

НЕКОТОРЫЕ ПРИМЕНЕНИЯ ОТКРЫТЫХ ПРЕДЕЛЬНЫХ РЕЗОНАТОРОВ

В технике сверхвысоких частот в последние десятилетия изучаются и применяются так называемые открытые предельные резонаторы - ОПР. Основной особенностью их конфигурации, обусловившей название, является наличие отверстий в торцевых стенках*.

В отличие от обычных волноводных резонаторов, представляющих собой закороченные металлическими стенками отрезки волноводов прямоугольного, круглого и других форм поперечного сечения, резонансный объем ОПР ограничивается по длине критическими сечениями. Они могут быть созданы двумя способами: при помощи металлических перегородок, расположенных в местах максимумов электрических силовых линий, и путем уменьшения размеров (сужения) поперечного сечения волновода. Примеры конструкций ОПР обоих типов, выполненных на основе прямоугольных и круглых волноводов, показаны на рис.1.

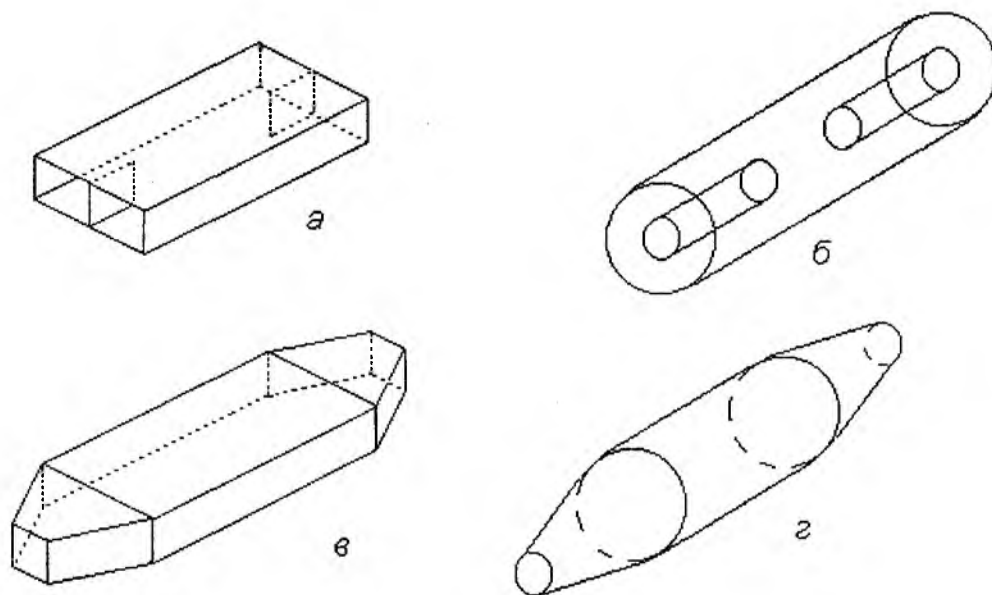


Рис.1

Первые исследования открытых предельных резонаторов были связаны с разработкой рефрактометрических устройств для измерения электрических параметров дымов, аэрозолей, для оценки состояния атмосферного воздуха за бортом летящего самолета. Сначала для этих целей использовались обычные цилиндрические или прямоугольные резонаторы с отверстиями в торцевых стенках (работы С.М. Crain [1 и др.], В. Birnbaum [2], А. Adey [3], М.С. Thomson and F.Е. Freethy [4]).

D.C. Thorn and A.W. Straiton [5], по нашим сведениям, первыми предложили конструкции открытых резонаторов с перегородками в открытых торцах (рис.1 а и б).

* В данной работе речь будет идти о резонаторах, созданных на основе волноводов. Вопросы, касающиеся открытых резонаторов, образованных зеркалами, работающих на колебаниях высших типов и применяемых в оптике и квантовой электронике, здесь не рассматриваются.

В ОПР поток газа легко проходит вдоль оси резонатора через торцевые отверстия. Авторы [5] вели исследования на частоте 9435 МГц, обычной для ранее применявшихся рефрактометров С.М. Crain. В работе имеется ряд полезных указаний для разработчиков ОПР. Так, предлагается делать перегородки из очень тонкого металла и достаточно длинные: длина запредельных участков, ограничивающих резонансный объем - более 50 мм, чтобы предотвратить излучение из открытых торцов резонатора и повысить его добротность. Рассчитанная ненагруженная добротность равна 3420 для ОПР прямоугольного и 2310 - для круглого сечения. Авторы рассматривали также вопросы температурной компенсации ОПР и предложили соответствующие меры. Для прохождения газового потока были созданы весьма хорошие условия: перегородки занимали всего 1,66% площади торцевого сечения.

Столь подробное изложение содержания работы [5] делается для того, чтобы показать, что даже на самой начальной стадии исследователи ОПР учли многие важные моменты и дали весьма полезные рекомендации. Тем не менее, поле для дальнейших исследований, разработок и применений ОПР оставалось достаточно большим.

Ознакомившись с работой [5], сотрудники кафедры физики СВЧ Харьковского государственного университета, которой тогда руководил автор настоящей статьи, решили продолжить теоретические и экспериментальные исследования ОПР и расширить практическое применение таких резонаторов. К этому времени в отечественной литературе появился ряд серьезных работ по волноводам с постепенно меняющимся вдоль длины сечением [6-10]; рассматривались и резонаторы, образованные критическими сечениями в отрезках таких волноводов [8,9]. И если в волноводных трактах наличие критических сечений нежелательно с точки зрения распространения волн, то в резонаторах (ОПР) именно критические сечения образуют резонансные объемы.

В результате исследований, начатых на кафедре физики СВЧ ХГУ, были разработаны приближенные методы расчета ОПР, оценен такой важный их параметр, как добротность [11,12].

Изучение ОПР велось в это время и в других вузах и НИИ страны, в частности - в Горьком, где А.В. Гапонов исследовал влияние степени регулярности на параметры ОПР. Он успешно применил такие резонаторы в разрабатывавшихся под его руководством лазерах циклотронного резонанса (МЦР) [13,14].

Интенсивное изучение свойств волноводов плавно и скачкообразно изменяющегося поперечного сечения, а также ОПР, созданных на их основе, началось в 60-х годах. Здесь можно указать наши работы [11,12,15], а также [16]. В этих исследованиях самое активное участие принимали аспиранты, работавшие над кандидатскими диссертациями.

Первые теоретические и экспериментальные работы сотрудников ХГУ, выполненные с участием студентов [11,12,15], были посвящены исследованию ОПР как колебательных контуров СВЧ-диапазона. В связи с этим изучалась и перестройка ОПР электронным пучком [15]. На начальной стадии рассматривались бесконечнодлинные запредельные сечения, т.е. идеализированные задачи. Однако вскоре выяснилось, что дисперсионные свойства волноводов вблизи критической частоты зависят от ряда факторов [16]. В частности, очень большое значение имеют длина запредельного участка и угол схождения сужающихся участков в бипирамидальных (рис.1в) и биконических (рис.1г) резонаторах. Справедливо заметить, что на эти вопросы обращалось внимание ряда других исследователей, начиная с [5]. Но в теоретических работах в связи с математическими трудностями исследовались, как правило, только случаи плавно, очень медленно меняющегося поперечного сечения: угол схождения образующих конуса и пирамиды считался чрезвычайно малым.

В работах по изучению ОПР, продолженных автором, его сотрудниками и аспирантами в 60-е - 80-е годы на кафедре физики сверхвысоких частот Харьковского института радиоэлектроники (ХИРЭ), велось детальное изучение свойств волноводов как плавно, так и скачкообразно изменяющегося сечения [17,18].

В эти же годы продолжались работы по ОНР и в ХГУ, где В.М. Дмитриев защитил кандидатскую диссертацию, посвященную волноводным резонаторам с переменным сечением, а группа исследователей под руководством В.М. Седых разработала и исследовала настраиваемые двух- и трехчастотные ОНР, пригодные для применения в качестве полосовых фильтров, а также в параметрических усилителях [19, 20].

Остановимся теперь подробнее на работах по ОНР, выполненных в ХИРЭ под руководством автора. Здесь главное внимание уделялось ОНР, но плавные волноводные переходы изучались и как соединяющие участки волноводных трактов, и при оптимизации конструкций рупорных антенн (кандидатские диссертации В.В. Должикова и И.И. Шумлянскогo). Что же касается ОНР, то они стали предметом кандидатских диссертаций аспирантов Д.П. Буртового и В.Л. Мироненко.

Первая из них была посвящена исследованию возможности применения ОНР для измерения параметров веществ. Рассматривая резонаторы с перегородками (рис. 1а и б), диссертант отметил, что последние могут деформироваться при изменении температуры. Кроме того, такие ОНР трудно (хотя и можно [22]) делать для колебаний высших видов со сложной структурой поля. Поэтому диссертант уделил основное внимание резонаторам без перегородок - пирамидальным и коническим (один конец которых открыт, а другой закрыт металлической перегородкой), а также бипирамидальным и биконическим (рис. 1в и г). Были получены формулы для расчета таких ОНР, произведено сравнение теоретических и экспериментальных данных, показано их хорошее совпадение.

В дальнейшем было установлено, что с целью уменьшения эффекта преобразования основного вида колебаний в паразитные целесообразно заменить прямолинейные образующие пирамид и конусов криволинейными,

В диссертации Д.П. Буртового были получены соотношения для определения параметров диэлектриков (в виде стержней) с помощью биконического ОНР, работающего на колебаниях вида Н011. Результаты сравнивались с экспериментальными для твердых, жидких и газообразных диэлектриков (в тонкостенных кварцевых трубках). Исследовались и параметры плазмы газового разряда в неоне. Правильность расчетов подтверждена экспериментально. Наконец, доказано серьезное преимущество ОНР в сравнении с датчиками на закрытых и открытых волноводных резонаторах.

В диссертационной работе В.Л. Мироненко рассматривались волноводно-резонаторные системы для исследования свойств и обработки энергией СВЧ диэлектрических материалов. Ставилась задача - использовать открытые предельные резонаторы в качестве нагревательных камер, в которых можно осуществлять воздействие СВЧ на движущиеся объекты. В связи с тем, что при обработке диэлектрических материалов необходимо учитывать зависимость диэлектрических свойств от температуры, а также от частоты, проводились соответствующие исследования. Они позволили выбирать оптимальные частоты для нагрева различных диэлектриков. Особый интерес эти вопросы представляют при размораживании (дефростации) различных объектов, так как при этом их свойства очень сильно и резко меняются ([23], а также [24]).

Диссертации, о которых шла речь выше, заложили твердую основу для дальнейших исследований ОНР, их применений и внедрения полученных результатов.

В 1971 г. в ХИРЭ была создана и затем демонстрировалась на Выставке передового опыта в народном хозяйстве УССР в Киеве установка для измерения диэлектрических параметров веществ на СВЧ. В ней в качестве датчиков использовались ОНР. В 3-см диапазоне волн диэлектрическая проницаемость образцов в пределах $\epsilon = 1 \div 10$ измерялась с точностью $\pm 2\%$, а диэлектрические потери $\operatorname{tg}\delta = 10^{-3} \div 1,0$ - с точностью $\pm 5\%$.

Практическое применение ОНР продолжалось. По заказу Харьковского Углекимического института (УХИН) и в сотрудничестве с некоторыми его сотрудниками была выполнена хозяйственная работа по исследованию возможности получения нафталина из нафталиновой

фракции [25]. Построена лабораторная установка для проверки способа, и так как она показала хорошие результаты, обусловленные применением ОПР, ее следует считать внедрением работы и основанием для построения более крупногабаритных и высокопроизводительных установок промышленного типа.

Еще одна разработка - исследование возможностей применения энергии СВЧ для сверхускоренного твердения бетона и других материалов на основе минеральных вяжущих веществ [26]. По результатам этой работы было предложено устройство для подогрева бетонной смеси, в котором использовался ОПР [27]. Сразу же выяснились и определенные недостатки этого устройства: во-первых, для изготовления бетонных изделий реальных (крупногабаритных) размеров следует использовать ОПР соответствующей величины, а следовательно, перейти к дециметровым волнам, которые для нагрева менее эффективны; во-вторых, в строительстве, как правило, используются бетонные изделия, упрочненные стальной арматурой (железобетон), а использование нагревательной камеры типа ОПР в таком случае невозможно - из-за отражения волны генератор СВЧ выйдет из строя.

Обратим внимание еще на одно обстоятельство. Практически во всех применениях ОПР нужно либо делать резонатор точно на некоторую определенную частоту, либо подстраивать (перестраивать) его. В принципе это возможно осуществлять различными способами, например, с помощью феррита или сегнетоэлектрика, помещенного в резонансную полость. Но такое заполнение резонатора (даже частичное) приводит к снижению его добротности, что нежелательно. В связи со сказанным, большой интерес для практических целей представляет перестройка частоты открытых предельных резонаторов, которой уделялось значительное внимание и нами, и другими разработчиками и исследователями ОПР.

Известна перестройка ОПР со средней цилиндрической частью путем введения в запердельные участки двух металлических стержней, на концах которых находятся диски несколько большего диаметра, чем стержни. При приближении к критическим сечениям ОПР перестраивающие элементы влияют на поле в резонаторе. Было достигнуто изменение частоты на 50-60 МГц при незначительном изменении добротности ОПР [28].

Развитие идеи этого прототипа было осуществлено в нашей работе, результатом которой явился патент [29]. Биконический резонатор перестраивался перемещением цилиндрического металлического стержня на конце одного из участков запердельных волноводов. Диаметр стержня - порядка 0,2 диаметра цилиндрического запердельного участка, длина превышает длину этого участка, и перестраивающий стержень может продвигаться до критического сечения ОПР и далее. Это позволяет расширить диапазон перестройки до 400 МГц, т.е. в 7-8 раз по сравнению с прототипом. Были реализованы два варианта устройства, в котором максимальный диаметр ОПР равнялся 40 мм, угол конусности - 30°, а диаметр запердельных участков - 20 мм, длина - 40 мм. В первом варианте перестраивающий стержень имел диаметр 5 мм, во втором - 7,5 мм. Второй вариант дал почти втрое большую перестройку (в указанных выше пределах).

Недостаток устройств с механическим перемещением стержней - медленность перестройки.

Вариант быстрой перестройки ОПР [30] основан на подключении к биконическому ОПР запердельных участков прямоугольного сечения. В них расположены четыре варакторных диода, соединенных с питающей схемой. В местах расположения диодов участки волновода имеют H-образное сечение, плавно согласованы с прямоугольным. Перестройка производится изменением напряжения, подаваемого от источника питания на все варакторные диоды. Увеличение напряжения приводит к возрастанию емкостей варакторных диодов и уменьшению частоты перестраиваемого ОПР.

Нами была предложена быстрая перестройка ОПР изменяющимся магнитным полем, влияющим на полоски из магнитного материала (никеля), нанесенные в области критических сечений [31]. Изменение проводимости этих полосок сдвигает критические сечения, изменяет резонансный объем, а следовательно и частоту ОПР. Была экспериментально исследована

перестройка трех конструктивных вариантов ОНР [32]. В резонаторе типа рис.1а получена перестройка 15 МГц на частоте 9674 МГц. В пирамидальном предельном резонаторе (один торец открыт, другой - основание корпуса - закрыт металлической сеткой) на частоте 9176 МГц перестройка составила 30 МГц. В цилиндрическом ОНР (типа рис.1б) на частоте 10428 МГц перестройка составила 12 МГц. При перестройке в указанных пределах нагруженная добротность всех резонаторов менялась незначительно.

Очень быстрая перестройка ОНР возможна с помощью электронного пучка, пропускаемого через критическое сечение. Такие эксперименты были проведены нами еще в самом начале исследований ОНР [15]. Пирамидальный (трапециoidalный резонатор на базе прямоугольного волновода), имевший сужение в плоскости Н с 26,0 до 12,0 мм и длину 86,0 мм, содержал установленный в критическом сечении тонкий вольфрамовый катод, параллельный широким стенкам резонатора. Анодом служила внутренняя поверхность ОНР. Была получена перестройка частоты 8450 МГц на 2% по линейному закону при увеличении тока от 0 до 570 мА.

Изучая применение ОНР для исследования параметров плазмы газового разряда, частично заполнявшей объем резонатора, мы пришли к выводу, что на этой основе можно осуществлять перестройку ОНР. Эксперимент [33] был осуществлен путем введения вдоль оси биконического ОНР стеклянной трубки, заполненной неонам (лампы генератора шумов ГШ-2). В резонаторе частота колебаний вида Н011, равная 7880 МГц, перестраивалась при изменении тока разряда от 50 до 200 мА всего на 7 МГц. Столь малое изменение частоты объясняется малым диаметром плазменного столба, заполнявшего примерно 1,5% объема резонатора. Значительно лучшие результаты были получены при использовании бактерицидной лампы БУВ-15, представлявшей собой кварцевую трубку, заполненную смесью аргона и паров ртути. Здесь изменения тока разряда от 0,1 до 1,0 А привело к увеличению частоты на 420 МГц (5%). Введение в ОНР стеклянной газоразрядной трубки уменьшает добротность резонатора (в нашем случае - с 2600 до 1700), а при перестройке частоты добротность падает еще значительно - примерно до 200.

В дальнейшем мы исследовали такой вопрос, как влияние нерегулярности образующих ОНР. С этой целью изучались ОНР с различными углами наклона прямолинейных образующих, а также с криволинейными образующими конусов [34]. Изменение вдоль длины по квадратичному, гиперболическому и экспоненциальному законам дало уменьшение перестройки. Эксперимент с квадратичной образующей подтвердил это. Однако вопрос относительно формы образующих конусов (пирамид) ОНР нуждается в дополнительных исследованиях.

Исследование влияния криволинейности образующих конусов на концах ОНР было продолжено [35]. Проведено теоретическое и экспериментальное исследование цилиндрического резонатора, концы которого были закрыты полусферами, в которых находились критические сечения ОНР. Получено увеличение добротности резонатора (примерно на 15%) - этого и следовало ожидать, так как резонатор сферической формы, имеет максимальную добротность. Однако снова остался недоисследованным вопрос о влиянии кривизны образующих на запредельных участках, тем более что они были закрыты полусферами, хотя резонатор при этом оставался открытым предельным.

Завершая рассмотрение вопроса о конструкциях и применениях открытых предельных резонаторов, коротко остановимся на одном из интересных направлений их развития - кольцевых открытых предельных резонаторах (КОНР). Такие резонаторы можно представить как тела вращения, образованные поворотом сечения ОНР вокруг оси, не проходящей через это сечение. Пример такой конструкции изображен на рис.2. Ее можно рассматривать как комбинацию двух пар усеченных конусов (наружной и внутренней), соединенных основаниями.

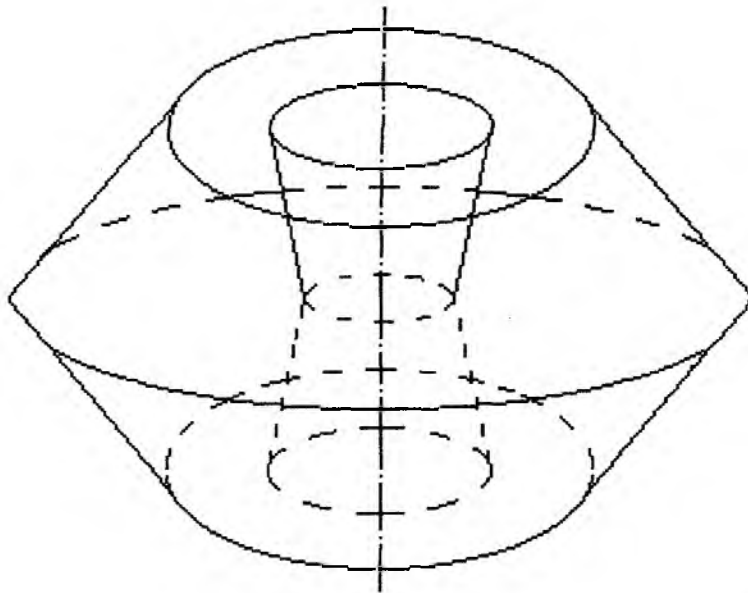


Рис. 2

Кольцевые открытые предельные резонаторы могут использоваться для тех же целей, что и обычные ОНР: для измерения параметров твердых, жидких и газообразных диэлектриков, в частности - в виде диэлектрических труб; для нагрева, полимеризации и других видов термообработки труб из различных материалов.

Одно из перспективных направлений использования КОПР типа показанного на рис.2 - создание электровакуумных приборов с трубчатыми электронными пучками. Это могут быть пролетные клистроны (двух- и многорезонаторные), а также отражательные клистроны обычной и радиальной конструкции. В последнем случае резонатор будет в виде тела вращения, образованного поворотом сечения биконического резонатора в плоскости вокруг некоторого центра (точки). Такие клистроны могут быть двух типов: кольцевой катод и внутренний стержень - отражатель или обращенные (центральный катод и кольцевой отражатель).

Рассмотрено, рассчитано и испытано применение КОПР конструкции, показанной на рис.2, в качестве резонаторного волномера.

Изучение КОПР продолжается, их возможности далеко не исчерпаны. Если ранее мы использовали в радиальном клистроне резонатор из замкнутого в кольцо волновода Н-образного поперечного сечения, то сейчас можно утверждать, что по параметрам КОПР предпочтительнее. Можно также предложить использование КОПР в качестве резонатора бегущей волны (РБВ). Их параметры тоже должны получаться лучшими, чем у РБВ, выполненных на обычных, в частности - прямоугольных волноводах.

На основании всего изложенного можно сделать общий вывод: открытые предельные резонаторы представляют широкие возможности для использования их в качестве

- колебательных систем, резонансная частота которых может перестраиваться посредством изменения параметров части заполняющей их среды (электронным пучком, плазмой газового разряда, диэлектриком, ферритом), а также изменением внешнего магнитного поля, воздействующего на магнитные (никелевые) кольцевые полоски, расположенные в области критических сечений;
- элементов СВЧ-трактов со специфическими дисперсионными свойствами (фильтров, многочастотных резонаторов и пр.);
- элементов электровакуумных приборов - СВЧ-резонаторных и замедляющих систем, работающих с цилиндрическими и трубчатыми электронными потоками;
- датчиков устройств для измерения параметров неподвижных и особенно - движущихся твердых, жидких и газообразных сред:

- элементов устройств, в которых происходит воздействие электромагнитного поля СВЧ на различные объекты с целью их нагрева, сушки, термообработки, полимеризации, стерилизации и т.д.;

- элементов устройств, обеспечивающих взаимодействие СВЧ-поля с пучком частиц (электронов, ионов, молекул) и осуществление модуляции пучка электромагнитным полем или возбуждение колебаний в ОПР модулированным пучком.

Весьма ценно то, что ходом любого из перечисленных процессов можно управлять. Это исключительно важно для всех применений, в том числе и с автоматизацией контроля и ведения технологических процессов по определенной программе.

Нет сомнения, что в дальнейшем круг применений ОПР будет расширяться и пополняться новыми областями. Так, нами создается устройство для осуществления и исследования совместного воздействия излучения различных участков спектра электромагнитных волн на разнообразные, в том числе биологические объекты. Первые результаты работ в данном направлении предполагается опубликовать в недалеком будущем.

Список литературы: 1. *Crain C.M., Boggs G.E., Thorn D.C.* Refractive index measurements of smokes and aerosols // IRE Trans. of Instrumentation. 1957. V. 1-6. P.251. 2. *Birnbaum G.* A recording microwave reflectometer // Rev.Sci. Instr. 1950. V. 24. P. 456. 3. *Adey A.* Microwave reflectometer cavity design // Rev. Sci. Instr. 1950. V. 24. P. 519. 4. *Thomson M.C. and Freethy F.E.* Effects of end-plate modification on Q-and X-band cylindrical TE₀₀₁ resonant cavities. Nath. Bur. of Standarts, Ref. № 5049. Boulder, Colo. 5. *Thorn D.C. and Straiton A.W.* Construction of microwave cavities with open ends. IRE Trans. 1954.v. MTT-7. №3. P. 389. 6. *Гутман А.Л.* К расчету волноводов с постепенно изменяющимся сечением // Радиотехника. 1957. № 5. С.13. 7. *Покровский В.Л., Улинич Ф.Р., Саввиных С.К.* Локальное отражение в волноводах переменного сечения // ДАН СССР. 1958. № 3.С. 120. 8. *Гутман А.Л.* Применение асимптотического интегрирования волнового уравнения к решению некоторых волноводных и резонаторных задач // ДАН СССР. 1959. № 6. С.125. 9. *Гутман А.Л.* Резонансные области в волноводах с плавным изменением сечения // Радиотехника и электроника. 1959. № 12. С. 4. 10. *Каценеленбаум Б.З.* Теория нерегулярности волноводов с медленно меняющимися параметрами. М.: Изд-во. АН СССР. 1961. 254с. 11. *Дмитриев В.М., Зоркин А.Ф., Ляпунов Н.В., Седых В.М.* Приближенный метод расчета собственных частот нерегулярных предельных резонаторов //ЖТФ. 1961. Т.31, № 6. С.712. 12. *Терещенко А.И., Ляпунов Н.В., Дмитриев В.М.* К расчету собственных частот нерегулярных предельных резонаторов //Уч. зап. ХГУ. Т. 132. Тр. радиофизич. ф-та. 1962. т. 7. С. 71. 13. *Гапонов А.В.* Взаимодействие непрямолинейных электронных потоков с электромагнитными волнами в линиях передач // Радиофизика. 1959. Т.2. №3. С.450 (Изв.высш. учеб. заведений) 14. *Гапонов А.В.* Релятивистское дисперсионное уравнение для волноводной системы с винтовыми тороидальными электронными потоками // Радиофизика. 1961. Т. 4, № 3. С. 547. (Изв. высш. учеб. заведений) 15. *Дмитриев В.М., Ляпунов Н.В., Терещенко А.И., Чабань А.Я.* Экспериментальное исследование электронной перестройки частоты нерегулярного предельного резонатора // Уч. зап. ХГУ. Т. 132. Тр. радиофиз. ф-та. 1962. Т. 7. С. 75. 16. *Терещенко А.И.* Влияние различных факторов на дисперсионные свойства волноводов вблизи критической частоты // Уч. зап. ХГУ. Т. 132. Тр. радиофиз. ф-та. 1962. Т. 7. С. 90. 17. *Терещенко А.И., Шейн А.Г.* Скачкообразное сочленение прямоугольных волноводов в Н-плоскости Радиотехника. 1963. Т. 6. № 5. С. 476. (Изв. высш. учеб. заведений). 18. *Ляпунов Н.В., Терещенко А.И., Шейн А.Г.* Расчет неоднородностей в волноводах при помощи леммы Лоренца // Радиотехника. 1965.Т. 8. № 1. С. 11. (Изв. высш. учеб. заведений). 19. *Дмитриев В.М., Седых В.М., Денисов Д.С.* Некоторые типы волноводных резонаторов с переменным поперечным сечением // Тр. 2-й межвуз. конф. педагогич. ин-тов по радиофизике и спектроскопии. М., 1966. С. 172. 20. *Дмитриев В.М., Ляпунов Н.В., Седых В.М.* Трехчастотный резонатор с переменным П-образным поперечным сечением // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 1966. Вып. 3. С. 172. 21. А.с. 168354 СССР МКИ Н01Р 7/01. Двух-частотный объемный резонатор /*Седых В.М.* Оpubл. 13.11.65. Бюл. № 4. 22. А.с. 388328 СССР МКИ Н01Р 7/06. Нагревательная камера / *В. Л.Мироненко.* Оpubл. 22.06.73. Бюл. № 23. 23. *Хиппель А.Р.* Диэлектрики и их применения. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1959. 336 с. 24. *Пучков В.В., Кисловский Л.Д.* Теплофизические характеристики воды // Структура и роль воды в живом организме. Л.: 1970. № 3. С. 45. 25. Исследование возможности применения энергии СВЧ в технологических процессах переработки основных химических продуктов коксохимического производства: Отчет о НИР / *Терещенко А.И., Мироненко В.Л. и др.Рук. А.И. Терещенко/* Харьковский ин-т радиоэлектроники (ХИРЭ); № ГР 72046775. Х.: ХИРЭ. 1973. 76с. 26.. Исследование возможности применения энергии СВЧ для сверхускоренного твердения бетонов и других материалов на основе минеральных вяжущих веществ: Отчет о НИР / *Терещенко А.И., Мироненко В.Л. и др.Рук. А.И. Терещенко/* Харьковский ин-т радиоэлектроники (ХИРЭ); № ГР 73022059; Х. ХИРЭ. 1973. 175 с. 27. А.с. 400557 СССР МКИ С 046 41/30. Устройство для подогрева бетонной смеси /*Терещенко А.И., Белая Б.Л., Мироненко В.Л. и др.* Оpubл. 01.10.73. Бюл. № 40. 28. А.с. 598162 СССР МКИ Н01Р 7/00. Перестраиваемый предельный резонатор. /*Зелинский Ю.Г., Попов В.Р.* Оpubл. 15.03.78. Бюл. № 10. 29. Пат. 2022423 Россия МКИ

Н01Р 7/06 Перестраиваемый резонатор / Кулаков О.В., Терещенко А.И. Оpubл. 30.10.94. Бюл. № 20. 30. А.с. 598162 СССР МКИ Н01Р 7/06. Перестраиваемый предельный резонатор / Коробов О.Н. Оpubл. 15.03.86. Бюл. № 10. 31. А.с. 405151 СССР. МКИ Н01Р 7/00. Перестраиваемый резонатор / Буртовой Д.П., Терещенко А.И. Оpubл. 22.10.73. Бюл. № 44. 32. Буртовой Д.П., Терещенко А.И. Магнитная перестройка открытых предельных резонаторов // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 1974. Вып. 30.С. 155. 33. Терещенко А.И. Перестройка открытых предельных резонаторов плазмой газового разряда // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 1988. Вып. 87. С. 127. 34. Терещенко, А.И., Кулаков О.В. Распространение волн в неоднородных волноводах, содержащих критические сечения // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 1993. Вып. 98. С. 87. 35. Терещенко А.И., Кулаков О.В. Увеличение добротности нерегулярных предельных резонаторов // Радиотехника. 1991. № 10. С. 62. (Изв. высш. учеб. заведений).

*Харьковский национальный
университет радиоэлектроники*

Поступила в редколлегию 13.02.2002