

радиоприёмников — внеполосных каналов и каналов побочного приёма), усложнения функций РЭС и режима их работы (частые включения и выключения, перестройка по частоте, перемещения в пространстве и т. п.) и многих других факторов.

Меры по обеспечению ЭМС подразделяются на организационные и технические. К организационным относятся: применение пространственного разделения (разноса) РЭС — одновременного использования одних и тех же частотных диапазонов в различных зонах земного шара, если это не грозит взаимными радиопомехами; временного разноса — поочерёдной работы РЭС на одной несущей частоте по определённой программе во времени: частотного разноса — одновременной работы на различных несущих частотах и др. К техническим относятся: создание радиопередающих и электротехнических устройств, более совершенных с точки зрения уменьшения мешающих излучений; разработка радиоприёмных устройств, обладающих меньшей чувствительностью к таким излучениям, и др.

В СССР обеспечение ЭМС возложено на Государственную комиссию по радиочастотам СССР (ГКРЧ СССР; создана в 1958; до 1972 называлась Межведомственной комиссией по радиочастотам). Эта комиссия, осуществляя единую техническую политику в вопросах, связанных с рациональным распределением и использованием радиочастотного спектра, занимается нормированием параметров радиоизлучений и приёма РЭС и другими аспектами ЭМС. Среди норм, утвержденных ГКРЧ СССР, — общесоюзные нормы на ширину полосы радиочастот и внеполосные спектры излучений радиопередающих устройств, на допустимые отклонения частоты радиопередатчиков и уровни их побочных излучений, на допустимый уровень промышленных радиопомех и т. д. Эти нормы являются обязательными для всех министерств и ведомств, разрабатывающих, изготавливающих, закупающих в других странах и эксплуатирующих РЭС всех назначений, а также электротехнические устройства, создающие промышленные радиопомехи. Разработку рекомендаций, направленных на обеспечение ЭМС, осуществляет Международный союз электросвязи.

## **ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА**

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Левчук В.Н., Полешук А.С., Кириченко А.А.*

*Забавский И.Л.*

В последнее время прогрессивно развиваются радиотехнические устройства. Ярким примером этому является электронно-оптическая система, которая представляет собой геометрическую модель устройства автоматически разделяется на большое количество тетраэдров, имеющих 6 граней и 4 плоскости, сформированные четырьмя равносторонними треугольниками.

Ключевые слова: интуитивный интерфейс, трехмерная магнитная структура.

Программа позволяет рассчитывать параметры трехмерной магнитной структуры произвольной формы, имеет интуитивный интерфейс, упрощающий описание проекта, мощную программу расчета электромагнитного поля, приспособляемую к требуемой точности решения, и мощный постпроцессор для представления результатов. Начальное разбиение на ячейки сразу предоставит информацию о решении поля, выделяя области с высокой напряженностью поля или с большими градиентами. Разбиение на ячейки затем уплотняется только там, где необходимо, уменьшая вычислительные затраты при максимизации точности. Если необходимо, пользователи могут ввести адаптивное решение, используя интерфейс программы.

Метод моделирования, используемый для вычисления полного трехмерного электромагнитного поля внутри структуры, основан на методе конечных элементов. В общем случае метод конечных элементов делит всё пространство на тысячи малых областей и представляет поле в каждой подобласти в виде локальной функции. Геометрическая модель анализируемого устройства автоматически разделяется на большое количество тетраэдров, имеющих 6 граней и 4 плоскости, сформированные четырьмя равносторонними треугольниками. Это тетраэдр называется конечным элементом. В каждой вершине запоминаются компоненты поля, касательные к трем граням четырехгранника. Кроме того, может также быть сохранена компонента векторного поля в средней точке выбранных граней, касательная к поверхности и перпендикулярная ребру

Имеется компромисс между размером ячейки, желательным уровнем точности и имеющимися в наличии вычислительными ресурсами. С одной стороны, точность решения зависит от того, насколько мала величина каждого из отдельных элементов - решения, основанные на ячейках, которые используют большое количество элементов, более точны. С другой стороны, генерирование решение поля с большим количеством элементов требует существенную вычислительную мощь и память.

Чтобы получить оптимальную ячейку, в программе используется итеративный процесс, в котором ячейка автоматически учащается в критических областях. Сначала генерируется решение, основанное на грубом начальном разбиении на ячейки. Затем учащаются ячейки, основываясь на соответствующих критериях погрешности, и генерируются новые решения. Когда выбранные параметры сходятся в пределах желаемого интервала, итеративный процесс заканчивается.

Величина магнитного поля в материале экранов не должна быть больше 1 Тл во избежание магнитного насыщения. Особенно серьёзна эта проблема в многоствольных клистронах и в многолучевых клистронах с расположением лучей по кольцу.

Вследствие неидеальности свойств магнитного материала окончательно положение магнитных элементов зачастую приходится подбирать или приходится добавлять кусочки материала, то есть юстировать магнитную систему.

Магнитная фокусирующая система в приборе выглядит следующим образом:

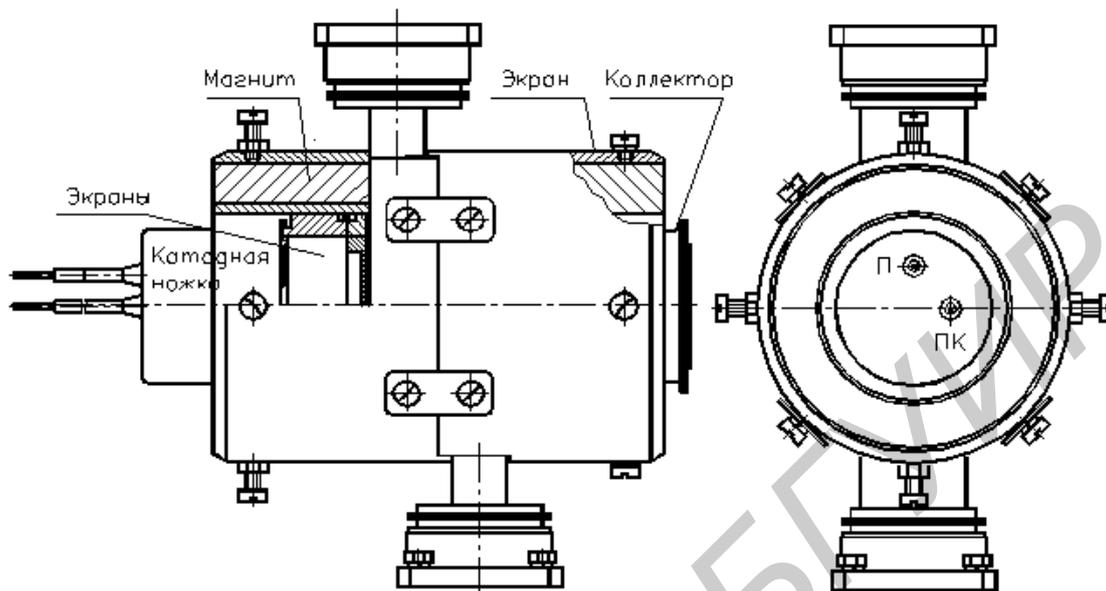


Рис.1 Магнитная система клистронного усилителя

## ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Маркевич А.А., Шкляник Р.И., Пучков А.А., Муравьев И.А.*

*Романович А.Г.*

Направление радиоэлектроники, призванное обеспечить одновременную и совместную работу различного радиотехнического, электронного и электротехнического оборудования - называется электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств (ЭМС РЭС).

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, радиоэлектронные средства, радиопомехи.

Причины, вызывающие обострение проблемы ЭМС:

- возрастает общее число одновременно действующих РТУ, в особенности устанавливаемых на подвижных объектах;
- повышается мощность радиопередатчиков, достигая для некоторых типов радиосредств десятков мегаватт;
- расширяются полосы частот, используемые многими современными радиосредствами;
- повышается нагрузка диапазона радиочастот, притом, что многие участки уже сейчас сильно перегружены;
- шире внедряются электронные средства автоматического управления, контроля, диагностики на основе аналоговой и цифровой техники;
- увеличивается оснащённость подвижных объектов средствами радиоэлектроники, при повышении плотности компоновки аппаратуры;
- ухудшаются условия функционирования РЭС летательных аппаратов, так как они оказываются в зоне прямой видимости увеличивающегося числа наземных РЭС, расположенных на значительной территории.

Тенденции решения проблемы ЭМС:

Ранее:

- совершенствование отдельных схем и конструктивных решений;
- планирование распределения радиочастот.

Сейчас:

- системный характер;
- учет ЭМС на всех стадиях жизненного цикла: разработка – изготовление - эксплуатация.

Инженер должен знать: