана и Дальнего Востока, где радиосвязь является основным и часто единственным видом связи.

Существующий парк оборудования внутрирайонных радиосвязей предполагается частично обновить новыми, технически более совершенными и экономичными в эксплуатации радиостанциями.

В шестой пятилетке намечено разработать для предприятий радиосвязи новое, технически более совершенное оборудование: необслуживаемые коротковолновые передатчики мощностью 5 и 1 квт с дистанционным управлением, на лампах с воздушным охлаждением; аппаратуру автоматизации обслуживания существующих передатчиков мощностью 20, 15 и 5 квт; аппаратуру для фототелеграфной радиосвязи с повышенной скоростью работы; аппаратуру для комплексного контроля качества работы каналов радиосвязи; приемно-передающие радиостанции мощностью 50 и 15 ватт для внутрирайонных линий радиосвязи; приемник для внутриобластной радиосвязи и др.

Разработка и промышленный выпуск указанной аппаратуры позволят обеспечить дальнейшее развитие коротковолновых линий радиосвязи и повысить эффективность и надежность использования радиоканалов в общей системе связи страны.

## *Глава 2. РАДИОВЕЩАНИЕ*

Проектом Директив XX съезда КПСС намечается увеличение мощности радиовещательных станций не менее чем на 90% и обеспечение широкого внедрения ультракоротковолнового вещания в Европейской части СССР.

Реализация этих директив позволит обеспечить высококачественный прием первой (основной) программы центрального радиовещания на всей территории страны, значительно расширить зоны приема второй и третьей центральных программ, улучшить слышимость республиканского, областного и краевого вещания во всех республиках и в большинстве краев и областей.

Необходимо отметить, что при современных требованиях к качеству радиовещания уверенный прием первой центральной программы, а также республиканского и областного вещания в некоторых районах страны не обеспечивается из-за недостаточной мощности радиостанций, имеющихся в этих районах, а также вследствие возросших промышленных и других помех.

Крайне ограничена зона действия второй центральной программы. Прием третьей программы обеспечивается лишь в пределах Московской области.

Решение задачи по увеличению мощности радиовещательных станций будет осуществляться путем строительства мощных радиовещательных станций на длинных и средних волнах, преимущественно в северных районах страны, на Дальнем Востоке и в Средней Азии, где имеющиеся маломощные радиостанции не обеспечивают высококачественного и повсеместного приема по всей территории. Ввод в действие новых радиостанций создаст уверенную слышимость радиовещания на прилегающих территориях.

Для улучшения качества радиовещания на коротких волнах и для подачи программ на удаленные радиостанции будет построена сеть мощных коротковолновых радиовещательных станций.

В районах с большой плотностью населения, в первую очередь на территории Европейской части СССР, предусматривается создание сети двухпрограммного радиовещания на ультракоротких волнах с частотной модуляцией (УКВ-ЧМ).

Вещание на УКВ позволит довести до радиослушателей радиопрограммы без атмосферных и

индустриальных помех и без помех со стороны других радиостанций. Этот новый вид радиовещания качественно отличается от вещания на длинных, средних и коротких волнах. Для обслуживания территории радиовещанием на УКВ требуется значительно меньшая мощность, чем для обеспечения вещанием этой же территории длинноволновыми и средневолновыми радиостанциями. Однако, учитывая ограниченный радиус действия ультракоротковолновых радиостанций (они должны быть расположены на расстояниях 100—120 км), строительство их будет осуществляться в районах со сравнительно большой плотностью населения. Одновременно с этим будет вестись строительство радиостанций на длинных, средних и коротких волнах.

Для обеспечения потребностей населения радиопромышленность должна выпускать достаточное количество радиоприемников, имеющих, кроме обычных, и УКВ диапазон.

Эти аппараты должны обеспечить прием, по крайней мере, трех программ — одну на длинных или средних волнах и две на УКВ. Кроме того, большинство телевизоров, намечаемых к выпуску на ближайшие годы, должно иметь УКВ диапазоны для приема радиопередач.

Сеть УКВ станций, несколько опережая в своем развитии сеть строящихся в стране телевизионных центров, должна быть территориально с ней сопряжена.

Наряду со строительством мощных радиовещательных станций и УКВ сети, в шестом пятилетии будет осуществлено техническое усовершенствование действующей радиовещательной сети.

Большинство из находящихся в настоящее время в эксплуатации радиовещательных станций, не отвечающих современным техническим требованиям, намечается реконструировать с переводом их на новые, более эффективные схемы анодной и автоанодной модуляции, что улучшит электроакустические показатели этих станций и повысит их мощность в полтора-два раза.

Подлежат реконструкции ряд радиостанций в областных центрах, столицах союзных республик.

Увеличение мощности и реконструкция станций расширят радиус их действия, улучшат слышимость и качество центрального, республиканского и областного радиовещания на обслуживаемых ими территориях.

Предусматривается также замена устаревших антенных сооружений на ряде радиостанций металлическими антеннами-мачтами, имеющими высокий коэффициент полезного действия.

Для улучшения качества радиовещания в ряде городов будут построены радиодомы с радиовещательными аппаратными, оснащенными современной низкочастотной усилительной аппаратурой, и радиостудиями с высокими акустическими показателями. Строительство радиодомов будет осуществляться совместно с телевизионными центрами.

Кроме того, будут проводиться работы по оснащению существующих радиовещательных аппаратных и студий новой усилительной и студийной аппаратурой, аппаратурой звуковоспроизведения и современным микрофонным хозяйством.

Осуществление намеченного строительства радиовещательных передатчиков, длинных, средних и коротких волн и УКВ-ЧМ радиостанций, а также техническое усовершенствование действующей радиовещательной сети позволят значительно улучшить качество обслуживания населения страны радиовещанием.

### **Глава 3. РАЗВИТИЕ ТЕЛЕВЕДЕНИЯ И УКВ-ЧМ РАДИОВЕЩАНИЯ В СССР В ШЕСТОМ ПЯТИЛЕТИИ**

Проектом Директив XX съезда КПСС в шестом пятилетии предусматривается строительство в нашей стране более 75 телевизионных центров.

В настоящее время в стране работают 12 телевизионных центров: в Москве, Ленинграде, Киеве, Харькове, Риге, Свердловске, Минске, Владивостоке, Томске, Омске, Таллине и Калининне.

Строятся и должны быть введены в эксплуатацию в 1956 г. телевизионные центры в Сталино, Сталиногорске, Ташкенте, Баку, Вильнюсе, Тбилиси, Ереване и Горьком.

Таким образом, уже к исходу первого года шестого пятилетия в стране будет насчитываться до 20 действующих телевизионных центров.

В 1956 г. должно быть развернуто строительство телевизионных центров в Сталинграде, Саратове, Казани, Воронеже, Новосибирске, Красноярске, Владивостоке (новый), Кемерово, Днепропетровске, Одессе, Львове, Караганде, Хабаровске, Ленинграде (новый), Уфе, Алма-Ате, Ростове-на-Дону, Челябинске; в 1957 г. — в Иркутске, Пятигорске, Сочи, Ялте, Фрунзе, Кишиневе, Ашхабаде, Сталинабаде, Петрозаводске, Кирове.

Кроме того, предусматривается строительство в 1957 г. ретрансляционных телевизионных станций с возможностью показа собственной программы и кинофильмов в Молотове, Магнитогорске, Ворошиловграде (начало строительства в 1956 г.) и Гомеле, а также ретрансляционных телевизионных станций без собственной программы в Рязани, Ярославле, Костроме, Иваново, Владимире, Калуге, Новгороде, Чернигове, Запорожье, Кривом Роге и Каунасе.

В 1957 г. должно начаться телевизионное вещание в Куйбышеве.

В развитии сети передающих телевизионных станций принимают большое участие и проводят значительную работу партийные и советские организации республик, краев и областей.

Строительство телевизионных центров и студий в большинстве городов ведется силами местных строительных организаций за счет средств местного бюджета и заинтересованных министерств и ведомств, привлекаемых в порядке долевого участия.

Таким образом, к исходу 1958 г. телевизионные центры будут построены во всех столицах союзных республик и крупнейших промышленных и культурных центрах страны. Получат также телевидение наши крупнейшие города-курорты — Сочи, Пятигорск, Ялта.

К исходу шестого пятилетия намечается построить телевизионные центры в Мурманске, Краснодаре, Астрахани, Барнауле, Грозном, Ставрополе, Смоленске, Орле, Курске, Чите, Архангельске, Чебоксарах, Ижевске, Йошкар-Оле, Тамбове, Шахтах, Нижнем Тагиле и ряде других городов.

По проекту директив XX съезда в шестом пятилетии намечено построить до 10 000 км радиорелейных линий. Это позволит создать широкую сеть радиотрансляционных телевизионных станций, устанавливаемых вдоль трасс радиорелейных, а также и кабельных магистралей, имеющих телевизионный канал.

Широкое развитие радиорелейной и кабельной связи с включением телевизионных каналов позволит производить обмен телевизионными программами между крупнейшими телецентрами страны. Предполагается осуществить строительство радиорелейной магистрали, связанной с радиорелейными линиями стран народной демократии, что позволит обмениваться телевизионными программами с этими странами.

Для ускорения и удешевления строительства телевизионных центров проектным институтом Министерства связи разработаны и продолжают разрабатываться типовые проекты телевизионных центров. В настоящее время уже разработан типовой проект телевизионного центра, состоящий из УКВ телевизионной радиостанции мощностью  $5/2,5$  квт (в числителе показана мощность телевизионного передатчика, а в знаменателе — звукового сопровождения), аппаратно-студийного комплекса с оборудованием на 4 камерных канала, телекинопроекционной, аппаратной и пр. В комплект телецентра входит передвижная телевизионная станция, позволяющая проводить телевизионные передачи непосредственно из театров, стадионов и т. п. Расчетный радиус действия телецентра 60—80 км.

Для городов с большим объемом радиовещания разрабатывается проект телевизионного центра, совмещенного с радиовещательными студиями и аппаратными.

Сметная стоимость телевизионного центра первого типа — ориентировочно 18 млн. руб., а второго — 22—24 млн.

Кроме того, проектным институтом Министерства связи в настоящее время разрабатываются проекты ретрансляционных телевизионных станций, УКВ телевизионных станций с передатчиками мощностью  $15/7,5$  квт, оконечных и промежуточных пунктов радиорелейных линий и др.

Использование УКВ телевизионных станций с передатчиками  $15/7,5$  квт позволит получить (там, где это требуется) несколько больший радиус действия (до 80—100 км).

Все телевизионные центры, как правило, оснащаются телевизионными башнями (свободно стоящими, без оттяжек) высотой 180 метров. Общая высота всего сооружения с антеннами составляет примерно 192 метра.

Для небольших городов, где не требуется большого радиуса покрытия, будут использоваться УКВ телевизионные станции с передатчиками мощностью  $2/1$  квт с воздушным охлаждением радиоламп. Стоимость такой станции будет значительно меньше, а эксплуатация проще.

Для расширения зоны действия программных телецентров намечается установить вокруг основных (программных и мощных ретрансляционных) телецентров небольшие необслуживаемые ретрансляционные установки. При мощности такой установки в 20—100 ватт имеется возможность покрыть телевизионным радиовещанием территорию радиусом 6—8 км.

Маломощные ретрансляционные установки, как правило, будут устанавливаться в радиусе 100—120 км от основного телецентра (ретранслируемого). Предполагается установить 150—180 таких установок.

Для улучшения базы телевидения в Москве, расширения и улучшения телевизионного вещания, а также для организации записи лучших телевизионных программ на киноленту будет произведена в течение 1956—1958 гг. коренная реконструкция Московского телевизионного центра.

Предполагается строительство нескольких новых студий и новой мощной УКВ телевизионной радиостанции с телевизионной башней высотой больше 300 м.

Реконструкция Московского телецентра позволит охватить телевизионным вещанием не только Москву, но и многие районы Московской области. Радиус действия реконструированного телецентра, по расчетам, достигнет 120—150 км. Уже в 1956 г. в Москве должна начать работу станция по передаче программы черно-белого телевидения, а к исходу 1958 г. начнет работать третья—по передаче цветной программы.

Для ускорения развития телевидения разработана и выпускается радиотехнической промышленностью типовая телевизионная аппаратура. Разработаны УКВ телевизионные станции мощностью 2/1 квт, 5/2,5 квт, заканчивается конструирование радиостанции 15/7,5 квт. Для оснащения аппаратно-студийного комплекса разработано и выпускается телевизионное оборудование, допускающее работу на трех, четырех, пяти и восьми передающих камерах. Для проведения внестудийных передач разработана и выпускается передвижная телевизионная станция типа ПТС-52, размещаемая в двух автобусах типа ЗИС-155.

Ввод в строй предусмотренных проектом Директив XX съезда КПСС 75 телевизионных центров позволит охватить телевизионным вещанием 25—30 миллионов человек, т. е. в 6—8 раз больше, чем в 1955 г.

#### *Глава 4. РАДИОРЕЛЕЙНЫЕ ЛИНИИ*

Радиорелейные линии входят составной частью в общую схему междугородной электросвязи и обеспечивают передачу большого числа телефонных каналов, а также создают возможность междугородного обмена программами телевидения и радиовещания.

Радиорелейные (р/р) линии связи состоят из цепочки УКВ радиостанций. При относительно ровной поверхности земли и при использовании волн сантиметрового диапазона расстояние между станциями составляет в среднем 50 км.

В условиях горного рельефа или при переходах через водные рубежи расстояние между усилительными пунктами может быть увеличено и доведено на отдельных участках до 120—150 км, а при использовании более мощных передатчиков, специальных антенн с большим усилением и приемных устройств высокой чувствительности — до 300—400 км.

В настоящее время имеются мощные многоканальные системы р/р линий, состоящие из нескольких радиочастотных стволов, в каждом из которых может передаваться несколько сот телефонных каналов или одна программа телевидения.

Техника и экономика р/р систем достигла уже такого уровня, что они равноценны по качественным показателям кабельным линиям связи. Стоимость сооружения р/р линий при небольшом числе каналов соизмерима со стоимостью кабельной линии, а если число каналов больше 60, то стоимость р/р линии составляет от 90 до 60% стоимости кабельной линии такой же дальности и емкости.

В большинстве систем многоканальной телефонной связи используется принцип частотного разделения каналов и оконечная аппаратура, аналогичная аппаратуре проводных линий связи.

Как в телефонных, так и в телевизионных УКВ р/р системах чаще всего используется частотная модуляция несущей частоты передатчика. Мощность на выходе р/р передатчика лежит в пределах от нескольких десятых долей ватта до нескольких ватт. Передатчики работают в диапазонах сантиметровых, дециметровых и метровых волн.

Для генерации и усиления сверхвысоких частот в аппаратуре применяются специальные лампы (высокочастотные металлокерамические триоды, клистроны, лампы с бегущей волной, карцилотроны и др.).

В Советском Союзе внедрение р/р линий началось в послевоенные годы. В соответствии с Директивами XIX съезда КПСС о развитии р/р связи, в пятом пятилетии были широко развернуты работы по созданию отечественного р/р оборудования для связи и телевидения.

К настоящему времени завершена разработка и осуществляется серийный выпуск р/р аппаратуры на 24 телефонных канала и аппаратуры для ретрансляции телевидения на расстояние 150—200 км.

Наряду с этим ведется также разработка мощной р/р системы, обеспечивающей передачу

одновременно нескольких стволов по 240 телефонных каналов или одной программы телевидения в каждом стволе. В шестом пятилетии намечено завершить эту разработку и провести ее широкое внедрение.

В шестой пятилетке намечено дальнейшее внедрение радиорелейных линий. Мощная радиорелейная линия на 600 телефонных каналов и телевизионный канал будет сооружена в южном направлении от Москвы. Будет осуществлена подача мощного пучка связей в районы Урала, а также по ряду других направлений.

Сооружение намеченных магистралей создаст возможность широкого обмена междугородными переговорами столицы с промышленными и культурными центрами нашей родины. Наряду с этим будет осуществлен охват центральным телевизионным радиовещанием большого количества городов и крупных населенных пунктов, расположенных по трассам этих р/р линий, а также будет обеспечена возможность обмена телевизионными программами со странами народной демократии и Западной Европы. Центральную программу телевидения получают Ленинград, Таллин, Рига, Вильнюс, Минск, Киев, Львов, Каунас, Кишинев, Тбилиси, Баку, Ереван, Харьков, Полтава, Днепропетровск, Сталино, Запорожье, Одесса, Сталинград, Ростов-на-Дону, Свердловск, Молотов, Киров, Горький и другие крупные центры. Кроме того, будет обеспечена возможность обмена телевизионными программами между некоторыми из перечисленных городов и Москвой.

Одновременно с сооружением крупных р/р систем, в шестом пятилетии будет осуществлено строительство около 5 тыс. км р/р линий на 24—60 телефонных каналов. Большую сеть таких линий предполагается построить в горных районах Средней Азии и других районах страны.

Для расширения зоны действия программных телецентров намечается строительство коротких ретрансляционных телевизионных линий около Москвы, Свердловска, Киева, Минска, Новосибирска, Тбилиси, Харькова и др.

Всего в шестом пятилетии Министерством связи намечено строительство 10 тыс. км р/р линий (без учета ряда коротких линий для передачи сигналов телевизионных программ на радиостанцию).

Осуществление намеченного строительства радиорелейных линий позволит значительно улучшить качество обслуживания населения Советского Союза средствами связи и телевидением.

## *Глава 5. РАДИОЛОКАЦИЯ*

Одной из самых молодых отраслей радиоэлектроники является радиолокация — определение местоположения различных объектов при помощи радиоволн. Существуют следующие методы радиолокации:

- облучение объекта радиоволнами и прием отраженного от него эхосигнала;
- облучение объекта радиоволнами и прием переизлученного (ретранслируемого) объектом сигнала;
- прием сигнала, излучаемого самим объектом.

Обычно под термином «радиолокация» понимается применение первого и частично второго из этих методов. Второй метод нашел широкое применение в радионавигации, а третий — при радиопеленгации объектов.

Начало развития радиолокационной техники следует отнести к тридцатым годам текущего столетия. Пробразом первой отечественной импульсной радиолокационной станции является, в известной мере, импульсная ионосферная станция, созданная в СССР в 1932 г. и предназначенная для изучения верхних слоев атмосферы. Работала эта станция на принципе радиоэха: передатчик станции вырабатывал радиоимпульс, который посылался вертикально вверх, отражался от ионизированного слоя атмосферы и принимался радиоприемником станции. По времени пробега радиоимпульсом прямого и обратного пути определялась высота расположения ионосферы.

Обнаруженное примерно в то же время явление отражения ультракоротких волн от самолетов натолкнуло на мысль о возможности использования принципа радиоэха для обнаружения и определения местоположения летящих самолетов.

Работы советских ученых и инженеров в этом направлении привели к созданию первых отечественных радиолокационных станций обнаружения самолетов, получивших практическое применение в 1939 г.

В последующем развитие в Советском Союзе радиолокационной техники принимает еще больший размах. Начало второй мировой войны, втягивание в эту войну все большего числа стран, реальная угроза нападения на СССР и необходимость в связи с этим проведения дальнейших мероприятий по

повышению обороноспособности нашей страны потребовали, в первую очередь, разработки и совершенствования военной радиолокационной аппаратуры.

Еще более интенсивно велась разработка военных радиолокационных станций в Англии и Германии, вступивших на путь войны, а также в США, где высокий уровень машиностроения и приборостроения, в сочетании с большими научными исследованиями в области радиотехники и электроники, обеспечил быстрое развитие и совершенствование радиолокационной аппаратуры.

Исключительно быстрое развитие радиолокации, характерное для периода, предшествовавшего второй мировой войне, и особенно в годы войны, объясняется ее важными свойствами, во много раз повысившими эффективность некоторых видов оружия и изменившими тактику их применения. Радиолокационная аппаратура нашла самое широкое применение в войсках противовоздушной обороны, военно-воздушном и военно-морском флотах, а также в сухопутной армии,

Использование радиолокационной техники в войсках ПВО обеспечивает обнаружение самолетов противника и управление активными средствами борьбы с ними.

Обнаружение самолетов и определение их координат осуществляется станциями дальнего обнаружения. Дальность обнаружения такими станциями тяжелых бомбардировщиков может достигать 300—400 км. Управление боевыми действиями истребительной авиации обеспечивается при помощи станций наведения, обладающих в некоторых случаях меньшей дальностью действия, чем станции обнаружения, но имеющих более высокую точность определения координат вражеского самолета и наводимого на него истребителя. Однако ночью или в плохую погоду днем, когда визуальное обнаружение бомбардировщика для летчика-истребителя затруднено, точность наведения может оказаться недостаточной для того, чтобы летчик смог обнаружить цель и атаковать ее. Поэтому на истребителях-перехватчиках устанавливают радиолокационные станции перехвата и прицеливания. Наличие на самолете такой станции позволяет летчику, самолет которого выведен в район цели при помощи наземных средств, обнаружить цель, приблизиться к ней и атаковать ее даже при отсутствии видимости.

На истребителях, предназначенных для действий днем, устанавливаются радиолокационные дальномеры, обеспечивающие точное измерение расстояния до цели и повышающие этим эффективность стрельбы истребителей.

В зенитной артиллерии радиолокационная техника применяется для предварительного обнаружения — целеуказания — и наведения зенитных орудий на цель.

Станции целеуказания обеспечивают обнаружение целей при их приближении к районам размещения зенитных батарей, своевременно передают информацию о маршруте их полета и позволяют распределить цели между зенитными батареями.

Станции орудийной наводки производят точное определение координат самолетов на расстояниях в несколько десятков километров и передают их текущие координаты на счетно-решающие приборы, которые наводят зенитные орудия в определенную точку. Сопровождение целей этими станциями производится автоматически; ошибки сопровождения не превышают 10—15 м по дальности и 3—5 угловых минут по направлению.

Для повышения эффективности стрельбы зенитные снаряды оснащаются радиолокационными взрывателями. Такой взрыватель представляет собой помещенную в головную часть снаряда сверхминиатюрную радиолокационную станцию. Так же как и в обычной радиолокационной станции, взрыватель излучает радиоволны, которые, отразившись от самолета, принимаются взрывателем, усиливаются и обеспечивают разрыв снаряда при его пролете около цели. Создание такой радиолокационной станции, выдерживающей исключительно высокие перегрузки в момент выстрела, стало возможным только в результате высокого развития радиоэлектроники.

В военно-воздушных силах радиолокационные станции применяются для обеспечения «слепого» прицельного бомбометания, управления огнем оборонительного оружия бомбардировщиков, для измерения высоты полета самолетов, а также в качестве средств самолетовождения.

Радиолокационные панорамные бомбоприцелы, «просматривая» узким радиолучом местность, над которой летит самолет, и принимая отраженные от этой местности сигналы, позволяют получить на экране индикатора бомбоприцела радиолокационную карту местности (рис. 11). Моря и реки на этой карте выглядят темными, суша — светлой. Наиболее четко выделяются береговая полоса, горные хребты, крупные военно-промышленные объекты, заводы и ж.-д. узлы. На фоне моря хорошо наблюдаются корабли.

Оборудование самолетов-бомбардировщиков радиолокационными прицелами позволяет находить

цель и осуществлять прицельное бомбометание ночью, в туман и через облака, плотно закрывающие цель и не допускающие визуального наблюдения ее. Эти же прицелы, позволяя экипажу самолета определить свое местонахождение, являются средством для самолетовождения, о чем более подробно будет сказано в следующей главе.

Обнаружение приближающихся к бомбардировщику истребителей и наведение на них прицельного оружия бомбардировщика также производится с помощью радиолокационных станций.

Определение высоты полета самолета осуществляется с помощью самолетных радиолокационных высотомеров малых и больших высот. Такие высотомеры, обеспечивающие определение истинной высоты полета самолета, имеют большие преимущества перед барометрическими высотомерами, позволяющими определять только высоту

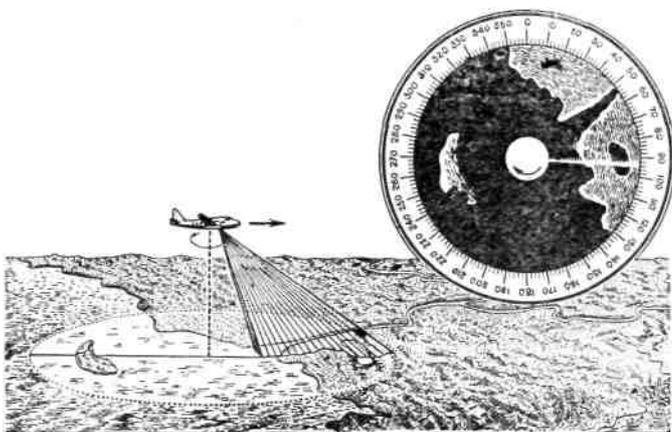


Рис. 11. Изображение местности на экране индикатора кругового обзора самолетного бомбприцела. На нижнем рисунке показано положение самолета и зона действия самолетной станции. В правой верхней части приведено изображение этой местности на экране индикатора

полета относительно уровня моря или аэродрома, с которого поднялся самолет. Поэтому радиолокационный высотомер позволяет в условиях плохой видимости осуществлять снижение самолета даже над незнакомой местностью.

В военно-морском флоте радиолокационные станции применяются для обнаружения самолетов и кораблей противника, для управления огнем корабельной артиллерии, прицельного торпедометания, а также в навигационных целях.

Все современные боевые корабли, начиная от гигантов авианосцев и линкоров и кончая подводной лодкой и торпедным катером, имеют разнообразное радиолокационное вооружение. Успех современного морского боя зависит не только от качества вооружения, но и от дальности действия и точности работы радиолокационных станций. Станции управления огнем корабельной артиллерии, обеспечивая весьма точное определение координат вражеских кораблей, обладают еще

одним ценным качеством — они позволяют корректировать огонь. Это обусловлено тем, что радиоволны хорошо отражаются от всплесков воды, образующихся в месте падения снаряда. В береговой артиллерии радиолокационная техника получила применение как средство обнаружения кораблей и управления стрельбой по ним береговых батарей.

В наземной артиллерии радиолокационные станции используются для обнаружения движущихся наземных целей и стреляющих минометов противника. Последняя задача осуществляется путем обнаружения мины в полете, определения ее текущих координат и вычисления начальной точки траектории, т. е. позиции стреляющего миномета.

Радиолокационная аппаратура используется также и для опознавания своих самолетов и кораблей. Для этого применяется специальная радиолокационная аппаратура, так как обычные станции, регистрирующие отраженный от самолета или корабля сигнал, не дают возможности по характеру этого сигнала определить их государственную принадлежность. Аппаратура опознавания состоит из запросчиков, располагаемых вместе с радиолокационными станциями, и ответчиков, устанавливаемых на всех самолетах и кораблях. При необходимости опознать цель включается запросчик, который посылает радиоимпульс запроса. Под действием этого импульса ответчик автоматически срабатывает и посылает ответный кодовый сигнал, который принимается запросчиком и воспроизводится на экране индикатора в точке, соответствующей положению запрашиваемого объекта.

\* \* \*

После окончания Великой Отечественной войны и возвращения советского народа к мирному созидательному труду было преступлено к решению вопросов о применении радиолокации в интересах народного хозяйства и науки.

Высокие положительные качества радиолокационной аппаратуры, обладающей значительной дальностью действия и большой точностью определения координат, а также независимость ее работы от условий оптической видимости способствовали ее широкому проникновению в самые различные отрасли. В настоящее время радиолокационная техника используется в гражданской авиации, торговом и промысловом морском и речном флотах, при проведении геодезических и картографических работ, в метеорологии при прогнозировании погоды, в астрономии и многих других отраслях науки и техники.

В метеорологической службе радиолокационная техника используется для определения координат шаров-пилотов и радиозондов, а также для обнаружения грозных и ливневых фронтов, определения высоты облачности, направления и скорости движения туч.

Для радиолокации дождевых облаков и туч применяются радиолокационные станции сантиметрового диапазона волн, снабженные индикатором кругового обзора. В основе радиолокации туч лежит явление отражения радиоволн сантиметрового и смежных с ним диапазонов волн от капель воды.

Применение в этих станциях индикаторов кругового обзора позволяет наблюдать на экране индикатора за образованием, расположением и перемещением туч и грозных фронтов в районе площадью несколько десятков тысяч квадратных километров (рис. 12). Радиолокационные станции с вертикальной диаграммой излучения радиоволн позволяют осуществлять вертикальное зондирование облаков, определяя их верхнюю и нижнюю кромки, а также их структуру. Такие радиолокационные станции используются при составлении долгосрочных прогнозов и для быстрого определения направления движения грозных и дождевых туч в интересах гражданской авиации и сельского хозяйства.

Применение радиолокационных станций для наблюдения за радиозондами и шарами-пилотами позволяет определять их положение ночью, в тумане и при их полете за облаками, облегчая этим задачу регулярного исследования атмосферы.

При проведении геодезических и картографических работ радиолокационная аппаратура применяется для точного измерения трасс большой протяженности, определения с высокой точностью положения самолета, производящего аэрофотосъемку, или вывода его в нужный район. Значительное увеличение дистанции, которую можно определить за одно измерение, позволяет резко сократить время и обеспечить точную геодезическую съемку в труднопроходимых районах.

При помощи радиолокационных методов в астрономии определяют расстояние до метеоров, влетающих в атмосферу Земли, измеряют направление и скорость их полета. Такие способы наблюдения за метеорами позволяют производить исследования не только в ясные, темные ночи, но и днем, при солнечном свете, а также при сплошной облачности.

Интересно отметить, что при радиолокации метеоров отражение радиоволн происходит не от самих метеоров, которые в большинстве случаев представляют собой небольшие тела весом менее одного грамма, а от «хвоста» из



Рис. 12. Радиолокационное изображение облаков на экране индикатора кругового обзора

ионизированных газов, образующегося за метеорами при их попадании в атмосферу Земли.

Известны также опыты по измерению с помощью радиолокационной аппаратуры расстояния до Луны путем излучения радиопульсов и приема отраженных от Луны сигналов. Теоретически возможна радиолокация Солнца и ближних планет — Венеры и Марса.

В гражданской авиации радиолокационная аппаратура, кроме использования в качестве

навигационного средства, применяется для обеспечения «слепой» посадки самолетов, для регулирования полетов в районах аэропортов с интенсивным воздушным движением, для предотвращения столкновения самолетов при полетах ночью, в облаках и тумане.

Оснащение аэродромов аппаратурой посадки самолетов в сложных метеорологических условиях (аппаратурой «слепой» посадки) позволяет осуществлять посадку самолетов на аэродроме даже при плотной низкой облачности. Это имеет большое народнохозяйственное значение, так как позволяет выдерживать график перевозки пассажиров и грузов независимо от погоды, повышая этим рентабельность авиатранспорта.

Регулирование полетов самолетов в районе аэропорта осуществляется диспетчером с помощью аэродромной радиолокационной станции, снабженной индикатором кругового обзора, на котором в плане воспроизводятся сигналы от самолетов, находящихся над аэродромом и вблизи него.

Предотвращение столкновения самолетов обеспечивается посредством самолетных радиолокационных станций. Эти станции, излучая радиоволны в направлении полета самолета, позволяют летчику по принятому отраженному сигналу своевременно обнаружить встречный самолет или препятствие и изменить курс.

В морском и речном флоте радиолокационные станции используются для обнаружения в тумане, во время дождя и ночью встречных кораблей, плавучих айсбергов и льдин. Это значительно сокращает время переходов и вынужденных стоянок. В китобойном промысле эти станции позволяют обнаружить китов благодаря отражению радиоволн от выбрасываемых ими фонтанов воды. Большую выгоду дает применение этих станций и в рыболовецком флоте, где они обеспечивают определение координат самолета-разведчика в момент обнаружения им косяков рыбы, а также мест установки рыболовных сетей (по установленным на них специальным радиолокационным отражателям).

Незаменимую помощь приносят радиолокационные станции при проведении спасательных работ на море, позволяя обнаружить в самую плохую погоду на расстоянии свыше 10 км даже небольшую спасательную лодку.

## *Глава 6. РАДИОНАВИГАЦИЯ*

Исключительно велика роль радио как средства самолето- и кораблевождения. Можно с полной уверенностью сказать, что без применения радиосредств современные самолеты не могли бы осуществлять полеты ночью, в условиях плохой видимости, в пургу, туман и дождь, когда аэродром скрыт сплошной пеленой и летчику не видны наземные ориентиры. Особенно важно это для современных реактивных самолетов, высокая скорость полета которых требует быстрой реакции летчика.

Очень сложно и крайне опасно при отсутствии радионавигационных средств и вождение кораблей в прибрежных водах, где небольшая ошибка в курсе корабля может привести к тяжелым последствиям.

Поэтому современные самолеты и корабли имеют целый комплекс радионавигационных средств, которые в сочетании со средствами радиосвязи и радиолокации обеспечивают безопасность вождения самолетов и кораблей в условиях плохой оптической видимости.

По принципу работы радионавигационные средства могут быть разделены на две основные группы: на автономную и так называемую «зависимую» аппаратуру.

Автономными называются радионавигационные средства, работающие без помощи других радиостанций, зависимыми — установленные на подвижном объекте (корабле, самолете) приборы, действие которых основано на использовании радиоизлучения дополнительных радиостанций, расположенных в определенных пунктах земли или моря.

К самолетным средствам автономной радионавигации относятся, в первую очередь, панорамные самолетные радиолокационные станции и радиовысотомеры, а к автономным корабельным радионавигационным средствам — корабельные панорамные радиолокационные станции.

Самолетная панорамная станция представляет собой радиолокационную станцию кругового обзора; на экране индикатора станции воспроизводится радиолокационная карта местности, над которой летит самолет. Значительная дальность действия современных панорамных навигационных станций, сочетающаяся с высокой четкостью изображения, получаемого на экране индикатора, позволяет летчику определять местоположение самолета, его курс и скорость независимо от времени суток и метеорологических условий.

В некоторых случаях, при наличии панорамной станции, экипаж самолета может применять

специальные радиолокационные карты, представляющие собой снимки изображения местности на экране индикатора, совмещенные с действительной картой местности. Сравнение изображения, получаемого на экране индикатора, с радиолокационной картой облегчает и ускоряет процесс ориентирования при полете над незнакомой местностью.

Радиолокационные самолетные высотомеры обеспечивают определение истинной высоты полета и являются незаменимым средством навигации, особенно при полетах над незнакомой гористой местностью.

Судовые панорамные радионавигационные станции позволяют «видеть» ночью, в туман, дождь и пургу очертание береговой полосы, острова, встречные корабли и надводные навигационные знаки. Высокая четкость изображения, получаемого на экране индикатора, позволяет использовать эти станции для судовождения в прибрежной полосе, в районах с интенсивным движением, при входе и плавании в гавани и порту.

Практически прямолинейное распространение радиоволн сантиметрового, и смежных диапазонов волн, применяемых в этих станциях, ограничивает дальность действия этих станций несколькими десятками километров даже при установке антенны на мачтах кораблей.

«Зависимые» радионавигационные средства могут работать либо на принципе измерения расстояния между подвижным объектом и фиксированным опорным пунктом, либо на принципе определения направления.

Ориентирование методом определения направления производится с помощью радиопеленгаторов, радиомаяков и радиоконпасов.

Радиопеленгатор работает на принципе направленного приема и представляет собой установленное в районе аэродрома (или в любом другом месте) приемное устройство с антенной направленного действия, применение которой позволяет определить направление, откуда приходят радиоволны.

При наличии такой аппаратуры летчик самолета, желая узнать направление на аэродром, запрашивает об этом наземный радиопеленгатор. Пеленгуя самолет по работающей на нем радиостанции, оператор радиопеленгатора определяет направление на самолет и сообщает его летчику. По переданному пеленгу летчик определяет курс на аэродром.

Другой навигационный прибор — радиомаяк, широко применяемый в морской навигации и при самолетовождении, использует принцип направленной передачи радиоволн. Радиомаяки направленного действия делятся на курсовые, указывающие один или два направления, и на радиомаяки, дающие пеленг. Курсовой радиомаяк, называемый часто приводным, наиболее широко применяется в авиации. Он создает в пространстве два узких радиолуча, по каждому из которых передаются различные условные сигналы. Если самолет или корабль отклоняется от направления на радиомаяк, слышимость одного сигнала будет возрастать, а другого — убывать, что укажет на необходимость изменить направление.

Такие направленные радиомаяки устанавливаются на аэродромах и вдоль трасс полетов самолетов на таком расстоянии один от другого, что самолет, выйдя на один маяк, начинает слышать сигналы следующего маяка. В морском флоте такие маяки используются практически только для входа в фарватер.

Для кораблевождения и самолетовождения по различным направлениям используются радиомаяки, дающие пеленг. Такой радиомаяк создает несколько радиолучей, по каждому из которых посылаются определенный условный сигнал. Таким образом, самолет или корабль, находясь в зоне действия маяка и принимая тот или иной условный сигнал, может определить пеленг. Для этого на самолете или корабле необходимо иметь только радиоприемник и карту, на которой нанесено положение радиолучей маяка.

Для определения местоположения самолета или корабля берется пеленг двух радиомаяков.

Одним из широко применяемых в авиации радионавигационных приборов является также самолетный автоматический радиоконпас. Этот прибор, так же как и наземный радиопеленгатор, представляет собой приемник, снабженный направленной антенной. Прибор автоматически указывает направление на радиостанцию, на частоту которой настроен приемник автоматического радиоконпаса; при этом на индикаторе радиоконпаса указывается угол между направлением оси самолета и направлением на принимаемую радиостанцию.

Определение местоположения самолета при помощи радиоконпаса осуществляется последовательным приемом сигналов двух наземных радиостанций, расположенных в различных пунктах.

Радиомаяки, радиопеленгаторы и радиоконпасы работают в угломерных системах радионавигации.

Основным недостатком всех упомянутых систем является недостаточная точность определения

местоположения при больших расстояниях от движущего объекта до опорных точек. Более высокие точности определения местоположения при навигации на большие расстояния позволяют получить дальномерные системы, принцип действия которых основан на измерении времени прохождения радиоволнами расстояния между двумя определенными точками.

Среди этих систем одно из ведущих мест занимают разностно-дальномерные (фазовые и импульсные) системы. Наземное оборудование импульсных разностно-дальномерных систем состоит из двух пар передатчиков, работающих в импульсном режиме (рис. 13); каждая пара передатчиков состоит из ведомой и ведущей станций; ведущая станция задает частоту посылки радиоимпульсов данной пары станций. Расположение этих станций на местности выбирается таким образом, чтобы расстояние между ними составляло несколько сот километров.

На самолетах и кораблях, оборудованных для навигации с помощью этой системы, установлено приемно-индикаторное устройство. Оператор самолетного или корабельного оборудования, настроив приемник на несущую частоту наземных передатчиков системы, производит настройку индикаторов на частоту повторения импульсов одной пары наземных станций.

Затем определяется разность во времени приема импульсов от ведущей и ведомой станций этой пары. После этого, настроившись на частоту повторения импульсов второй пары наземных станций, оператор определяет разность во времени приема импульсов этой второй пары станций. Дальнейшее определение местоположения самолета производится с помощью специальных карт, на которой нанесены кривые, каждая из которых соответствует определенному значению разности в приеме сигналов данной пары станций. Эти кривые являются гиперболами, в фокусах которых расположены ведущая и ведомая станции пары. Используя данные, полученные при приеме сигналов первой пары станций, оператор определяет, на какой из гипербол этой пары станций находится самолет. Затем по величине разности в приеме сигналов станций второй пары оператор находит соответствующую гиперболу из семейства кривых, вычерченных для этой второй пары наземных станций. Точка пересечения этих двух гипербол указывает положение самолета (корабля) в данный момент времени (рис. 13).

Работа разностно-дальномерной системы в диапазоне длинных волн обеспечивает большую дальность действия: навигация при помощи этой системы возможна на несколько тысяч километров. Ошибка определения местоположения при этом составляет не более нескольких десятков километров. Такая, относительно высокая точность определения координат обусловлена тем, что при помощи этой системы определяется не направление на ориентир, а время прохождения радиосигнала.

Разностно-дальномерные фазовые навигационные системы, так же как и импульсные системы этого класса, состоят из двух пар наземных передатчиков и корабельного или самолетного приемно-индикаторного оборудования. Принцип действия этих систем основан на измерении разности фаз радиоволн, приходящих от передающих радиостанций, и определении положения движущегося объекта по картам, на которых вычерчены линии определенных значений разностей фаз.

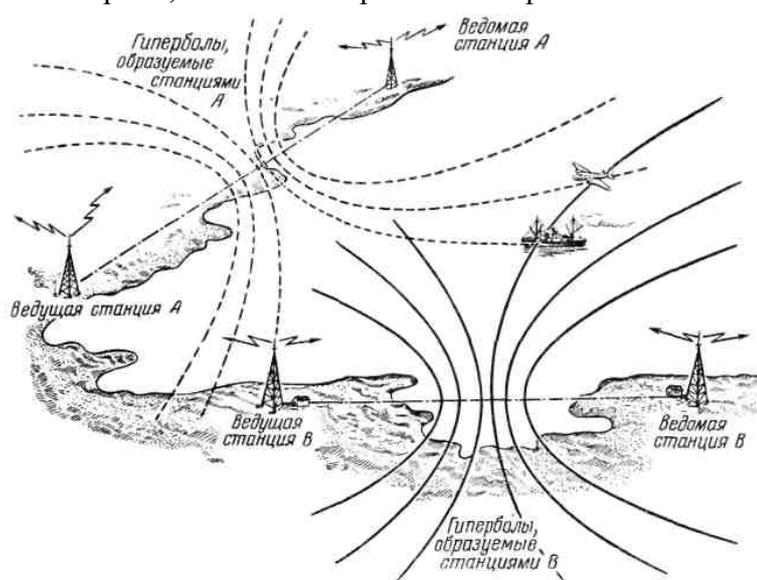


Рис. 13. Принцип определения местонахождения самолетов и кораблей при помощи разностно-дальномерной системы

Применение этой системы требует предварительной «привязки» показания шкалы индикатора приемного устройства к некоторой точке на местности, координаты которой известны. Это обусловлено тем, что в месте приема измеряется не полная разность фаз, полученная при прохождении радиоволнами

всего пути от наземных станций до приемника, а только избыток этой разности сверх целого числа периодов радиоволн. Для устранения возможной многозначности в определении положения корабля или самолета показания шкалы «привязываются» к некоторой точке на местности. При последующем перемещении корабля (самолета) индикатор регистрирует как разность фаз в пределах одного периода радиоволн, так и целое число периодов этой разности.

Определение местоположения производится путем приема радиосигналов двух пар наземных станций.

Кроме разностно-дальномерных систем в радионавигации получили применение комбинированные суммарно-разностные системы, а также круговые дальномерные системы.

Импульсные круговые дальномерные системы состоят из двух пар наземных передающих станций и самолетного оборудования. Передающие станции работают по принципу «запрос — ответ», т. е. включаются и посылают ответные импульсные радиосигналы только в случае приема ими запросных радиосигналов самолетного оборудования. Самолеты оборудуются аппаратурой, обеспечивающей регулярный запрос наземных станций, прием и регистрацию ответных сигналов.

Таким образом, по времени запаздывания ответного сигнала относительно сигнала запроса автоматически определяется дальность до каждой из наземных станций. Зная положение этих станций на местности и отложив полученные расстояния до них на карте, можно определить положение самолета.

При применении этой системы для вывода самолета в пункт назначения летчик ведет самолет по дуге окружности, в центре которой находится одна из наземных станций. Для определения момента приближения и пролета над заданной точкой летчик использует сигналы от второй наземной станции. Круговые дальномерные системы обладают весьма высокой точностью.

К дальномерным системам могут быть отнесены и наземные радиолокационные маяки-ответчики. В большинстве случаев эти станции применяются совместно с самолетными радиолокационными станциями кругового обзора. Радиолокационный маяк-ответчик представляет собой приемопередающее устройство, передатчик которого срабатывает и посылает ответный сигнал только при приеме маяком запрашивающего импульса радиолокационной станции.

При работе самолетных станций маяк-ответчик посылает ответный сигнал, который принимается станцией и воспроизводится на экране индикатора в точке, соответствующей дальности и азимуту на маяк. Для того чтобы сигналы маяков не создавали помехи при обычной работе самолетной станции, ответный сигнал маяка передается на другой волне, на которую перестраивается приемник самолетной станции при работе с маяком.

По сигналам одного радиолокационного маяка определяется не только дальность до него, но и направление. Поэтому такая навигационная система может быть отнесена к дальномерным в некоторой мере условно.

\* \* \*

Предусмотренное проектом Директив XX съезда КПСС увеличение грузооборота речного и морского транспорта, оснащение речного и морского флота судами с повышенными скоростями движения, дальнейшее развитие Северного морского пути и освоение новых глубоководных путей на Волге, Каме, Днепре и других реках требуют дальнейшего повышения оснащенности судов, портов и гаваней современным радионавигационным оборудованием.

В равной мере от качества радионавигационного оборудования и степени оснащенности им самолетов и кораблей зависит и развитие воздушного транспорта.

В связи с этим проектом Директив предусматривается проведение дальнейших работ по совершенствованию радионавигационной аппаратуры и оборудование ею морских судов, портов и гаваней и реконструкция основных аэропортов.

### ЧАСТЬ III

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ В НАУКЕ, ТЕХНИКЕ И ПРОИЗВОДСТВЕ

### Глава 1. РАДИОАСТРОНОМИЯ

Радиоастрономия принадлежит к числу тех многочисленных новых направлений в науке, самое

возникновение которых стало возможным благодаря успехам радиоэлектроники.

Предметом радиоастрономии является, главным образом, наблюдение собственного радиоизлучения небесных тел, а отчасти также наблюдения за радиоволнами, излучаемыми с Земли и отражающимися от небесных тел, например Луны, или от следов метеоров. Эта последняя область радиоастрономии получила название радиолокационной астрономии вследствие сходства ее метода с тем, который применяется в радиолокации.

Как видно из сказанного, методы радиоастрономии в принципе не отличаются от методов обычной, оптической, астрономии: и в том и в другом случае источником наших сведений о строении Вселенной являются электромагнитные волны, приходящие к нам от небесных тел. Различие заключается лишь в том, что радиоастрономия пользуется для этой цели не световыми волнами, а радиоволнами, длина которых в миллионы раз больше, чем световых. Такое огромное различие в длине волны является причиной того, что радиоастрономия открывает новые широкие возможности изучения Вселенной. Наблюдения радиоизлучения небесных тел возможны в любую погоду, так как облака, препятствующие оптическим наблюдениям, почти прозрачны для радиоволн и поэтому практически не сказываются на условиях радиоастрономических наблюдений. Радиоастрономические наблюдения дают возможность получить о небесных телах и строении Вселенной такие сведения, которых оптические наблюдения дать не могут.

Так, например, регулярные наблюдения радиоизлучения внешней короны Солнца (верхних, весьма разреженных слоев солнечной атмосферы) дают важные сведения о состоянии короны и некоторых происходящих на Солнце процессах. Оптические же наблюдения внешней короны возможны только во время полных солнечных затмений (т. е. примерно 1—2 часа в столетие). Наблюдения радиоизлучения водорода, заполняющего в чрезвычайно разреженном состоянии межзвездное пространство, дают такие сведения о строении Вселенной, которых оптическая астрономия дать вообще не в состоянии, так как для световых волн межзвездный водород абсолютно прозрачен и поэтому невидим. Радиолокационные наблюдения следов метеоров можно вести круглые сутки, в то время как оптические наблюдения возможны только ночью (днем следы метеоров не видны) и, конечно, только в ясную погоду. Таким образом, только радиолокационная астрономия позволяет получить достаточно полные сведения о количестве метеоров, попадающих в атмосферу Земли, о метеорных потоках, их направлениях и плотностях.

Эти примеры, число которых можно было бы значительно увеличить, показывают, какие новые возможности открывает радиоастрономия для изучения Вселенной. И действительно, хотя радиоастрономия начала развиваться лишь немногим более десяти лет тому назад, она за этот короткий срок дала возможность существенно расширить и уточнить наши знания о Вселенной, чем способствует успешному разрешению самых принципиальных научных проблем, как, например, строения и происхождения Вселенной, происхождения Солнечной системы, природы космических лучей и т. д. Наряду с этим радиоастрономия открывает новые пути решения многих важных практических задач, имеющих большое народнохозяйственное и оборонное значение.

Прежде всего, наблюдение за радиоизлучением небесных тел позволяет изучать условия распространения радиоволн в земной атмосфере, измерять поглощение, рассеяние и преломление в земной атмосфере радиоволн различной длины. Эти сведения чрезвычайно важны для правильных расчетов радиосвязи на большие расстояния, для повышения точности работы радиолокационных и радионавигационных систем.

Далее, наблюдения за радиоизлучением Солнца дают возможность обнаруживать возникновение на Солнце таких процессов, которые влияют на состояние земной атмосферы— вызывают нарушения радиосвязи и магнитные бури. Благодаря этому радиоастрономия повышает надежность предсказания этих явлений и позволяет уменьшить вызываемые ими затруднения в радиосвязи и судоходстве.

Радиоастрономические наблюдения возможны при любых условиях видимости. Это позволяет создать радиоастрономические навигационные приборы, т. е. приборы для определения положения корабля по наблюдениям небесных тел (Солнца, Луны). Таким образом обеспечивается возможность определения положения корабля в любой момент, когда это требуется, а не только в ясную погоду, как при проведении оптических наблюдений. Для того чтобы стало более очевидным огромное практическое значение этой возможности, достаточно указать, что оптические наблюдения на море обычно бывают возможны в течение не более 15% времени, а в северных широтах еще меньше, причем нередко оптические наблюдения невозможно проводить в течение многих суток подряд.

К числу практически важных задач, успешному разрешению которых будет способствовать

радиоастрономия, уже сейчас можно отнести и задачи астронавтики. В связи с тем, что уже начата разработка конкретных проектов создания искусственных спутников Земли и посылки автоматических наблюдательных снарядов на Луну, возник ряд вопросов об условиях, в которые попадут эти спутники и снаряды за пределами земной атмосферы и на Луне. Некоторые из этих вопросов могут быть решены только с помощью радиоастрономии. Так, например, необходимо знать, какова вероятность встречи спутника или снаряда с метеорными телами, которые, несмотря на малые размеры, могут, вследствие очень больших скоростей, представлять для них опасность. Для этого необходимо детально знать направления, из которых метеорные потоки попадают на Землю, плотность этих потоков и время их появления. А эти сведения, как уже указывалось, может дать только радиолокационная астрономия. При проектировании снаряда, который должен достичь Луны и автоматически передавать сведения об условиях, существующих на поверхности Луны, необходимо заранее определить состояние лунной поверхности — плотность и толщину покрывающего лунную поверхность слоя пыли, температуру в этом слое на разных глубинах и т. д. Все эти сведения можно получить только путем наблюдения радиоизлучения Луны (оптические наблюдения дают сведения только о температуре на самой поверхности слоя пыли, покрывающего Луну).

Таковы те разнообразные задачи, которые призвана решать радиоастрономия. Успешное разрешение их зависит главным образом от скорейшего развития этой новой области науки.

## *Глава 2. РАДИОСПЕКТРОСКОПИЯ*

Радиоспектроскопия представляет собой область радиофизики, открывающую необозримые возможности исследования строения молекул, а также твердых веществ и жидкостей. Радиоспектроскопия уже привела к созданию новых методов химического анализа и выявила пути осуществления методов непрерывного контроля и автоматического управления некоторыми технологическими процессами. Среди научных результатов, полученных при помощи радиоспектроскопии, имеются многие крупнейшие открытия. Так, например, обнаружено небольшое отклонение строения атома водорода (так называемый сдвиг S-уровня атома водорода) от строения, предсказываемого современной квантовой теорией. Этот факт, а также открытие радиоспектроскопическим методом аномального магнитного момента электрона заставили вновь пересмотреть основы квантовой электродинамики и послужили мощным толчком к развитию этой науки. Для объяснения этих двух фактов в теорию пришлось ввести учет действия так называемых нулевых колебаний вакуумного поля на элементарные частицы. Необходимость учета нулевых колебаний поля имеет большое общезначение и философское значение, ибо таким образом устраняется возможность существования пространства, полностью лишённого какой-либо материи. Теперь общепризнано, что даже в «самом пустом» пространстве обязательно имеются слабые поля.

Не менее важным является открытие на длине волны около 21 см спектральной линии излучения межзвездного водорода и недавнее открытие советскими учеными на волне около 91 см спектральной линии излучения тяжелого водорода—дейтерия. Это излучение связано с переходом между уровнями сверхтонкой структуры энергетического спектра атома водорода. Наблюдения межзвездного водорода, находящегося в больших или меньших количествах в различных областях мирового пространства, позволяют по-новому подойти к решению ряда важнейших космогонических проблем. До настоящего времени астрономы не могли непосредственно наблюдать межзвездные скопления водорода, теперь же они могут получить ценные сведения о его температуре и движении, о межзвездных магнитных полях и т. п. и таким путем расширить наши сведения о строении Галактики и всего космического пространства.

В Казанском филиале Академии наук в 1944 г. был открыт и исследован электронный парамагнитный резонанс. На этой основе были созданы новые эффективные методы изучения свойств твердых тел и жидкостей, дающие возможность более подробно изучать также процессы свечения люминофоров, процессы полимеризации сложных веществ и многие другие процессы, важные для практики.

При помощи радиоспектроскопии были измерены наиболее важные постоянные для большого количества ядер, в том числе для ядер искусственных радиоактивных веществ. Эти данные чрезвычайно существенны для построения теории ядерных сил и для практического применения.

Радиоспектроскопия позволила изучить строение сотен молекул, что дало важнейший материал для теории химической связи и позволило подойти к изучению ее природы. Для пояснения эффективности радиоспектроскопических методов достаточно сказать, что радиоспектроскопия позволяет не только

отличить молекулу, содержащую один из изотопов данного вещества, например хлора —  $\text{Cl}^{35}$ , от молекулы, содержащей другой из соответствующих изотопов хлора —  $\text{Cl}^{37}$  (что совершенно недоступно химическим методам), но и позволяет точно указать, в каком месте молекулы находится тот или иной изотоп, если в одной молекуле содержится несколько изотопов одного и того же вещества.

Радиоспектроскопические методы начинают применяться для качественного и количественного анализов смесей газов и смесей паров. Эти методы отличаются от обычных быстротой проведения анализа и, что самое главное, дают возможность осуществления непрерывного контроля технологических процессов и введения на их основе автоматического регулирования этих процессов. Для радиоспектроскопических методов анализа характерно крайне малое количество вещества, необходимого для проведения анализа (миллионные доли грамма). В ряде случаев важно и то, что образцы вещества, используемые для радиоспектроскопического анализа, не подвергаются разрушению и могут быть при необходимости сохранены для других целей.

Радиоспектроскопия отличается от оптической спектроскопии не своими принципиальными основами, а своими методами и возможностями. Радиоспектроскопия, так же как и оптическая спектроскопия, основана на наблюдении спектральных линий молекул и атомов. Но в то время как область видимого спектра охватывает диапазон волн величиной примерно в одну октаву, радиоспектроскопия охватывает примерно десять октав — от волн длиной в доли миллиметра до волн длиной в десятки метров. Оптическая спектроскопия пользуется призмами, диффракционными решетками и интерференционными приборами, определяющими разрешающую способность, точность и чувствительность оптических методов, радиоспектроскопия же может обходиться без этих приборов, причем достигаемые ею разрешающая способность, точность и чувствительность несравненно выше, чем в оптической и инфракрасной спектроскопии. Эти замечательные результаты объясняются тем, что радиоспектроскопия применяет чрезвычайно точные методы измерения частоты колебаний, электронные источники монохроматических электромагнитных колебаний, в частности клистроны, чувствительные полупроводниковые детекторы, а также волноводы, объемные резонаторы и другие детали и электронные схемы, разработанные главным образом для целей радиолокации.

В свою очередь, потребности радиоспектроскопии вызвали дальнейший прогресс в области техники сверхвысоких частот, в особенности развитие методов генерирования, приема и умножения частоты в самом коротковолновом диапазоне радиоволн, вплоть до долей миллиметра.

Этот диапазон радиоволн, не нашедший себе еще практического применения помимо радиоспектроскопии, обладает весьма перспективными возможностями, в частности для решения проблемы прямого видения при помощи радиоволн.

Радиоспектроскопия позволяет обеспечить наиболее высокую стабилизацию частоты генераторов электромагнитных колебаний.

Наибольший интерес в этом направлении представляют работы Физического института АН СССР и ведущиеся независимо работы Колумбийского университета в США по созданию принципиально нового типа приборов — молекулярного генератора и молекулярного усилителя. Эти приборы позволяют получить колебания с наибольшей стабильностью частоты — более стабильные, чем вращение Земли. В будущем на основе молекулярного генератора будут построены новые эталоны частоты (времени). С помощью молекулярных усилителей, вероятно, будут обнаружены спектральные излучения космических источников, содержащих такие вещества, как гидроксил, циан и другие. Стабильность частоты, обеспечиваемая молекулярным генератором, может оказаться достаточной для опытной проверки одного из выводов общей теории относительности — зависимости скорости течения времени (хода часов) от величины силы тяжести. Скорость хода часов, опущенных в самую глубокую шахту, отличается от скорости хода таких же часов, поднятых на самую высокую гору, примерно на  $10^{-12}$

$\left( \frac{1}{1\,000\,000\,000\,000} \right)$ . Точность, даваемая молекулярным генератором, может оказаться достаточной для

обнаружения этой разницы. Еще более удобно исследовать это явление с помощью искусственного спутника Земли, летящего на высоте около 42 000 км. В этом случае разность скоростей хода часов составит примерно  $\frac{5,8}{10\,000\,000\,000}$ , т.е. примерно в 500 раз большую, что легко обнаружить, если на

таком спутнике будет помещен действующий молекулярный генератор.

Молекулярный генератор найдет применение в научных исследованиях как радиоспектроскоп с рекордно высокой разрешающей силой. Молекулярный генератор и молекулярный усилитель открывают

новые возможности в технике связи и смежных областях.

Радиоспектроскопия представляет яркий пример огромных возможностей, открывающихся на стыке различных областей науки, в данном случае при взаимодействии радиотехники, радиофизики, теоретической физики, теории строения вещества и теории химической связи.

### Глава 3. РАДИОМЕТЕОРОЛОГИЯ

Изобретатель радио А. С. Попов впервые в истории применил радиотехнический метод для обнаружения гроз, причем получал и регистрировал своим грозоотметчиком радиоволны от грозовых разрядов на расстоянии 30 км. Это было первое в мире радиоприемное устройство, принимавшее радиоволны от отдаленного источника. Так 60 лет назад зародилась радиометеорология.

Радиометеорология обслуживает одновременно две области: радиотехнику и метеорологию. С одной стороны, она изучает влияние метеорологических факторов и процессов в тропосфере на распространение радиоволн; с другой стороны, радиотехнические наблюдения позволяют определять физические параметры тропосферы, интересующие метеорологию.

Влияние метеорологических факторов в атмосфере сказывается на преломлении, рассеянии и поглощении радиоволн.

Изменение температуры и влажности с высотой приводит к изменению диэлектрической проницаемости и, следовательно, к изменению коэффициента преломления в вертикальном направлении; преломление радиоволн обычно значительно превосходит преломление волн видимого света в тех же условиях и может привести к значительному изменению (обычно — увеличению) дальности действия станции, работающей на самых коротких радиоволнах.

Рассеяние этих волн на частицах воды или льда, содержащихся в атмосфере, резко возрастает с укорочением волны и на сантиметровых и миллиметровых волнах может привести к нарушению связи.

На индикаторах радиолокационных станций отражение от осадков и облаков дает четкую картину засвечивания экрана. Это создает серьезные неудобства для наблюдателей на наземных радиолокационных станциях, но в авиации может служить для предупреждения летчиков об угрожающих им грозовых образованиях.

В последние годы обнаружено, что рассеяние на неоднородностях тропосферы может привести к устойчивому приему метровых и более коротких радиоволн далеко за пределами прямой видимости. Это явление и его связь с колебаниями коэффициента преломления воздушной среды в настоящее время тщательно изучаются.

Значительный теоретический и практический интерес представляет поглощение самых коротких радиоволн в водяном паре и кислороде. Наибольшее поглощение в водяном паре происходит на волне длиной около 1,3 см. Большое поглощение радиоволн наблюдается в дождевых каплях, частицах града и даже снежинках. Это явление ограничивает возможность применения миллиметровых радиоволн для целей связи и радиолокации. Наконец, следует отметить, что кислороду воздуха свойственно избирательное поглощение (благодаря хорошо выраженному магнитному дипольному моменту молекул) на волнах длиной около 5 и 2,5 мм.

Таким образом, радиометеорология позволяет учитывать влияние метеорологических факторов в тропосфере на распространение радиоволн; в то же время радиотехнические методы помогают изучать образование облаков и осадков, неоднородности и турбулентность в нижних слоях тропосферы, что имеет большое значение для метеорологии.

В метеорологии применяются радиогидрометеорологические станции — автоматические устройства, позволяющие без обслуживающего персонала измерять различные гидрометеорологические элементы: скорость и направление ветра, давление, температуру и влажность воздуха, атмосферные осадки, температуру воды и пр. Эти данные автоматически кодируются и передаются по радио на значительные расстояния.

Радиогидрометеорологические станции устанавливаются в труднодоступных и малообжитых районах на суше и на плавающих объектах. Аппаратура рассчитана на автономную работу на протяжении длительного времени (по году и более). В СССР первые радиогидрометеорологические станции были разработаны в 1931—1935 гг.

В период 1925—1928 гг. советские ученые — проф. И. Г. Фрейман (Ленинградский электротехнический институт имени В. И. Ленина) и П. А. Молчанов (Служба аэрологическая обсерватория) — сконструировали и испытали первые радиозонды, предназначенные для

метеорологических наблюдений.

Радиозонд — это радиометеорологический прибор, служащий для измерения давления, температуры и влажности воздуха, автоматически передающий по радио значения этих метеорологических элементов на разных высотах во время подъема в атмосфере.

Направление и скорость ветра в высоких слоях определяются либо визуально (аэрологическим теодолитом), либо путем радиопеленгования.

Современный советский радиозонд (вместе с передатчиком, миниатюрными электронными лампами и батареей питания) весит несколько более 1 кг; размеры самого передатчика лишь немногим превышают размеры спичечной коробки. Сигналы радиозонда принимаются на расстоянии до 100 км.

В метеорологии применяется также радиовеометр — прибор для автоматического измерения и сигнализации скорости и направления ветра из удаленных от берега или необжитых мест. В море радиовеометры устанавливаются на плавающих буях и имеют автономные радиопередающие, управляющие и кодирующие устройства с часовым механизмом. Датчиком скорости ветра в радиовеометре служит контактный анемометр, датчиком направления — флюгер.

В радиометеорологии применяются также чисто радиолокационные методы. При помощи радиолокаторов производятся следующие наблюдения: измерение скорости и направления ветра на различных высотах; наблюдение за облаками и осадками; обнаружение инверсии температуры и влажности; исследование зон турбулентности атмосферы; обнаружение и определение местонахождения грозных разрядов.

Наблюдения ведутся за сигналами, отраженными от гидрометеоров и облачных частиц, а также от участков электрической неоднородности атмосферы (например, инверсий температуры). Измерения скорости и направления ветра производятся по радиосигналам, отраженным от специальных антенн-вибраторов, подвешиваемых к шару-пилоту.

Все эти методы использования радиотехнических и радиолокационных средств в метеорологии значительно обогатили ее и в течение нескольких лет позволили реализовать такие возможности, о которых только мечтали метеорологи прошлого. Теперь метеорологи располагают большим количеством данных, чем они могут обработать. Выход из этого затруднения лежит в применении электронных вычислительных машин, способных в короткий срок обработать все сведения, поступающие от метеорологических станций.

#### **Глава 4. РАДИОЭЛЕКТРОНИКА И ВОПРОСЫ АВТОМАТИЗАЦИИ**

Автоматика — отрасль науки и техники, связанная с разработкой методов и средств управления техническими или производственными процессами без непосредственного участия человека.

Автоматика находит применение в самых различных областях народного хозяйства, являясь одним из основных направлений развития современной техники. Преимущества автоматизации общеизвестны: возможность применения интенсифицированных процессов, неосуществимых при «ручном» управлении, рост производительности труда, повышение качества продукции, улучшение условий труда. Очень большое значение имеет автоматизация вредных производств.

Особо важное значение автоматизация имеет в оборонной технике, так как современное оружие (реактивные управляемые снаряды, радиолокационные установки и т. п.) вообще не может работать без автоматики. Все это делает проблему автоматизации исключительно актуальной.

В настоящее время в автоматике очень широко, и все в большей мере, используются методы радиотехники и электроники, электронные элементы сочетаются с гидравлическими и пневматическими устройствами. Поэтому современная автоматика в значительной мере базируется на достижениях радиоэлектроники и может рассматриваться только в тесной связи с последней.

В капиталистических странах, например в США, автоматизации уделяется весьма большое внимание, хотя цели автоматизации за рубежом отличаются от наших.

Теоретическая работа в области автоматики развернута в США весьма широко. Научно-исследовательская работа по теории автоматического регулирования, являющейся стержневой научной дисциплиной автоматики, ведется во многих промышленных и научных организациях.

Привлечение вычислительной техники, моделирующих устройств и цифровых машин при проведении исследовательских работ позволяет доводить теоретические разработки до результатов, обеспечивающих их использование широкими инженерными кругами при повседневной работе, и существенно повышает эффективность теоретических исследований.

Автоматизация установок и производственных процессов немыслима без развития базы автоматизации, т. е. без производства технических средств автоматики. Поэтому развитие приборостроения (контрольно-измерительных приборов, регуляторов, следящих систем, магнитных усилителей, автоматических анализаторов и т. п.) является показателем развития автоматизации.

Послевоенный период характеризуется ростом приборостроения и быстрым развертыванием автоматизации производств, переходом к полной автоматизации законченных технологических циклов на основе применения современных технических средств автоматики.

В области теории автоматического регулирования в СССР достигнут высокий уровень развития, и в целом по ширине и глубине разрабатываемых вопросов теории регулирования мы не отстаем от ведущих капиталистических стран. Однако наличие большого числа разнообразных моделей и математических вычислительных машин в США позволяет американским ученым снабжать теоретические результаты необходимыми таблицами, графиками, простыми эмпирическими формулами. Это существенно повышает эффективность теоретических исследований, и в этом отношении у нас наблюдается отставание.

Одним из важнейших показателей качества приборов является их точность. Точность выпускаемых в СССР датчиков, а также терморпар еще не полностью соответствует требованиям современной техники.

Успешное решение практических задач автоматики и телемеханики может быть осуществлено лишь в результате максимально надежной и предельно простой в эксплуатации аппаратуры; это возможно только при внедрении передовой технологии производства радиоэлектронных приборов, деталей и материалов. Именно поэтому общетехнический уровень развития средств автоматики и телемеханики будет определяться уровнем развития радиоэлектронной, а также приборостроительной промышленности и наоборот.

Быстрое развертывание автоматизации производства и переход к полной автоматизации технологических циклов вместо «частичной» автоматизации, представлявшей собой простое присоединение автоматической аппаратуры к имевшемуся оборудованию и охватывавшей единичные, не связанные между собой агрегаты, приводит к коренному изменению характера производства. В конечном результате создаются не только автоматизированные линии, а полностью автоматизированные заводы.

Характерным для автоматизированных предприятий является увеличение скорости и точности регулирования, регистрации и обработки показаний измерительных и регистрирующих приборов, что делается возможным благодаря применению вычислительных устройств.

Находят применение системы автоматического контроля, дающие избирательную информацию (т. е. информацию только с тех участков производства, где имеются отклонения от нормального режима).

Широкому внедрению автоматики и телемеханики во все отрасли народного хозяйства, особенно в промышленность, энергетику, транспорт и связь, должно предшествовать решение важнейших научно-исследовательских проблем, большинство которых в той или иной степени также связано с общим развитием радиоэлектроники.

К числу научных задач, решение которых должно обеспечить развитие автоматики и телемеханики, относятся: — создание общей теории телемеханических устройств на базе развития теории информации и теории обратной связи;

- создание теории релейных схем и общей теории преобразований;
- разработка общей теории надежности и помехоустойчивости телемеханизированных и автоматизированных систем;
- создание рациональных методов использования каналов связи для телемеханизированных систем.

Комплексная автоматизация требует непрерывного учета влияния на производственные процессы различных, случайно меняющихся параметров, находящихся в сложной функциональной зависимости один от другого, а также получения и немедленного учета данных о различных сложных процессах, что при быстром их протекании требует применения быстродействующих автоматических электронных вычислительных устройств.

Наша страна имеет успехи в деле автоматизации ряда производств и в частности предприятий нефтеперерабатывающей промышленности, энергетики, металлургии, машиностроения и некоторых других отраслей народного хозяйства.

Несмотря на имеющиеся достижения, состояние и темпы автоматизации в СССР пока еще недостаточны. Задача автоматизации до последнего времени не была поставлена как одна из больших

государственных задач. Несмотря на то, что автоматизация позволяет перейти к качественно новым формам производства, большинство министерств недооценивало ее и не уделяло этому вопросу должного внимания.

В проекте Директив XX съезда КПСС указывается, что максимальная автоматизация производственных процессов является первоочередной задачей, имеющей важнейшее государственное значение.

Автоматизация производства увеличивает производительность труда, позволяет экономить сырье, повышает качество продукции, улучшает условия труда (особенно во вредных производствах), уменьшает количество обслуживающего персонала на предприятии. Она стирает разницу между умственным и физическим.

Усилия советских ученых должны быть направлены на быстрейшее решение задач автоматизации.

## **Глава 5. ЭЛЕКТРОННАЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА**

Непрерывный рост потребностей всех областей науки и техники в проведении больших и сложных вычислительных работ явился в последние годы причиной быстрого развития средств вычислительной техники и обусловил возникновение принципиально нового направления ее, заключающегося в создании и применении современных быстродействующих электронных вычислительных машин.

Это направление имеет первостепенное значение и необычайно широкие перспективы дальнейшего развития. Современные быстродействующие вычислительные машины способны выполнять десятки тысяч арифметических действий в секунду и в короткие сроки (от нескольких минут до нескольких часов) осуществлять численное решение чрезвычайно сложных математических задач, на которое при ручных вычислениях потребовались бы годы работы. Так, например, для решения вручную достаточно полной системы дифференциальных уравнений, описывающих пространственное движение управляемой ракеты, потребовалось бы около двух лет непрерывной работы одного вычислителя, пользующегося арифмометром. На электронной вычислительной машине эта задача решается в течение двух часов.

Возможность получения с помощью электронных машин в короткие сроки точных численных решений весьма сложных уравнений позволяет во многих случаях заменять экспериментальные исследования и натурные испытания различных объектов математическими расчетами на машинах, что приводит к значительной экономии материальных средств и времени. Особенно остро потребность в проведении больших и сложных математических вычислений ощущается в таких областях, как ядерная физика, реактивная техника, радиоэлектроника.

Другой важной областью применения электронных вычислительных машин, помимо трудоемких математических вычислений, является использование этих машин в качестве управляющих устройств в различных системах автоматического управления.

На основе электронной вычислительной техники строятся сложные автоматы, способные учитывать изменения внешних условий, запоминать ход процесса регулирования, вырабатывать логические решения. Такие автоматы применяются, например, для управления производственными процессами, для автоматического регулирования режимов работы электростанций, для управления воздушной и зенитной стрельбой, для наведения самолетов-перехватчиков и управляемых ракет и т. д.

Кроме указанных двух областей применения, электронные вычислительные машины широко используются при выполнении различных экономико-статистических работ (составление планов, отчетов, расписаний и т. п.), для решения логических, комбинаторных задач, т. е. везде, где необходимо выполнять большой объем однообразной умственной работы по определенным правилам.

Сферы применения электронных вычислительных машин непрерывно расширяются и не ограничиваются областью непосредственно математических вычислений, которая представляет собой, как известно, только одну из узких областей умственного труда человека.

Таким образом, название «математические» или «вычислительные» машины не вполне правильно определяет значение и возможности этой области техники. Более точным было бы название «логические машины», т. е. машины для повышения производительности умственного труда человека. Именно этим обусловлено большое революционизирующее значение электронных математических машин в современной науке и технике.

Если раньше задачи технического прогресса концентрировались в основном вокруг проблем механизации физических функций человека (развитие средств производства, передвижения, связи, наблюдения и измерения и т. д.), то середина XX века ознаменовалась бурным развитием средств

механизации умственного труда.

Следует заметить, что появление электронных цифровых вычислительных машин имеет большое значение и для развития комплекса биологических наук и, в первую очередь, для изучения процессов высшей нервной деятельности, так как с помощью этих машин представляется возможным создать модели отдельных элементарных процессов работы нервной системы и процессов мышления и тем самым ближе подойти к раскрытию закономерностей в этой области.

Одной из важных особенностей техники электронных вычислительных машин является то, что в ней сочетается большой комплекс различных областей современной науки и техники — таких, как математический численный анализ, теоретическая логика, электроника, импульсная техника, физика полупроводников; она использует достижения этих областей и стимулирует их дальнейшее развитие.

Значение электронных вычислительных машин для коммунистического строительства в нашей стране трудно переоценить. Широкое применение электронных вычислительных машин должно обеспечить резкий подъем советской науки и техники на новую, более высокую ступень. Применение электронных машин для автоматического управления производственными процессами приводит к значительному повышению производительности труда, улучшению качества продукции и экономии материалов и энергии.

В отличие от капиталистического общества, где внедрение автоматических установок влечет за собой увольнение трудящихся и ухудшение условий их жизни, в социалистическом обществе автоматика, и в том числе электронные вычислительные машины, облегчают условия труда людей, освобождают их от наиболее трудоемкой, утомительной и однообразной работы и способствуют, в конечном счете, повышению материального благосостояния трудящихся.

Существуют два основных класса электронных вычислительных машин: машины непрерывного действия и машины цифровые.

В машинах непрерывного действия математические величины изображаются в виде непрерывных значений каких-либо физических величин, например напряжений электрического тока, и могут быть представлены с ограниченной точностью, зависящей от качества регулировки и стабильности параметров схем. Ограниченная точность работы является принципиальным недостатком машин непрерывного действия по сравнению с машинами цифровыми.

Электронные вычислительные машины непрерывного действия конструктивно состоят из целого ряда отдельных функциональных блоков, каждый из которых служит для выполнения одной какой-либо математической операции (сложение, вычитание, умножение, деление, интегрирование, образование заданной функции и т. д.). Соединение этих блоков между собой производится в последовательности, отвечающей конкретному виду решаемого уравнения. Если машина предназначается для решения только одного вида уравнений, то состав функциональных блоков машины и их соединение между собой являются постоянными.

В большинстве случаев электронные вычислительные машины непрерывного действия строятся достаточно гибкими, т. е. обеспечивающими возможность решения сравнительно широкого круга задач одного и того же типа. С этой целью в машинах предусматривается возможность изменения как состава функциональных блоков, участвующих в решении той или иной конкретной задачи, так и порядка соединения этих блоков.

Наибольшее значение и распространение среди машин непрерывного действия имеют электронные машины для решения обыкновенных дифференциальных уравнений, так называемые электронные модели. Такими уравнениями описываются процессы движения различных механических и электрических систем, и поэтому с помощью электронных моделей можно воспроизводить и исследовать в лабораторных условиях подобные процессы, что позволяет рациональным образом конструировать различные системы автоматического управления.

В электронных цифровых машинах переменные величины изображаются цифрами и представляются в виде ряда принимаемых дискретных числовых значений. Решение задачи на любой цифровой машине состоит из отдельных, последовательно выполняемых арифметических операций. Поэтому цифровые машины называют также машинами дискретного действия, или счета. Используя различные разработанные в математике численные методы, можно при помощи цифровых машин решать самые разнообразные математические задачи, так как численное решение любой задачи может быть сведено, в принципе, к последовательному выполнению четырех арифметических действий.

В отличие от вычислительных устройств непрерывного действия, где точность представления величин ограничена достижимой точностью изготовления и регулировки отдельных устройств и нестабильностью

их работы, в цифровых вычислительных устройствах принципиально может быть достигнута любая точность вычислений. Для этого необходимо лишь увеличить количество разрядов в изображении чисел, т. е. увеличить количество элементов, служащих для представления чисел в машине. При этом требования к точности изготовления и стабильности работы самих элементов не повышаются. Достаточно, чтобы эти элементы, например элементарные схемы на электронных лампах или реле, имели определенное количество резко выраженных фиксированных состояний.

С точки зрения принципа работы любая электронная вычислительная цифровая машина может рассматриваться как бы состоящей из трех основных частей:

- 1) арифметического устройства, предназначенного для выполнения операций над числами;
- 2) запоминающего устройства, предназначенного для приема, хранения и выдачи чисел, участвующих в операциях, а также для хранения исходных данных и результатов решения задачи;
- 3) устройства, предназначенного для управления автоматической работой машины.

Кроме того, в машинах предусматриваются специальные устройства для ввода данных в машину и устройства для выдачи из машины результатов решения. Все части машины соединены между собой линиями связи, по которым передаются числа и управляющие сигналы.

Арифметические устройства машин строятся на электронных лампах или полупроводниковых элементах. Они работают с огромной скоростью, производя счет электрических импульсов в двоичной системе счисления.

В этой системе, в отличие от общепринятой десятичной, основанием системы является не число десять, а число два, и числа изображаются не десятью различными цифрами (0, 1, 2... 9), а всего двумя: 0 и 1. Например, число 5 в двоичной системе будет иметь вид:  $5 = 1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 101$ . Число  $23 = 1 \cdot 2^4 + 0 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 10111$ .

Таким образом, любое число в двоичной системе изображается последовательностью нулей и единиц, что значительно упрощает представление чисел в машинах и выполнение арифметических действий над ними.

Запоминающие устройства машины обычно состоят из двух отдельных устройств: внутреннего, или оперативного запоминающего устройства и внешнего запоминающего устройства. Часто оперативное запоминающее устройство условно называют памятью машины, а внешнее запоминающее устройство — накопителем. Память имеет сравнительно небольшую емкость; у большинства современных машин она рассчитана на одновременное хранение 1024 или 2048 чисел. Память непосредственно связана с арифметическим устройством и служит для выдачи чисел, участвующих в операции, и приема результатов. Она хранит обычно только те данные, которые необходимы для ближайшего ряда операций.

Память в машинах строится на различных принципах: на электронно-ламповых триггерных ячейках, на ртутных электроакустических линиях задержки, на электроннолучевых трубках, на магнитных сердечниках с прямоугольной петлей гистерезиса, на ферроэлектриках (кристаллах титаната бария, обладающих прямоугольной петлей изменения диэлектрической постоянной) и др.

Внешние накопители обладают практически неограниченной емкостью, но имеют значительно меньшую скорость работы. Они являются резервом для памяти и непосредственно в вычислениях не участвуют. В процессе автоматических вычислений происходит обмен информацией между памятью и накопителем таким образом, что все данные, необходимые для очередных действий, вводятся из накопителя в память, и наоборот — данные, уже использованные в расчетах, и результаты расчетов выводятся из памяти, освобождая ее для новых данных,

Внешние накопители обычно строятся на основе применения магнитной записи на ленты или барабаны. Часто используется запись на перфоленты и перфокарты.

Электронная цифровая вычислительная машина осуществляет, в принципе, тот же порядок решения задач, что и человек-оператор, работающий на арифмометре. Машина поочередно выбирает из запоминающего устройства необходимые числа, производит над ними требуемые действия и посылает результаты обратно в запоминающее устройство. Разница заключается в том, что эти операции электронная цифровая машина выполняет с огромной скоростью. Для решения любой задачи на электронной цифровой машине должна быть заранее составлена программа работы машины, которая вводится в машину перед решением задачи, после чего весь процесс решения выполняется машиной автоматически, без участия человека.

Составление программы является, вообще говоря, достаточно сложным и трудоемким делом, однако в настоящее время успешно разрабатываются методы использования самих электронных машин для

составления программ решения задач.

Приведем некоторые средние технические характеристики современных больших электронных цифровых машин универсального назначения: скорость вычислений составляет 5—8 тысяч арифметических действий в секунду; количество разрядов в числах, с которыми оперирует машина, 8—12 (десятичных); емкость памяти 1024—2048 чисел; емкость внешних накопителей 100 000—1 000 000 чисел; количество электронных ламп 3—5 тысяч; занимаемая площадь 100—200 м<sup>2</sup>; потребляемая мощность 40—50 киловатт.

В Институте точной механики и вычислительной техники Академии наук СССР построена под руководством академика С. А. Лебедева быстродействующая электронная счетная машина (БЭСМ), которая является самой совершенной и быстродействующей машиной в Европе.

Кроме того, в Академии наук СССР и в промышленности создан ряд небольших электронных цифровых вычислительных машин. Однако вычислительных машин у нас явно недостаточно, и в них ощущается острая потребность, непрерывно возрастающая в связи с развитием науки и техники.

Перспективы развития электронных вычислительных машин кратко могут быть охарактеризованы следующим образом.

а) Расширение возможностей применения машин в следующих направлениях:

выполнение особо сложных и трудоемких математических вычислений, связанных с исследованиями в области ядерной физики, радиоэлектроники, химической и биологической кинетики и в других областях;

выполнение сложных и разнообразных функций в системах автоматического управления, включая статистическую обработку внешней информации, выработку логических решений, определяющих оптимальный процесс управления и самоконтроль работы системы в условиях внешних и внутренних помех;

осуществление комплексной механизации экономико-статистических работ: составление планов, отчетов, графиков, ведомостей, расписаний и т. п., вплоть до автоматизации отдельных процессов управления производственными предприятиями, хозяйственными и административными учреждениями;

применение машин для механизации отдельных видов умственной работы: решение задач формальной логики, перевод с одного языка на другой, информационно-библиографическая работа, составление программ для решения задач на машинах и т. д.

б) Развитие техники электронных цифровых вычислительных машин идет по пути использования ряда новых идей и направлений:

широкое применение полупроводниковых (германиевых и кремниевых) элементов вместо электронных ламп в электронных вычислительных машинах, что должно обеспечить резкое сокращение размеров машин и потребляемых мощностей, повышение надежности и сроков службы машин;

разработка и применение новых типов запоминающих устройств (ферромагнитные, ферроэлектрические, диодно-емкостные, магнитострикционные и др.), которые должны дать высокую скорость работы, большую емкость запоминания и высокую надежность;

усовершенствование технологии изготовления машин с целью организации автоматизированного и массового производства машин. Это осуществляется путем применения печатного монтажа, стандартных типовых ячеек, узлов и устройств машин, выпускаемых отдельно и позволяющих осуществлять сборку машин в различных местах страны;

исследование и разработка принципов и способов построения саморемонтирующихся и самоконтролирующихся машин, обладающих высокой надежностью работы.

в) Следует ожидать создания в ближайшем будущем электронных вычислительных машин, обладающих следующими основными характеристиками:

устройства ввода должны обеспечивать непосредственную подачу в машину десятизначных чисел и буквенных данных со скоростью до 2000 отдельных знаков в секунду; устройства вывода должны выдавать цифровой и буквенный материал с такой же скоростью;

выполнение арифметических операций должно производиться со скоростью до 100 000 сложений и вычитаний в секунду и до 20 000 умножений или делений в секунду;

оперативное запоминающее устройство должно иметь емкость в 10 000—20 000 десятизначных десятичных чисел;

внешний накопитель должен иметь практически неограниченную емкость;

потребляемая мощность питания не должна превышать 2—5 квт;

габариты машины должны допускать ее размещение в комнате площадью 20—40 кв. м;

машина должна обеспечивать высокую надежность, допуская в работе не более одного сбоя на миллиард операций.

## Глава 6. ИНДУКЦИОННЫЙ НАГРЕВ

Известно, какую роль в истории человечества сыграло открытие огня. Огонь и в наши дни является основным источником энергии, применяемой человеком, важнейшим элементом в большинстве технологических процессов металлургической, химической и других отраслей промышленности. Но в ряде случаев применение обычных способов нагрева уже не удовлетворяет технологов. Например, при плавке качественных сталей и специальных сплавов трудно предохранить металл от загрязнения топочными газами, а нагрев металла через стенки тигля крайне не экономичен. При закалке стальных деталей или при сушке фарфоровой посуды и особенно крупных изоляторов был неизбежен большой брак из-за неравномерного нагрева и коробления изделий.

В 1907 г. изобретатель А. Н. Лодыгин предложил нагревать и плавить металлы и другие тела с помощью индуктированных (вихревых) токов. Впервые расплавление металла в пустоте с помощью токов высокой частоты было осуществлено в 1917 г. академиком Н. Д. Папалекси, который применил индукционный нагрев для обезгаживания металлических деталей при откачке радиоламп. Этот способ обезгаживания применяется в электровакуумной промышленности всего мира и в наши дни. Широко применяется и индукционная плавка металлов.

При обычных способах нагрева тепло, путем теплопроводности, передается нагреваемому телу от раскаленных газов или от нагретых стенок печи. Это связано с большими потерями тепла и делает процесс нагрева сравнительно медленным. Индукционный нагрев отличается тем, что тепло выделяется в самом нагреваемом теле циркулирующими в нем индукционными токами (если это тело проводник электричества) или в результате смещений молекул под действием переменного электрического поля, если это тело диэлектрик и плохо проводит электрический ток.

Например, при упомянутом выше применении высокочастотного индукционного нагрева для обезгаживания деталей радиоламп тепло выделяется в самих металлических деталях, заключенных в стеклянную колбу лампы. Никакой другой способ не может позволить экономически выгодно нагреть эти детали сквозь стекло и пустоту, являющиеся чрезвычайно плохими проводниками тепла.

В современных плавильных печах средней мощности для выплавки специальных сплавов и сталей также применяется индукционный высокочастотный нагрев. Это не только обеспечивает получение чистых сплавов, но и приводит к экономии топлива и, что не менее важно, улучшает условия труда металлургов. Современный литейный цех, в котором применяется индукционный нагрев, ничем не напоминает жарких и душных литейных цехов старого типа.

Крупные индукционные плавильные печи могут работать на токах низкой частоты, питаясь от обычной силовой электросети. В таких печах затраты электроэнергии и другие расходы оказываются еще более низкими, чем при применении высокочастотного нагрева.

В начале тридцатых годов в СССР и в других промышленных странах индукционный нагрев начал применяться для закалки деталей. При прежних способах закалки детали нагревались в горнах или в специальных нагревательных печах. Детали прогревались медленно и почти одинаково на всю глубину. Это сильно осложняло технологию закалки и вело к массовому браку из-за деформации деталей.

Иное дело при индукционном нагреве. В металлах токи высокой частоты распространяются только в тонком поверхностном слое, толщина которого может регулироваться выбором частоты тока. Поэтому при индукционном нагреве можно быстро нагреть до необходимой температуры тонкий поверхностный слой детали, в то время как температура внутренних частей изменяется очень мало. При этом закаленным окажется лишь тонкий внешний слой детали, а ее внутренние части останутся незакаленными, т. е. вязкими и пластичными. Именно такое распределение свойств желательно при закалке режущего инструмента, шестерен, рельсов и во многих других случаях. При закалке крупных деталей, когда требуется получение более толстых закаленных слоев, применяют индукционный нагрев токами низкой частоты. Для получения таких токов применяют обычно вместо ламповых генераторов специальные электромашинные генераторы или управляемые ионные преобразователи.

Индукционный нагрев позволяет полностью автоматизировать процесс закалки изделий массового производства, обеспечить однородность изделий и свести брак в процессе закалки практически к нулю.

Индукционная плавка и закалка являются наиболее прогрессивными технологическими процессами и должны все более широко внедряться в промышленность.

Высокочастотный нагрев применяется не только в металлургической и металлообрабатывающей промышленности. Например, гончарное производство является одним из древнейших известных человечеству. Поговорку «небоги горшки обжигают» несомненно, придумал в глубокой древности мастер, чтобы придать бодрость ученику, постигающему самый сложный процесс этого производства — обжиг. Сушка и обжиг больших керамических изделий связаны с браком из-за коробления, так как при обычном нагреве сушка происходит с поверхности изделия. При неравномерной толщине стенок и сложной форме изделия большой брак был неизбежен. При высокочастотной сушке изделие помещается в электрическом поле высокой частоты, которое вызывает однородный нагрев во всей толще изделия, причем там, где влаги больше, выделяется и больше тепла. Это делает нагрев более равномерным, ускоряет и улучшает весь процесс сушки и обжига, уменьшает необходимые площади и увеличивает производительность труда.

Такие же результаты дает применение высокочастотной сушки в деревообрабатывающей промышленности. Обычные методы сушки древесины требуют многих месяцев, а в наиболее ответственных случаях — многих лет. При сушке древесина дает трещины, а сушилки и хранилища занимают чрезвычайно большие площади.

Применение токов высокой частоты для сушки досок позволяет сократить весь процесс сушки до нескольких часов, а в некоторых случаях и до нескольких минут. При этом древесина прогревается по всей толще и приобретает хорошие технологические свойства.

В последнее время высокочастотный нагрев все более широко применяется в промышленности пластмасс и в резиновой промышленности для предварительного прогрева заготовок и даже для окончательной обработки изделий. Эти прогрессивные технологические процессы улучшают использование оборудования, улучшают качество и снижают стоимость изделий.

Высокочастотный нагрев с успехом применяется и в пищевой промышленности для консервирования продуктов, подсушивания чая, овощей, фруктов и т. п.

Возможно, что в будущем токи высокой частоты найдут применение и для сушки зерна в больших зернохранилищах.

Индукционный нагрев — незаменимый процесс в большинстве отраслей промышленности. Он с успехом применяется на передовых предприятиях нашей страны. Важнейшей задачей является разработка и массовый выпуск типовой аппаратуры для индукционного нагрева с тем, чтобы на всех предприятиях мог быть применен этот важнейший метод повышения производительности труда, улучшения качества продукции и облегчения условий работы.

## **Глава 7. ПРИМЕНЕНИЕ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ В НАРОДНОМ ХОЗЯЙСТВЕ**

Для дальнейшего развития промышленности существенное значение приобретает применение радиоэлектроники.

Из промышленных применений радиоэлектроники наиболее широко известна высокочастотная электротермия, использующая мощные электрические и магнитные поля для индукционного нагрева, плавки, сварки металлов и для сушки диэлектриков.

Менее известно применение радиоэлектроники для целей автоматизации технологических процессов и контроля.

Соединение электронных усилителей с датчиками — преобразователями механических напряжений, температурных изменений и прочих неэлектрических величин позволило создать простые средства измерений и контроля многих процессов, ранее не контролировавшихся вовсе.

Электронные тензометры, т. е. электронные усилители с датчиками механических давлений и напряжений, нашли применение в строительном деле и в машиностроении для изучения напряжений в ответственных частях крупных сооружений (плотин, мостов, фундаментов), для изучения условий работы отдельных деталей и узлов машин и механизмов. Недавно, например, директор одного из крупнейших металлообрабатывающих заводов страны — Уралмашзавода — рассказал на страницах «Правды» о том, как, применив электронные тензометры с проволочными датчиками, удалось уточнить действительные напряжения в различных узлах серийного трехкубового экскаватора «Уралец». В результате этих исследований, при сравнительно небольших конструктивных переделках, емкость ковша была увеличена до 4 м<sup>3</sup> и производительность экскаватора возросла на 30—35%.

Электронные схемы дают возможность измерять малые промежутки времени (до 100 мксек) с точностью до 2 мксек. Они позволяют автоматически поддерживать температуру ванны или печи с

точностью до  $\pm 0,00055^\circ$  (для номинальной температуры  $100^\circ$ ). Используя схему под названием «электронный микрометр», можно обнаружить смещение в один ангстрем ( $10^{-8}$  см).

Фотоэлектрический калориметр является ценнейшим прибором для массовых химических анализов.

Несколько примеров использования радиоэлектронных приборов в различных отраслях промышленного производства помогут уяснить многообразие этих применений и задачи, ждущие еще своего разрешения.

*В цветной металлургии.* Уже в начале технологического процесса, перед тем как руда попадает на дробильные агрегаты, необходимо убрать с подающего транспортера куски металла, случайно попавшие в руду, чтобы избежать поломки дробильных агрегатов. Контроль может быть поручен «металлоискателю» — ламповой схеме, состоящей из генератора, в колебательный контур которого включена выносная катушка, расположенная над транспортером. При приближении к катушке металлического предмета изменяется ее индуктивность, а, следовательно, и резонансная частота контура. В результате на выходе усилителя, после генератора, срабатывает реле, которое включает сигнализацию, либо даже останавливает транспортер.

На таком же примерно принципе построены уловители для обнаружения самородков золота.

На обогатительных фабриках нашли применение электронные потенциометры для непрерывного контроля концентрации водородных ионов в пульпе.

Для контроля прозрачности растворов в различного рода отстойниках и сгустителях применяются фотоэлектрические колориметры-мутномеры.

Внедрение методов измерений толщины металлической ленты с помощью проникающего  $\beta$ - или  $\gamma$ -излучения радиоактивных изотопов нуждается в электронных устройствах, которые позволили бы создать достаточно простые и надежные «микрометры» для непрерывных измерений толщины ленты при прокате. Необходимы также приборы для непрерывного контроля качества поверхности ленты.

Эти и многие другие вспомогательные и контрольные приборы могут быть построены с использованием радиометодов. Они позволяют повысить качество продукции и производительность труда на предприятиях цветной металлургии.

*В бумажной и деревообрабатывающей промышленности.* Для регулирования влажности бумаги в процессе производства сейчас применяются несколько типов электронных влагомеров, основанных на изменении выходного напряжения высокочастотного генератора (2 мгц) при изменении емкости контура этого генератора. Это изменение емкости контура связано с изменением диэлектрической проницаемости бумажной ленты в зависимости от ее влажности.

В целом ряде технологических процессов существенное значение имеет автоматическое регулирование и поддержание постоянства заданной температуры. Для этих целей все большее применение находят электронные потенциометры.

Весьма важной задачей является непрерывный контроль и автоматическое регулирование веса квадратного метра бумаги в процессе производства. Используя проникающее  $\beta$ -излучение некоторых изотопов и соответствующую электронную аппаратуру, можно решить и эту задачу. Конструкторы должны только позаботиться, чтобы это устройство было достаточно простым и надежным в эксплуатации.

Измерители концентрации водородных ионов имеют важное значение для процессов варки и отбелики целлюлозы, проклейки бумаги и т. п.

Солемеры — приборы, измеряющие электропроводность жидкостей, — используются в бумажной промышленности для химического контроля концентрации башенной кислоты. На очереди разработка других электронных приборов для контроля состава различных жидкостей, используемых в процессе производства.

Работники бумажной промышленности считают очень важной задачей разработку приборов для непрерывного контроля оптических свойств бумаги (степени белизны, светопрозрачности и пр.).

*На предприятиях легкой промышленности.* На предприятиях хлопчатобумажной промышленности качество бумажной ленты и ее номер контролируются с помощью электронного счетного устройства  $\beta$ -излучения радиоактивных изотопов.

В текстильном производстве нашли применение электронные устройства для контроля разбаланса шелкокрутильных деревянных катушек, рогулек и шпуль и их отбраковки.

В обувной промышленности применяются электронные приборы для контроля качества закалки супинаторов.

В прядильном производстве нашел применение электронный стробоскоп для контроля и наладки станков, степени и частоты вибрации нити.

Электронные манометры, электронные тахометры, электронные потенциометры для титрования и исследования кислотности растворов находят все большее применение на предприятиях легкой промышленности.

Можно значительно увеличить как список отраслей промышленности, так и число электронных приборов, которые уже нашли то или иное применение на различных предприятиях.

В частности, несомненный интерес представляет внедрение в производственный процесс ультразвуковых приборов, а также аппаратуры дистанционного наблюдения (индустриальное телевидение).

Следует отметить, что наряду с усилиями ученых по разработке новой методики контроля, регулирования и автоматизации многих участков технологического процесса производства уже сейчас широкое поле деятельности предоставлено отраслевым институтам и конструкторским бюро для реализации в конкретных областях огромных возможностей радиоэлектроники.

## **Глава 8. РАДИОЭЛЕКТРОНИКА И ПРОБЛЕМА ИСКУССТВЕННОГО СПУТНИКА ЗЕМЛИ**

Решение целого ряда важных научных проблем в настоящее время зависит от возможности вынести наблюдателя или хотя бы измерительные приборы за пределы атмосферы, окружающей нашу планету.

Так например, известно, что атмосфера задерживает большую часть ультрафиолетового и рентгеновского излучения Солнца, а все поступающие из космического пространства частицы (например, протоны, атомные ядра и т. д.) или задерживаются атмосферой или преобразуются в ней.

В то же время сведения об излучении Солнца и о частицах, поступающих из космического пространства, имеют большое значение для науки. Излучение Солнца способствует формированию определенных слоев земной атмосферы, так называемой ионосферы, которая играет важнейшую роль в распространении радиоволн на большие расстояния. Кроме того, хотя большая часть тепловой энергии, поступающей от Солнца, достигает поверхности Земли за счет видимых лучей спектра, ультрафиолетовое излучение, поглощаемое атмосферой, способствует образованию в верхних ее слоях озона, поглощающего тепло и оказывающего благодаря этому существенное влияние на распределение погоды на поверхности Земли.

С помощью мощных ракет, не нуждающихся для своего движения в наличии атмосферы, сейчас оказывается возможным поднимать измерительные приборы, а также животных, на высоты порядка нескольких сотен километров с целью получения необходимых данных о космических излучениях, составе атмосферы и условиях пребывания живых существ на таких высотах.

Однако, несмотря на огромные затраты, связанные с пуском таких ракет, оказывается возможным проводить при их помощи наблюдения только в течение нескольких минут, что далеко недостаточно для получения полных данных и успешного выполнения задачи. Это и привело к идее создания искусственного спутника Земли, обращающегося вокруг нее по некоторой орбите, способного нести на себе необходимые приборы, а возможно, и людей, для выполнения достаточно длительных наблюдений.

Впервые обоснования возможности создания искусственного спутника Земли или «внеземной станции» были разработаны русским ученым К. Э. Циолковским в его труде «Исследование мирового пространства реактивными приборами», изданном в 1903 г.

Циолковский показал, что такой искусственный спутник Земли является необходимым этапом на пути к овладению межпланетным пространством, так как только с использованием промежуточной станции можно решить проблему преодоления силы земного притяжения.

Идея, казавшаяся фантастической пятьдесят лет тому назад, когда человек делал только первые робкие попытки подняться над поверхностью Земли и когда рекордными для авиации были высоты в несколько десятков метров, сейчас является вполне осуществимой.

В связи с проведением в 1957—1958 гг. международного геофизического года, пресса во всех странах сообщает о большом числе проектов искусственных спутников Земли, подчеркивая, что имеются сведения о предполагаемом запуске таких спутников в США и в Советском Союзе.

Современные ракетные средства еще не обеспечивают возможности запуска искусственного спутника с большой массой, способного поднять одного или нескольких человек.

Дело не только в том, что еще совершенно недостаточно изучены условия существования человека в среде, лишенной тяжести, при наличии интенсивного космического облучения, при опасности

бомбардировки малыми метеорами, обладающими огромной живой силой. Дело еще в том, что пребывание человека на спутнике потребовало бы применения большого числа вспомогательных устройств, а главное — средств безопасного спуска на поверхность Земли, что делает необходимые размеры такого спутника чрезмерно большими.

Реальным является запуск сравнительно небольшого тела, способного нести ограниченное число научных приборов и вспомогательных устройств, без большой вероятности сохранного возвращения этих приборов на поверхность Земли.

Таким образом, возможность получения ценных для науки результатов при помощи аппаратуры, размещенной на искусственном спутнике Земли, полностью зависит от возможности при помощи этой аппаратуры автоматически собрать необходимые данные и провести соответствующие измерения, накопить, или, как говорят, «запомнить» их и в нужные моменты передавать на Землю в удобном для расшифровки и дальнейшего использования виде.

Это оказывается возможным только за счет использования значительных достижений современной радиоэлектроники, способной полностью решить эту задачу.

Радиоэлектроника играет решающую роль на всех этапах создания и использования искусственного спутника Земли.

Выполнение сложных и громоздких расчетов, связанных с вычислением траектории полета ракеты, выводящей спутника на его орбиту, сам расчет орбиты и ее возмущений под действием Земли и Солнца необычайно ускоряется и облегчается применением электронных счетных машин, выполняющих в одну секунду много тысяч действий.

После запуска ракеты, электронные счетно-решающие устройства позволяют решать непрерывно возникающие задачи по корректировке траектории полета, от скорости и точности которых полностью зависит успешное выведение спутника на выбранную для него орбиту.

Запуск спутника должен производиться с помощью мощной ракеты, состоящей из двух или более ракет, последовательно включаемых по мере израсходования запаса горючего и жидкого кислорода.

Первая ракета должна подниматься вертикально вверх для скорейшего преодоления плотных слоев атмосферы. Начиная с определенной высоты, путем управления по радио, ракета должна перейти на эллиптическую траекторию, в верхней своей части соприкасающуюся с расчетной траекторией спутника. Израсходовав запас горючего и кислорода, пустая оболочка ракеты должна автоматически отделиться после включения (зажигания) двигателя следующей ступени. Наконец, в точке касания траектории ракеты и орбиты будущего спутника, должна включиться последняя ступень, обеспечивающая сообщение спутнику ускорения по касательной к его орбите, затем спутник должен освободиться от остатков ракеты и двигаться дальше по собственной орбите как небольшая планета.

Управление по радио направлением движения ракеты и непрерывный контроль за точностью сохранения расчетной траектории движения требует использования сложного комплекса радиотехнических и электронных устройств как на Земле, так и на всех ступенях ракеты.

Последовательное включение ракетных двигателей и отделение отработавших ступеней ракеты в безвоздушном пространстве в точно рассчитанные моменты времени требуют использования сложной, но надежной автоматики, возможность создания которой определяется достижениями электроники.

Работа измерительных приборов, размещенных на спутнике, регистрация и запоминание результатов измерений также должны осуществляться с помощью автоматических электронных устройств, работающих по заранее установленной программе.

Орбита спутника должна представлять собой эллипс, наиболее близкая к Земле точка которого не должна быть ближе 200 км, во избежание торможения за счет остатков атмосферы, что привело бы к сравнительно быстрой потере спутником начальной скорости с неизбежным приближением к Земле и сгоранием в результате трения в более плотных слоях атмосферы.

Эта орбита, при начальном направлении вдоль меридиана, должна непрерывно смещаться по долготе, так что только через достаточно большое число оборотов спутник снова окажется над районом его пуска. Из этого видно, что наиболее выгодные условия для передачи по радио на Землю накопленных сведений возникают только в определенные моменты, что также делает необходимым применение электронных автоматических устройств для передачи нужных сведений по радио.

Задачи, которые могут решаться с помощью аппаратуры, размещенной на искусственном спутнике Земли, далеко не исчерпываются указанными выше наблюдениями за излучениями и составом атмосферы. Американская печать предлагает разнообразные проекты использования спутника для точного определения расстояний на Земле, для определения среднего значения силы тяжести и

распределения этой величины по поверхности Земли, для фотографирования поверхности Земли с целью разведки, для определения коэффициента отражения света от Земли и т. п.

Многие из возможных задач имеют также существенное военное значение.

Наблюдение за движением спутника и точные расчеты его действительной орбиты также требуют применения разнообразных оптических и радиолокационных средств, а также электронной вычислительной техники. Сами эти наблюдения могут дать значительные научные результаты и ценные для дальнейшего развития техники сведения.

Чем более сложны задачи, решаемые с помощью аппаратуры, размещаемой на спутнике, тем большее значение имеет компактность и надежность действия его оборудования, достигаемые путем использования полупроводниковых приборов, печатных схем и сверхминиатюрных радиодеталей.

Серьезной проблемой является питание радиоэлектронных устройств, размещаемых на спутнике. Несмотря на возможность использования современных компактных аккумуляторов, наиболее удобным было бы использование термобатарей, преобразующих в электрическую энергию тепловую энергию солнечного излучения. Создание таких батарей и их практическое использование в настоящее время вполне возможны.

Очевидно, осталось совсем немного времени до появления в мировом пространстве малых искусственных планет, являющихся свидетельством огромных достижений современной ракетной техники и радиоэлектроники, свидетельством того, что человек все более полно овладевает силами природы.

---

*Печатается по постановлению Президиума Академии наук СССР*

Редактор издательства *Е. М. Клаус*

Технический редактор *Т. В. Полякова*

Сдано в набор 2/II 1956 г. Подп. в печать 14/II 1956 г. Формат бум. 84X1087 1/32.

Печ. л. 8,25=6,76. Уч.-изд. лист. 6,4. Тираж 25000. Т-01480. Изд. № 1708. Тип. зак. 192

*Цена 1 р. 90 к.*

Издательство Академии наук СССР. Москва, Б-64. Подсосенский пер., д. 21 I

2-я типография Издательства АН СССР. Москва, Г-99, Шубинский пер., д. 10 I