

УДК 621.311:627.61

П.Ф. Буданов, А.М. Сотников, А.М. Чернюк, А.Б. Егоров

Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков

ЗАЩИТА ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ СИСТЕМ КОМПЛЕКСНОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ ПОДЪЁМНО-ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН ОТ МЕШАЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ РАДИОИЗОТОПНО-ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПОКРЫТИЙ И МАТЕРИАЛОВ

Проведен анализ условий работы систем комплексной автоматизации подъёмно-транспортных машин и механизмов. Определены основные средства обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) компонентов автоматизированного электропривода подъёмно-транспортных машин. Предложен метод обеспечения электромагнитной совместимости электронных компонентов систем комплексной автоматизации в условиях ограничения массогабаритных размеров путём применения радиопоглощающих покрытий и материалов (РППиМ). Приведена классификация РПП, основными типами из которых являются: плоскостойкие (интерференционные), градиентные, геометрически неоднородные и композитные. Рассмотрены принципы работы РППиМ. Проведен анализ и обоснованы требования к характеристикам РППиМ. Показано, что такой подход позволяет выявить основные направления создания эффективных средств обеспечения электромагнитной совместимости и защиты от энергетических воздействий электронных компонентов систем комплексной автоматизации. Показана возможность применения радиоизотопно-полупроводниковой технологии для создания средств обеспечения электромагнитной совместимости и защиты от энергетических воздействий электронных компонентов систем комплексной автоматизации ПТМ.

Ключевые слова: системы автоматизации, подъёмно-транспортные механизмы, электромагнитная совместимость, радиопоглощающие материалы и покрытия, коэффициента отражения электромагнитного излучения, энергия электромагнитной волны.

Введение

Постановка проблемы и анализ литературы. Эффективное производство непосредственно связано с применением подъёмно-транспортных машин (ПТМ) и механизмов различных типов, которые обеспечивают надёжность и ритмичность технологических процессов [1 – 3]. Функции и задачи, возложенные на ПТМ, обуславливают большое разнообразие их приводов и систем управления этими приводами. Современные подъёмно-транспортные, строительные и дорожные машины – это весьма сложные инженерные устройства, оборудованные системами гидравлики, электроники, оснащённые системами управления и бортовыми компьютерными системами. Применение высокотехнологичных элементов автоматизированных систем управления (АСУ) позволяет во многом оптимизировать работу ПТМ и согласовать их работу с другими подсистемами. В тоже время элементная база АСУ ПТМ под влиянием работы энергетических установок зачастую выходит из строя [4].

Известно, что интенсивность потока отказов полупроводниковых элементов в системах автоматизации ПТМ одна из самых высоких λ до $0,6 \cdot 10^{-6}$ 1/ч (для сравнения микропереключатели имеют λ до $0,25 \cdot 10^{-6}$ 1/ч, прерыватели и выключатели до $0,15 - 0,5 \cdot 10^{-6}$ 1/ч, а кнопки управления вообще $0,03-0,06 \cdot 10^{-6}$ 1/ч) [5].

Основное негативное воздействие на элементную базу АСУ оказывают электромагнитные воздействия других узлов промышленных установок. Иначе говоря, индустриальные помехи [6, 7]. Уро-

вень данных воздействий достаточно высок (амплитуда напряжения может достигать до 4 кВ, а тока до 2кА и выше). Время нарастания импульса воздействия порядка 1...2 мкс, длительность 20...50 мкс, т.е. частота импульсов может достигать 100 кГц. Также мешающее воздействие может, оказывает дуга, возникающая при пробое межконтактного промежутка. С момента пробоя и до окончательного ее гашения процесс самозатухания повторяется несколько сотен и даже тысяч раз, кроме того, источником мешающих энергетических воздействий также являются силовые преобразователи.

В настоящее время ЭМС узлов ПТМ осуществляется за счет экранирования и выравнивания потенциалов путём заземления на корпус, применение фильтров и разнесение в пространстве и во времени [8]. ПТМ зачастую работают в условиях пространственного ограничения достаточное разнесение в пространстве не всегда возможно, применение фильтров усложняет конструкцию (т.е. приводит к значительному снижению надёжности отдельных узлов и системы в целом), а применение экранирования и выравнивания потенциалов зачастую создаёт дополнительный путь передачи мешающих воздействий (гальваническую связь) [8].

Кроме того, процесс функционирования ПТМ может быть нарушен под воздействием мощных электромагнитных излучений, обусловленных работой других энергетических средств и изменением естественной электромагнитной обстановки [6], что предопределяет необходимость поиска эффектив-

ных путей защиты ПТМ с целью поддержания работоспособного состояния последних.

Таким образом, в настоящее время появилась необходимость в обосновании и поиске путей защиты ПТМ от внешних энергетических воздействий, так и обеспечения электромагнитной совместимости между отдельными узлами ПТМ (внутренние энергетические воздействия) в условиях ограничения на массогабаритные характеристики средств защиты и обеспечения электромагнитной совместимости.

Одним из возможных направлений обеспечения работоспособности АСУ ПТМ в условиях внешних и внутренних энергетических воздействий является применение РППиМ.

Целью статьи является обоснование подхода к защите электронных компонентов систем комплексной автоматизации ПТМ и обеспечения их ЭМС на основе применения РППиМ.

Основной материал

1. Анализ общих требований и характеристик известных радиопоглощающих покрытий и материалов

Известно, что назначение радиопоглощающих покрытий и материалов состоит в снижении уровня внешних мешающих воздействий на объект защиты в любых условиях его применения, зачастую при ограничениях на массогабаритные характеристики. В общем случае защитные РППиМ предназначены для решения следующих основных задач: обеспечение требуемых отражающих свойств объектов защиты; осуществление рассеяния падающего на объект электромагнитного излучения (ЭМИ) определенного направления.

РППиМ, предназначенные для защиты объектов от ЭМИ, обладают рядом особенностей, которые необходимо учитывать при их разработке:

- покрытия являются частью объекта защиты;
- задача защиты решается в условиях отсутствия точных данных о параметрах излучений и характеристиках соответствующих средств излучений, а также о направлении и углах прихода ЭМИ;
- условия применения РППиМ могут иметь жесткий и быстроменяющийся характер.

При использовании РППиМ, в частности, на подъёмно-транспортных машинах и механизмах, к ним предъявляются все требования, характерные для ПТМ: устойчивость к вибрациям и перегрузкам, возможность функционирования в широком диапазоне изменения температур и т.д. К ограничениям, накладываемым на РППиМ, обусловленным применением на ПТМ, относятся ограничения на массогабаритные характеристики.

Определим эти требования в сочетании с ограничениями на массогабаритные характеристики покрытия как приоритетные.

Для определения возможности полноты учета отмеченных выше особенностей задач, решаемых с

помощью РППиМ, вначале рассмотрим принципы их работы а затем проанализируем достижимые характеристики и физические механизмы, используемые для уменьшения отражения электромагнитного излучения. Такой подход позволит выявить основные направления создания эффективных средств защиты и обеспечения ЭМС ПТМ.

Работа РППиМ основывается на преобразовании энергии электромагнитной волны (ЭМВ), падающей на защищаемый объект в различные виды электромеханической работы либо энергии в самом поглощающем материале из-за диэлектрических и магнитных потерь и, следовательно, ослаблении поля падающей волны. При взаимодействии ЭМВ с поглощающими материалами, кроме процесса поглощения, имеют место процессы интерференции и рассеяния.

Известны следующие основные типы РПП: плоскостойкие (интерференционные), градиентные, геометрически неоднородные и композитные [9 – 12]. К первым относятся покрытия, в которых снижение эффективная поверхность рассеяния (ЭПР) защищаемого объекта достигается за счет взаимного ослабления волн, отраженных от поверхности объекта и поверхности покрытия. Падающая волна многократно отражается от границы раздела двух сред «покрытие – объект» и частично поглощается в веществе покрытия. Если покрытие идеальное, то суммарное поле в направлении на источник падающей волны равно нулю, т.е.

$$E_{i\delta\delta} = \sum_{i=1}^U E_i = 0,$$

где E_i – составляющая отраженной волны от границы раздела «свободное пространство–покрытие». Примером таких покрытий служит четвертьволновый поглотитель ЭМВ [13]. К недостаткам таких покрытий относятся их узкополосность и сильная зависимость коэффициента отражения от угла падения [13].

Расширение рабочей полосы может быть достигнуто в результате использования многослойных конструкций с постепенным изменением характеристик слоев. Если число слоев многослойного ступенчатого РПП неограниченно увеличивать (на практике до 10), то такая плоскостойкая структура в пределе перейдет в покрытие градиентного типа [14]. Покрытия градиентного типа обладают малоотражающими свойствами в широкой полосе частот. Однако они являются громоздкими и наиболее сложными с точки зрения практической реализации, что является их недостатками. Геометрически неоднородные радиопоглощающие материалы могут иметь различную форму: пилообразную (клиновидную), конусообразную, пирамидальную и т.п. В градиентных материалах согласование со свободным пространством осуществляется за счет постепенного изменения свойств поглощающей среды на основе использования совокупности слоев с постоянными параметрами, реализующими на практике требуемый закон изменения комплексного коэффициента

преломления. К достоинствам покрытий такого типа можно отнести широкую рабочую полосу при малом коэффициенте отражения. К недостаткам – их размеры, которые значительно превышают размеры плоскостных РППиМ.

Существующие РПП по механизму поглощения можно разделить на два класса:

- диэлектрические материалы с невысоким значением диэлектрической постоянной и высоким уровнем поглощения электромагнитной энергии за счет электрической проводимости;

- ферромагнитные материалы, обеспечивающие поглощение ЭМВ за счет потерь на перемагничивание.

Наиболее эффективными являются ферромагнитные материалы, обладающие магнитными потерями. Вместе с тем необходимо отметить, что, несмотря на крупные достижения в области создания специальных поглощающих материалов на основе феррита, соединений керамики и феррита, все таки не удается изготовить эффективный поглотитель энергии ЭМВ в достаточно широком диапазоне волн при различных углах их падения. Так, приведенные в [14] зависимости отражающей способности R материалов NZ-31, NZ-41 NZ-51 (Eccosorb) от частоты показывают, что отражающая способность этих покрытий, имеющих толщину 5...8 мм, на уровне 20 дБ (т.е. отражается не более 1% падающей энергии) сохраняется лишь в полосе частот $\Delta f = 250...400$ МГц. Для расширения частотного диапазона используются многослойные покрытия. Однако высокий удельный вес ферромагнитных материалов делает недопустимым их использование в условиях ограничения массогабаритных размеров. В настоящее время в США осуществляется разработка и модернизация радиопоглощающего материала для диапазона частот 0,3...40 ГГц, имеющего коэффициент ослабления радиолокационного сигнала порядка 5...20 дБ и массу от 2,5 до 10...15 кг. Большинство из известных радиопоглощающих материалов не являются однокомпонентными и даже однородными материалами.

Для расширения частотного диапазона при обеспечении высокой эффективности поглощения ЭМВ все более широкое применение находят композитные материалы с различного рода включениями и так называемые искусственные среды [15,16], работа которых основана на принципе рассеяния и поглощения ЭМВ на резонансных частотах, определяемых размерами включений. Так для создания эффективных РПП изучается возможность использования киральных [17] и перколяционных материалов [18], относящихся к композитным материалам.

Киральные среды представляют собой изотропный диэлектрик, в котором находятся хаотически распределенные зеркально – асимметричные элементы. В перколяционных материалах используются неупорядоченные смеси из высоко- и низкопроводящих частиц. При некоторой критической концентрации высокопроводящих частиц, называе-

мой порогом протекания, в таких средах наблюдается переход металл–диэлектрик [14].

Перколяционные среды обладают аномально большой диэлектрической проницаемостью. На пороге протекания в таких средах проводимость характеризуется аномальной нелинейностью. Изменяя проводимость, размеры и концентрацию проводящих включений, можно варьировать емкостные и индуктивные свойства перколяционных кластеров и, следовательно, создавать материалы с необходимыми электрофизическими свойствами, в том числе и обладающие малоотражающими свойствами. Примером покрытий из таких материалов являются покрытия, в которых используется порошок из миниатюрных, покрытых металлом, керамических сред [14]. Диаметр керамических сфер лежит в пределах 5...75 мкм. При использовании такого порошка в качестве примеси к краске его стоимость лежит в пределах 1–2\$ за квадратный фут (1 фут = 0,3048 м). При этом он увеличивает вес краски всего на 0,05 фунта на квадратный фут (1 фунт = 0,48 кг) к весу краски. Утверждается, что на основе свойств такого порошка могут быть созданы покрытия для поглощения электромагнитного излучения в диапазоне 1...100 ГГц. Представленный экземпляр покрытия обеспечил поглощение ЭМВ на уровне 60 дБ на частотах 100 МГц до 10 ГГц.

Для уменьшения ЭПР объектов рассматривается возможность использования радиоизотопных покрытий [21,19], которые являются элементом сравнительно новой развивающейся технологии (полностью не относящейся ни к одному из выше названных классов). Эти покрытия наносятся на поверхность защищаемого объекта тонким слоем и содержат радиоактивные изотопы. Частицы высокой энергии, излучаемые покрытием, непрерывно ионизируют прилегающий слой воздуха. В результате создается экран, поглощающий радиолокационное и инфракрасное излучение. Отмечается, что такое покрытие позволяет снизить ЭПР на (10–20)% в широком частотном диапазоне практически без увеличения массогабаритных характеристик объекта защиты [19]. В этом покрытии согласование со свободным пространством обеспечивается плавным изменением концентрации электронов, уменьшающейся в плазменном экране по мере удаления от поверхности радиоизотопного слоя. Однако не показано, при каких значениях активности обеспечивается как согласование со свободным пространством, так и требуемое значение коэффициента поглощения электромагнитных волн в диапазоне частот. Кроме того, в работе не показана роль возникающего термодинамически неравновесного состояния электронной подсистемы ионизированной воздушной среды на снижение радиолокационной заметности. К недостаткам радиоизотопных покрытий следует отнести неустойчивость создаваемой плазменной воздушной среды, а также невозможность создания достаточной концентрации заряженных частиц для поглощения ЭМВ в широком частотном диапазоне.

Исходя из перечня решаемых задач, сформулированных выше, покрытия должны обладать с учетом значений коэффициента отражения и поглощения следующими свойствами:

- согласованием свободного пространства с характеристиками материала покрытия;
- поглощением ЭМВ в требуемом частотном диапазоне при его минимальном отражении;
- рассеянием ЭМВ в широком диапазоне углов и длин волн;
- возможностью временного и частотного разрушения сигнала;
- слабой зависимостью от характера поляризации падающей ЭМВ.

Система согласования свободного пространства с покрытием представляет собой переходный слой с активными потерями, обеспечивающий согласование импеданса с поверхностью раздела «воздух–поглотитель». Задача согласования может быть решена за счет градиента показателя преломления, постепенно увеличивая диэлектрическую и магнитную проницаемости $\epsilon = \mu = 1$ до более высоких значений (в некоторых случаях комплексных), а также за счет использования пирамид, которые в точности похожи на пирамидальные вершины, применяющиеся при изотоплении согласованных нагрузок в волноводах.

Поглощение электромагнитной энергии сопровождается их ослаблением за счет активных потерь при распространении в радиопоглощающем материале, при этом электромагнитная энергия частично переходит в тепловую энергию, обеспечивая малые отражения электромагнитного поля от поверхности конструкции. В зависимости от типа среды диссипативные процессы могут быть различной природы происхождения.

Процесс рассеяния сопровождается преобразованием распространяющегося в радиопоглощающем материале потока электромагнитной энергии определенного направления в потоки всевозможных направлений. Процесс рассеяния электромагнитного излучения может быть реализован созданием всевозможных структурных неоднородностей и сопровождается нелинейным преобразованием ЭМВ, приводящим к трансформации спектра отраженного сигнала и его переносу по частоте.

Таким образом, анализ условий использования РППиМ, а также достижимых характеристик и физических механизмов их реализации требует для обеспечения высокой эффективности применения учета решаемых задач, особенностей применения на различных объектах и в этой связи обуславливает необходимость определения требований к характеристикам покрытий на основании поиска новых технологий в защите.

2. Обоснование и анализ требований к характеристикам покрытий.

В настоящее время требования к покрытиям либо сформулированы ориентировочно, либо только фор-

мулируются в ходе разработки концепций защиты объектов и обеспечения ЭМС. Вследствие недостаточной разработанности концепции защиты объектов четко не определены не только многие требования к покрытиям, но и ряд характеристик объектов защиты. К таким характеристикам, в частности, относятся:

- номенклатура объектов защиты;
- условия функционирования объекта защиты;
- характер и способы получения информации об отражающих и излучательных свойствах объектов защиты;
- типы и характеристики мешающих воздействий.

Рассмотрим основные требования к РППиМ, исходя из наиболее общих предположений относительно условий выполнения задач, характеристик объектов защиты: рабочие частоты от единиц до 100 ГГц; работоспособность с учетом возможности изменения в широких пределах физических условий применения; способность работать в широком интервале температурных режимов; минимальная масса на единицу площади; высокие прочностные характеристики.

Как показал анализ, этим требованиям известные РППиМ в настоящее время не отвечают.

Вместе с тем существующие оценки [19-22] показывают перспективность применения полупроводниковых покрытий и материалов с радиоизотопной подложкой, основным преимуществом которых перед другими РППиМ наряду с расширением полосы пропускания является одновременное сочетание всех основных свойств, присущих известным типам в отдельности.

3. Разработка базовой модели радиоизотопно-полупроводникового материала и определение основных физических механизмов, влияющих на отражающие свойства материала.

Одной из возможностей реализации сформулированных выше физических механизмов обеспечения ЭМС и защиты ПТМ от энергетически х воздействий является использование радиоизотопно-полупроводникового материала (РиПМ), простейшая структура которого представлена на рис. 1.

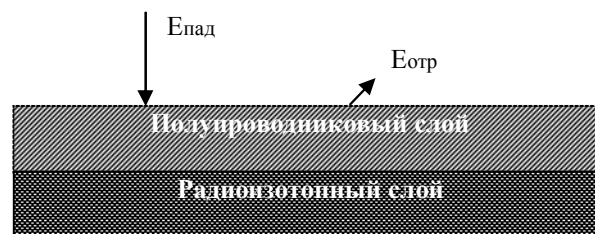


Рис. 1. Структура базовой модели радиоизотопно-полупроводникового материала

В общем случае такой материал может быть и многослойным, в котором полупроводниковые слои чередуются с различными по активности радиоизотопными слоями. (Радиоизотопные слои представляют собой чистые источники α - частиц). Такой под-

ход позволит снизить отражение ЭМВ за счет увеличения концентрации заряженных частиц, обусловленного увеличением активности радиоизотопных слоев по мере прохождения ЭМВ вглубь РИПМ.

В соответствии с показанной на рис. 1 структурой базовая модель РИПМ представляет собой двухслойную структуру, имеющую в своем полупроводниковый (твердотельный) и радиоизотопный слой. Кроме того, полупроводниковые слои РИПМ, количество, которых определяется как требованиями к отражающим свойствам, так и требованиями к массогабаритным характеристикам покрытия, обеспечивают работу покрытия в различных частотных поддиапазонах за счет использования радиоизотопных слоев с разной по величине активностью, определяющей как число треков α -частиц, так и макроскопические свойства твердотельной плазмы (плотность частиц, электропроводность, теплопроводность и т. д.), возникающей вдоль треков.

Ионизация атомов вещества покрытия вдоль треков приводит к созданию неоднородности в импульсном пространстве, ограниченном размерами полупроводниковых слоев, и, как следствие, к образованию неравновесных состояний электронов, что может привести к существенному увеличению затухания ЭМВ в покрытии.

Причем в зависимости от величины активности радиоизотопных слоев, определяющей механизмы ионизации и рекомбинации, диссипативные процессы могут иметь разную природу происхождения. Кроме того, неравновесное распределение электронной компоненты твердотельной части покрытия может привести как к изменению дисперсии плазменных колебаний, так и к появлению мнимой части диэлектрической проницаемости, рост которой обеспечит увеличение тангенса угла потерь $\text{tg } \delta$, а, соответственно, уменьшение толщины покрытия.

Использование источников ионизирующего излучения для создания неоднородности в импульсном пространстве твердотельной части материала неразрывно связано с созданием неоднородности в координатном пространстве – треков α -частиц.

Испускаемые радиоизотопными слоями α -частицы приведут к образованию в полупроводниковой матрице покрытия треков, которые представляют собой сложную рассеивающую нестационарную систему тонких проводящих нитей, обеспечивающую за счет своих резонансных свойств поглощение прошедших вглубь материала ЭМВ.

Таким образом, поскольку основной материал покрытия (полупроводник) обладает диэлектрическими свойствами, а α - радиоактивные слои имеют хорошую проводимость, то твердотельная часть РИПМ по отношению к поглощению и рассеянию ЭМВ будет представлять собой одновременно среду трех перечисленных выше типов, реализуемых в традиционных РПП: плоскостойких, градиентных и геометрически неоднородных.

В соответствии с выше изложенным основная идея разработки РИПМ направлена на создание и использование специфических неоднородностей фазового пространства покрытия в целом, ограниченного размерами всех слоев материала, для обеспечения в широком частотном диапазоне требуемых отражающих и поглощающих свойств.

Таким образом, в основу разработки покрытия положено использование радиоизотопных слоев, применение которых позволит использовать и ряд эффектов, а, соответственно, и преимуществ на основе того, что возникают линейные области повышенной проводимости – треки и возникает эффект, связанный с неравновесностью электронной подсистемы материала вдоль треков. В дальнейшем будет исследован процесс изменения отражающих и формирования требуемых излучательных свойств диэлектрических (полупроводниковых) материалов за счет α -радиоактивных слоев.

Поскольку основной характеристикой любого РППИМ является его коэффициент отражения $R(\lambda, \theta)$, который существенно зависит от длины волны, вида и направления распространения падающей волны, формы отражающего объекта, то поглощающие свойства РППИМ принято характеризовать величиной коэффициента отражения плоской волны R_0 , падающей нормально на бесконечный плоский лист поглощающего материала.

В соответствии с предложенной выше базовой моделью рассмотрим прохождение через него плоской волны и определим коэффициент отражения R_0 . Рассмотрим РИПМ, имеющий один полупроводниковый слой. Исходя из этого, представим структуру РИПМ в следующем виде, приведенном на рис. 2.

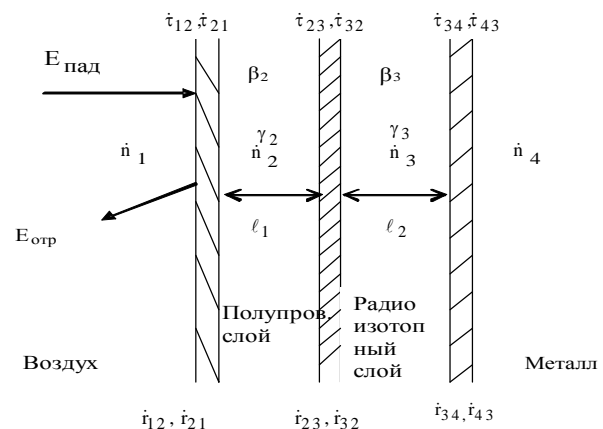


Рис. 2. Структура РИПМ

В рассматриваемом случае из-за наличия радиоизотопного слоя возникает двухслойная структура материала.

Известно, что коэффициент отражения ЭМВ от слоя определяется в соответствии с выражением

$$\dot{r}_{12} = \frac{\dot{E}_{1\delta\delta} - \dot{Z}_{n2}}{\dot{E}_{1\delta\delta} + \dot{Z}_{n2}} = \frac{\dot{Z}_{n2} - \dot{Z}_{n1}}{\dot{Z}_{n2} + \dot{Z}_{n1}}, \quad (1)$$

а коэффициент пропускания определяется следующим образом

$$\dot{\tau}_{12} = \frac{\dot{E}_{\dot{\tau}} \delta}{\dot{E}_{\dot{\tau}} \text{ää}} = \frac{2\dot{Z}_{n2}}{\dot{Z}_{n2} + \dot{Z}_{n1}}, \quad (2)$$

где $\dot{E}_{\dot{\tau}} \text{ää}$ – комплексная амплитуда электрического поля падающей волны; $\dot{E}_{\dot{\tau}} \delta\delta$ – комплексная амплитуда электрического поля отраженной волны; $\dot{E}_{\dot{\tau}} \delta$ – комплексная амплитуда электрического поля прошедшей волны; \dot{Z}_{n1} , \dot{Z}_{n2} – приведенные волновые сопротивления слоев 1 и 2.

Учитывая, что для всех составляющих структуры материала можно принять $\mu = 1$, тогда в выражениях (1) и (2) вместо приведенного волнового сопротивления \dot{Z}_n можно использовать коэффициент преломления $\dot{n} = \sqrt{\epsilon}$ [12].

В соответствии с результатами работы [12] можно показать, что выражение для коэффициента отражения R_0 от КМРВ будет иметь вид:

$$R_0 = \dot{\tau}_{14} = \frac{\dot{\tau}_{12} + (\dot{\tau}_{12}\dot{\tau}_{21} - \dot{\tau}_{12}\dot{\tau}_{21})\dot{\tau}_{23}e^{-\gamma_2\beta_2}e^{-\gamma_2}}{1 + \dot{\tau}_{12}\dot{\tau}_{23}e^{-\gamma_2\beta_2}e^{-\gamma_2} + \dot{\tau}_{23}\dot{\tau}_{34}e^{-\gamma_3\beta_3}e^{-\gamma_3}} + \frac{(\dot{\tau}_{23}\dot{\tau}_{32} - \dot{\tau}_{23}\dot{\tau}_{32})\dot{\tau}_{34}e^{-\gamma_3\beta_3}e^{-\gamma_3}}{1 + \dot{\tau}_{12}\dot{\tau}_{23}e^{-\gamma_2\beta_2}e^{-\gamma_2} + \dot{\tau}_{23}\dot{\tau}_{34}e^{-\gamma_3\beta_3}e^{-\gamma_3}}, \quad (3)$$

где β_2 , β_3 – набег фазы для ЭМВ на длине волны λ в среде между отражающими слоями при отражении излучения, соответственно, от первого и второго слоев ($\beta = (4\pi/\lambda)n\ell$, где ℓ – толщина слоя); γ_2 , γ_3 – показатели затухания отраженного излучения, соответственно, от второго и третьего слоев, обусловленные поглощением в средах между слоями.

В соответствии с работой [12] показатель затухания отраженного излучения определяется как

$$\gamma = (4\pi/\lambda) \cdot \ell \alpha, \quad (4)$$

где α – мнимая часть показателя преломления $\dot{n} = n - j\alpha$.

Зависимость \dot{n} и α от длины волны λ и проводимости σ определяются соотношениями [9]:

$$\dot{n} = \sqrt{\epsilon} \sqrt{\frac{1}{2} \sqrt{1 + \left(\frac{60\sigma\lambda}{\epsilon}\right)^2} + 1}; \quad (5)$$

$$\alpha = \sqrt{\epsilon} \sqrt{\frac{1}{2} \sqrt{1 + \left(\frac{60\sigma\lambda}{\epsilon}\right)^2} - 1}. \quad (6)$$

Таким образом, в соответствии с выражениями (1–6) коэффициент отражения РиПМ – R_0 на длине волны λ определяется диэлектрической проницаемостью ϵ_i и проводимостью σ_i отдельных слоев.

Каждая из выше определенных составляющих структуры РиПМ дает свой вклад в диэлектриче-

скую проницаемость, которая в общем случае может быть представлена следующим выражением:

$$\epsilon(\omega, \vec{k}) = 1 + \epsilon_m + \sum_{i=1}^N \delta\epsilon_{\text{ДЭ}} \text{сëî } \dot{y}_i(\omega, \vec{k}) + \sum_{j=1}^M \delta\epsilon_{\text{I}} \text{äðäâî } j(\omega, \vec{k}) + i \left(\frac{4\pi}{\omega} (\sigma_{\text{eff}}(\omega, \vec{k}) + \alpha_e E^2) \right), \quad (7)$$

где ϵ_m – диэлектрическая проницаемость полупроводникового слоя; $\sum_{i=1}^N \delta\epsilon_{\text{ДЭ}} \text{сëî } \dot{y}_i(\omega, \vec{k})$ – вклад в диэлектрическую проницаемость стационарных и нестационарных включений (радиоактивного слоя и треков); $\sum_{j=1}^M \delta\epsilon_{\text{I}} \text{äðäâî } j(\omega, \vec{k})$ – вклад в диэлектрическую проницаемость неравновесного состояния электронной подсистемы полупроводникового слоя; $\frac{4\pi}{\omega} (\sigma_{\text{eff}}(\omega, \vec{k}) + \alpha_e E^2)$ – вклад в мнимую часть диэлектрической проницаемости радиоактивного слоя с учетом нелинейных составляющих; α_e – эффективная нелинейная проводимость; E – среднее электрическое поле; ω , \vec{k} – частота и волновой вектор.

Составляющие диэлектрической проницаемости, описываемой выражением (7) являются частотно-зависимыми, что может обеспечить при определенных условиях необходимые отражающие и излучательные свойства РиПМ в широком частотном диапазоне. Эти физические механизмы определяются диэлектрической проницаемостью ϵ_i и проводимостью σ_j отдельных его слоев. Использование радиоизотопного слоя приводит как минимум к двухслойной структуре материала с различными физическими механизмами, определяющими необходимые отражающие и излучательные свойства.

Выводы

Таким образом, для защиты средств комплексной автоматизации ПТМ и обеспечения ЭМС их компонентов целесообразно использовать РиПМ, вы которых могут быть реализованы следующие основные физические механизмы:

- значительное поглощение ЭМВ за счет создания неравновесной твердотельной плазмы, возникающей вдоль треков α - частиц;
- рассеяние ЭМВ на нестационарной структуре треков, возникающих в полупроводниковом слое;
- преобразование падающего излучения за счет возникновения нелинейных свойств РиПМ, вызванных радиоизотопными и полупроводниковыми слоями.

Список литературы

1. Фёдорова З.М. Подъёмники / З.М. Фёдорова, И.Ф. Лукин, А.П. Нестеров. – К.: Вища школа, 1976. – 294 с.

2. Підйомно-транспортні машини. Розрахунки підйомно-транспортувальних машин / В.С. Бондарев, О.І. Дубинець, М.П. Колісник та інші. – К. Вища школа, 2009. – 734 с.

3. Александров М.П. Подъемно-транспортные машины / М.П. Александров. – М.: Высш. шк., 1985. – 520 с.

4. Локшин Е.А. Эксплуатация подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин / Е.А. Локшин. – М.: Академия 2007. – 512 с.

5. Меклер А.Г. Об основных показателях надежности крановых электроприводов / А.Г. Меклер // Электропривод и автоматизация ПТМ. – М.: ВНИИПТМАШ, 1975. – № 3. – С. 26 – 34.

6. Василець Т.Ю. Автоматизовані системи управління типових промислових устаткувань / Т.Ю. Василець, О.О. Варфоломійєв. – Х.: ТОВ «Сучасний друк», 2008. – 253 с.

7. Боровских Ю.И. Электрооборудование подъемно-транспортных машин / Ю.И. Боровских, Б.П. Бусыгин. – М.: Машиностроение, 1979. – 184 с.

8. Н.-Ж. Humbert et al. Elektrische Bahnen, 2000, №11/12 S.399 – 410.

9. Разработка и изготовление сверхширокополосных радиопоглощающих покрытий и радиопоглощающих материалов на базе высокодисперсных порошков. Отчет о НИР «Экран-2», 1993. – К.: АН Украины. Институт коллоидной химии и химии воды. – 54 с.

10. Антонов А.С. Электрофизические свойства перколяционных систем / А.С. Антонов, В.М. Батенин, А.П. Виноградов. – М.: ИВТАН, 1990. – 120 с.

11. Емец Ю.П. Эффективная диэлектрическая проницаемость трехкомпонентных композитных материалов с анизотропной структурой / Ю.П. Емец // ЖТФ. – 2005. – Т. 75, вып. 2. – С. 67 – 72.

12. Емец Ю.П. Моделирование электрофизических характеристик диэлектрической среды с периодической структурой / Ю.П. Емец // ЖТФ. – 2004. – Т. 74, вып. 12. – С. 1 – 9.

13. Лагарьков А.Н. Фундаментальные и прикладные проблемы стелс-технологий / А.Н. Лазарьков, М.А. Погосян // Вестник Российской Академии наук. – 2003. – Т. 73, № 9. – С. 848 – 862.

14. Виноградов А.П. Электродинамика композитных материалов / Под ред. Б.З. Каценеленбаума. – М.: Эдиториал УРСС, 2001. – 208 с.

15. Поморцев Р.В. Электропроводность перколяционной системы в условиях нормального скин-эффекта / Р.В. Поморцев // Физика металлов и металловедения. – 1996. – Т. 82, № 1. – С. 159 – 161.

16. Будагян И.Ф. Оптимизация неоднородного радиопоглощающего диэлектрического слоя / И.Ф. Будагян, Д.И. Мировицкий, В.И. Пономаренко // Радиотехника. – 1982. – Т. 37, № 7. – С. 22 – 27.

17. Шнейдерман Я.А. Радиопоглощающие материалы / Я.А. Шнейдерман // Зарубежная радиоэлектроника. – 1965. – № 4. – С. 121 – 126.

18. Петров Б.М. Управляемые импедансные покрытия и структуры / Б.М. Петров, А.И. Семенухин // Зарубежная радиоэлектроника. – 1994. – № 6. – С. 3 – 16.

19. Сотников А.М. Определение влияния нестационарной структуры проводимости на отражающие свойства композитных радиоизотопных материалов // А.М. Сотников // Авиационно-космическая техника и технологии. – 2006. – № 4 (30). – С. 71 – 75.

20. Сотников А.М. Снижение радиолокационной заметности объектов на основе использования радиоизотопного покрытия / А.М. Сотников, Р.Г. Сидоренко // Проблемы информатики и моделирования. Материалы 4 МНТК – Х.: НТУ «ХПИ», 2004. – С. 65.

21. Сотников О.М. Використання радіоізотопних композитних матеріалів для зниження радіолокаційної помітності об'єктів / О.М. Сотников // Перша НТК Харківського університету Повітряних Сил, 16-17 лютого 2005 р. Тези доповідей. – Х.: ХУ ПС, 2005. – С. 81 – 82.

22. August H. Energy absorption by radioisotope produced plasma / H. August. USA Pat. - № 3.713.157, 343 – 18. 23.1.1973.

Поступила в редколлегию 25.10.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.Г. Гриб, Национальный технический университет "ХПИ", Харьков.

ЗАХИСТ ЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТІВ СИСТЕМ КОМПЛЕКСНОЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПІДЙОМНО-ТРАНСПОРТНИХ МАШИН ВІД ЗАВАЖАЮЧИХ ДІЙ НА ОСНОВІ ЗАСТОСУВАННЯ РАДІОІЗОТОПНО-НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ПОКРИТТІВ І МАТЕРІАЛІВ

П.Ф. Буданов, О.М. Сотников, А.М. Чернюк, О.Б. Єгоров

Проведений аналіз умов роботи систем комплексної автоматизації підйомно-транспортних машин і механізмів. Визначені основні засоби забезпечення електромагнітної сумісності компонентів автоматизованого електроприводу підйомно-транспортних машин. Запропонований метод забезпечення електромагнітної сумісності електронних компонентів систем комплексної автоматизації в умовах обмеження масогабаритних розмірів шляхом застосування радіопоглинаючих покриттів і матеріалів. Показана можливість застосування радіоізотопно-напівпровідникової технології для створення засобів забезпечення електромагнітної сумісності і захисту від енергетичних дій електронних компонентів систем комплексної автоматизації підйомно-транспортних машин.

Ключові слова: системи автоматизації, підйомно-транспортні механізми, електромагнітна сумісність, радіопоглинаючі матеріали і покриття, енергія електромагнітної хвилі.

PROTECTING OF ELECTRONIC COMPONENTS OF THE COMPLEX AUTOMATION SYSTEMS OF LIFTING-TRANSPORT MACHINES FROM MIXING INFLUENCES ON THE BASIS OF APPLICATION OF RADIOISOTOPE SEMICONDUCTOR COVERAGES AND MATERIALS

P.F. Budanov, A.M. Sotnikov, A.M. Chernyuk, A.B. Egorov

The analysis of terms of work of the systems of complex automation of lifting-transport machines and mechanisms is conducted. The fixed assets of providing of electromagnetic compatibility of components of the automated electromechanic of lifting-transport machines are certain. The method of providing of electromagnetic compatibility of electronic components of the systems of complex automation is offered in the conditions of limitation of sizes by application of radioabsorber coverages and materials possibility of application of radioisotope semiconductor technology for creation of backer-ups electromagnetic compatibility and protection from power influences of electronic components of the systems of complex automation of lifting-transport machines.

Keywords: systems of automation, lifting-transport mechanisms, electromagnetic compatibility, radioabsorber materials and coverages, energy of hertzian wave.