



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра морских информационных систем

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
БАКАЛАВРА**

На тему: «Разработка генераторного узла гидроакустического канала системы
наведения»

Исполнитель: Гребенкин Никита Юрьевич

Руководитель: доктор технических наук, профессор

Никитин Константин Константинович

«К защите допускаю»

и.о. заведующего кафедрой: _____

кандидат географических наук, доцент

Фокичева Анна Алексеевна

«14» 06 2017 г.

Санкт-Петербург

2017

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования**

**«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»**

Факультет Информационных систем и геотехнологий

Кафедра «Морские информационные системы»

Допустить к защите

зав. кафедрой МИС

А. Фокичева

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

«РАЗРАБОТКА ГЕНЕРАТОРНОГО УЗЛА ГАК»

Направление подготовки – 17.03.01 «Корабельное вооружение»

Профиль - «Морские информационные системы и оборудование»

Исполнитель:

Гребенкин Никита Юрьевич

Руководитель:

д.т.н. профессор

Никитин Константин Константинович

Санкт-Петербург – 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ СОХРАНЕНИЯ ВЫСОКОТОЧНОЙ СТВОЛЬНОЙ АРТИЛЛЕРИИ	5
1.1. Анализ исторического развития ствольной и ракетной артиллерии.	5
1.2. Обоснование актуальности скорострельного вооружения.....	15
ВЫВОДЫ.....	22
2. РАЗРАБОТКА ЭЛЕМЕНТОВ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ УСИЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ГИДРОЛОКАТОРА СИСТЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ.....	20
2.1. Фильтр низких частот.....	29
2.2. Мощностные характеристики приемо-передающего тракта.....	33
ВЫВОДЫ.....	35
3. РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ УСИЛИТЕЛЯ ГИДРОЛОКАТОРА	37
3.1. Расчет дросселя	37
3.2. Расчет трансформатора	40
ВЫВОДЫ.....	46
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	49
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	54

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире артиллерийский и ракетный огонь боевого флота в основном корректируется с помощью радиолокационного, инфракрасного и телеоптического каналов наведения. Одновременно с развитием систем наведения оружия активно развиваются и средства противодействия таким системам.

Радиолокационный канал наведения является самым перспективным вследствие высокой скорости распространения радиоволн, однако радиоканалы легко засоряемы, средства противодействия включают в себя как активные, так и пассивные системы.

Телеоптический канал наведения может быть неэффективным вследствие применения противником таких средств, как заградительные дымовые завесы, либо в ночное время, в условиях тумана, дождя и прочих неблагоприятных погодных условий.

Средства инфракрасного противодействия включают в себя отстреливаемые ложные тепловые цели и стационарные генераторы инфракрасных помех.

В условиях, при которых вышеперечисленные каналы наведения оказываются малоэффективными, либо в них наблюдаются значительные сбои, может быть целесообразным введение дублирующего канала наведения, которым оказывается гидроакустический канал наведения. Данная дипломная работа посвящена его описанию.

Данная выпускная квалификационная работа является комплексной.

Её структура показана на рисунке 1.

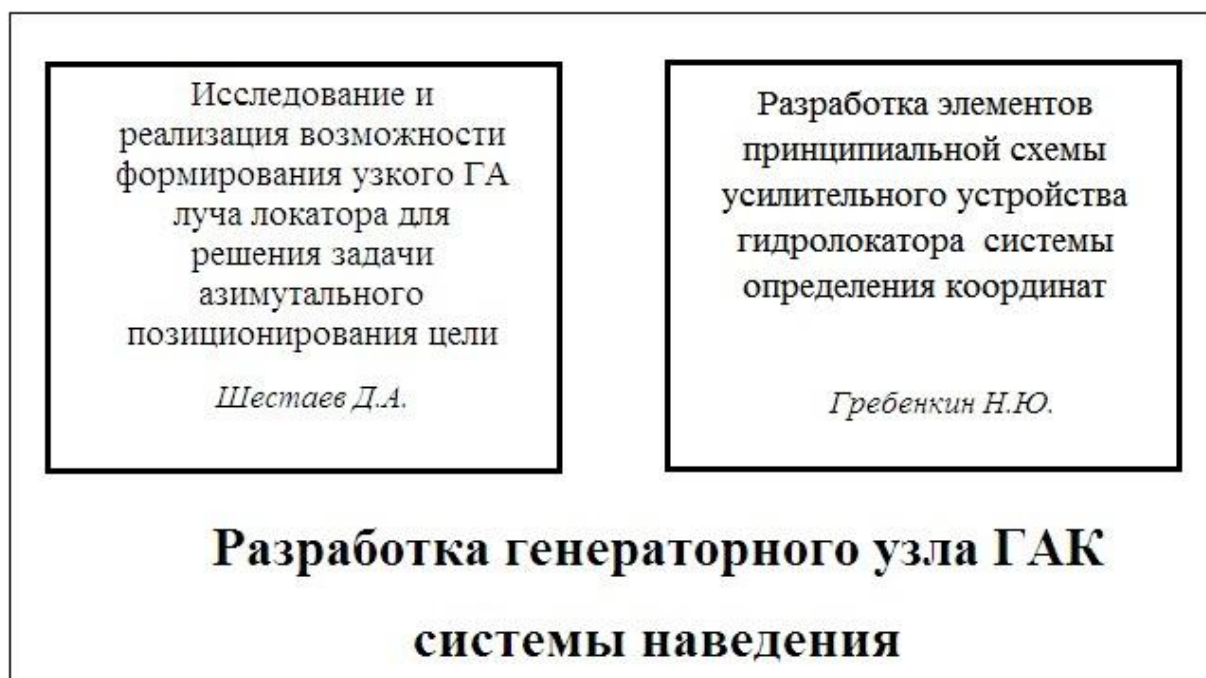


Рисунок 1 - структура выпускной квалификационной работы.

Объектом исследования являются каналы систем наведения.

Предметом исследования является гидроакустический канал системы наведения.

Целью работы Формирование электрической принципиальной схемы устройства.

Задачи:

- Обоснование целесообразности сохранения высокоточной ствольной артиллерии
- Разработка элементов принципиальной схемы усилительного устройства гидролокатора системы определения координат;
- Разработка электромагнитных элементов усилителя гидролокатора.

1. ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ СОХРАНЕНИЯ ВЫСОКОТОЧНОЙ СТВОЛЬНОЙ АРТИЛЛЕРИИ

1.1 Анализ исторического развития ствольной и ракетной артиллерии.

Этот обзор претворяет обоснование современного состояния корабельного артиллерийского вооружения и иллюстрирует тот длительный извилистый путь, который был пройден строителями современных кораблей при разработке артиллерийских систем, в первую очередь, для противокорабельного боя. Естественно возможно использование их, либо их аналогов и при ведении огня и по береговой линии, и по глубокому тылу далеко за береговой линией, так и зенитного огня и других видов артиллерийского поражения. Будем считать, что современная история корабельного артиллерийского вооружения начинается с последней четверти 19 века, когда артиллерия приняла форму более или менее близкую к современной. Эта форма характеризуется следующими основными особенностями:

- Стал использоваться практически во всех орудиях снаряд удлиненной цилиндрической конической формы.
- Повсеместно стало использоваться зарядение с казенной части.
- Процессы зарядания, досылания снаряда и метательных зарядов стали постепенно все более механизироваться и автоматизироваться, что привело к ускорению темпа стрельбы.

Для этого периода характерно начало существенного разделения калибров, размеров артиллерийского вооружения по типу кораблей. Основными типами в то время были следующие типы:

- Броненосцы - самоходные небыстроходные потомки плавучих батарей, вооруженные мощным артиллерийским вооружением башенного типа в сравнительно небольшом количестве. Второй особенностью броненосцев

было использование всех, в том числе промежуточных, универсальных и малых, калибров для ведения борьбы со всеми типами кораблей. Так уже первые броненосцы получили традиционные для достаточно длительного, более чем 50-летнего, периода орудия башенного типа по 2 пушки в башне, калибра в районе 306 мм, т.е. 12-дюймовые орудия. Дальноточность орудий составляла до 20 км и в сравнительной степени ограничивалась сравнительно малым углом подъема стволов. Учитывая, что броненосцы в подавляющем большинстве случаев применялись для борьбы с броненосцами же противника, этой дальности вполне хватало по очень простой причине: при характеристиках оптики, целеуказания, стабилизации снарядов в полете и прочих параметров, например, таких как точность вывешивания порохового метательного заряда, попадание из броненосца в броненосец даже в идеальных условиях на расстояниях более 20 км было практически нереальным и основные артиллерийские батальи разворачивались на существенно, в 2-3 раза, меньших расстояниях. Броненосцы имели орудия и других калибров, например 203 мм, 152 мм, 100 мм, 76 мм, последние использовались для борьбы с малыми кораблями противника, для противоминной стрельбы и т.д.

- Вторым типом кораблей, появившихся в большом количестве на рубеже 19-20 веков, были крейсера, потомки парусных фрегатов. Крейсера во многом унаследовали и задачи, решаемые в ходе боевых столкновений и войн. В первую очередь это борьба с крейсерами противника; это задача дальней, в том числе боевой, разведки; это задачи набеговые на объекты противника, в которых использовалась быстрая большая скорость перемещения крейсеров, практически в 1.5-2 раза превышавшая скорость перемещения тяжелых броненосцев. Сказанное определило характер вооружения крейсеров. Крейсера вооружались достаточно большим количеством орудий меньшего калибра, предназначенных для ведения боя с гораздо большим удельным в единицу времени расходом снарядов в связи с тем, что стрельба могла вестись по радикально большему количеству целей, а также по

передвигающимся целям и это передвижение могло идти с большими скоростями. К примеру, возьмем бронепалубный крейсер Аврора, крейсер 1 ранга, который имел по 6 орудий с каждого борта, а также баковое и кормовое орудия: итого 14 пушек калибра 152 мм. Скорострельность таких орудий составляла, как правило, более 1 выстрела в минуту, чем не могли похвастаться медленно заряжаемые орудия броненосцев. Однако, что можно отметить, несмотря на это крейсер был абсолютно бессилён против броненосцев. Не факт, что броненосец достанет его своими выстрелами, попадет в быстроходный крейсер, но и 152 мм орудия крейсеров фактически не могли нанести урона бортовому, палубному, башенному, торпедному бронированию броненосцев. Негласное правило гласило: толщина брони, которая защищала основные узлы бронированных кораблей, должна быть соизмерима с калибром тех кораблей, с которыми рассматриваемые корабли должны были бороться. Поэтому толщина брони у броненосцев была в районе 300 мм, у крейсеров 150 мм, либо в случае использования бронепалубных крейсеров роль бортовой брони выполняли другие устройства, например угольные ямы.

- Следующим классом кораблей были миноносцы и эскадренные миноносцы, основным вооружением которых было минно-торпедное вооружение. Эти весьма и весьма быстроходные корабли (достаточно вспомнить блестящие, лучшие в мире русские корабли типа «Новик») несли сравнительно небольшое вооружение калибра примерно 100 мм, и предназначались в основном для активных действий по борьбе с кораблями противника любого ранга, по торпедной борьбе и по артиллерийской борьбе с применением своих калибров и, соответственно, с выбором целей, соразмерных со своими калибрами.
- Несколько отдельно от данных кораблей были расположены:
- броненосцы береговой охраны;
- мониторы, как малые корабли, несущие 1 или 2 орудия очень большого калибра;

- канонерские лодки, близкие к мониторам по своему смыслу, да и другие типы.

Одновременно с развитием кораблей в соответствии с изменяющимися задачами менялась и артиллерия. Спустя годы после 1 мировой войны главенствующую роль на морях получили броненосные корабли дредноутного типа, впоследствии названные линкорами в русскоязычных источниках и battleship в англоязычных. Линкор-это дальнейшее продолжение линий, исходящих из броненосцев, крейсеров и тяжелых крейсеров. Линкор - это вершина развития артиллерийского флота. На длительный период, примерно с 1907 по 1945 годы, линкоры составляли главную боевую мощь флотов целого ряда стран, в первую очередь Великобритании, США, Франции, Германии, Италии, Японии. Крупнейшими и наиболее совершенными линейными кораблями всех времен и народов стали:

- японский линкор «Ямато», самый крупный и несущий пушки 456-мм, по другим данным 460-мм;
- американские линкоры типа «Айова»;
- немецкие линкоры типа «Бисмарк»;
- французские линкоры типа «Ришелье»;
- итальянские линкоры типа «Литторио».

Вот эти корабли составили элиту линкорного мирового флота.

Остановимся на этом на описании фрагментов истории развития корабельной артиллерии, отметив лишь несколько фактов. За время военного кораблестроения было построено огромное количество различных кораблей различных типов, в том числе огромное количество линкоров, различными странами и, тем не менее, за все время военных столкновений линкорами, по самым оптимистическим подсчетам, было потоплено всего 9 линкоров противника для всех линкоров всех стран, т.е. основную задачу линкоры не

выполнили. Это было связано с тем, что флоты противодействующих сторон берегли свои линкоры и потопление любого из них воспринималось как большая неудача в масштабах всей страны. Также отметим, что развитие артиллерийского вооружения заведомо было тупиковой ветвью развития корабельного вооружения вообще именно в связи с тем, что при увеличивающихся скоростях перемещения кораблей и при все увеличивающейся дальности контактного боя снаряд являлся неуправляемой боевой единицей, и достижение даже 2% оценки количества попаданий из главного калибра было очень сложной задачей. Конечно, есть и обратные примеры, например попадание с 3 залпа линкора «Бисмарк» в английский линейный крейсер «Худ» с колоссального расстояния, вызвавшее его потопление, но как правило история изобилует противоположными примерами. Так, например, в Цусимском сражении процент попадания российских снарядов в японские корабли был настолько низок и настолько усугублялся еще и малыми последствиями попаданий, что это явилось одной из главных причин разгрома и поражения русской эскадры. Следующей особенностью предопределившей закат тяжелого артиллерийского вооружения стала невозможность резкого увеличения скорострельности орудий большого калибра. Предельная скорострельность в несколько единиц выстрелов в минуту оказалась критически большой и связанной не только с невозможностью всех механических, электрических и других операций в стреляющем орудии, но и малым ресурсом стреляющих орудий, составляющем от нескольких десятков, до нескольких сотен.

Можно назвать и другие причины, которые предопределили закат ветви тяжелого артиллерийского вооружения. Одной из таких причин было активное развитие ракетного вооружения в послевоенное время. Первые же опыты по использованию ракетного вооружения показали его принципиальное отличие от артиллерийского. Этих отличий можно назвать несколько:

- В первую очередь ракетная пусковая установка оказалась гораздо проще и легче, нежели тяжелое корабельное орудие, а тем более многоствольная башня. Так, если масса крупных башен линкоров типа «Бисмарк», «Литторио», «Айова» составляла несколько тысяч тонн, то масса пусковой установки адекватного ракетного оружия была в десятки и сотни раз меньше. Значительное облегчение кораблей высвободило дополнительное место для энергетической установки, радиотехнической аппаратуры, составляющей в значительной степени начинку современных кораблей, и для других систем.
- Второй особенностью ракетного вооружения стал иной принцип поражения кораблей противника, в первую очередь основой этого принципа стала управляемость полета ракеты и отсутствие необходимости первичного прицеливания, второй особенностью явилось то, что в силу баллистических свойств, ракета получила возможность нести существенно большее количество более сильных, чем тротил, взрывчатых веществ. Известно, что тяжелые снаряды линкоров несли всего несколько килограмм взрывчатого вещества, несущего больше вспомогательную роль, а основным поражающим фактором была кинетическая энергия снаряда, в первую очередь энергия пороховых газов при выстреле и энергия снаряда, летящего с очень большой высоты. Ракета же, способная нести в десятки и сотни раз больший заряд, основным поражающим фактором стала иметь именно колоссальную разрушающую силу боевого заряда. Стало примерно ясно, что взрыва в 500 килограмм гексогена достаточно для поражения любого корабля любой степени бронирования. Поэтому бронирование кораблей стало фактически бесполезным. В этой связи и создание бронированных сверхгигантов водоизмещением по 60-70 тысяч тонн, этих плавучих мишеней для артиллерий ракетного вооружения противника, стало совершенно бесполезным.

Закончилась эра тяжелого корабельного вооружения.

Подойдем ближе к основной тематике нашего изложения, а именно к появлению высокоскорострельных корабельных пушек различных калибров, в первую очередь малого калибра, единственно сохранившемся как артиллерийское вооружение, востребованное в настоящее время при наличии ракетного вооружения.

1.2 Обоснование актуальности скорострельного вооружения

После второй мировой войны постепенно стало понятно, что тяжелое артиллерийское вооружение кораблей, к которому относятся орудия калибра более 152 мм, постепенно теряет свой смысл. Это начало происходить по целому ряду причин, некоторые из которых мы сейчас кратко рассмотрим.

Мы уже говорили о крайней малоэффективности артиллерийского огня на больших дистанциях. Дистанции боестолкновения между крупными кораблями в условиях наличия охраны становились все больше и больше. К тому же в среднем возрастали и скорости перемещения водных объектов. В этих условиях, даже при наличии существенно улучшившихся параметров артиллерии тяжелого калибра, попадание снарядов из корабля в корабль начало иметь все меньшую и меньшую вероятность. Причем здесь речь идет не о принципиальных ошибках, таких, какие были допущены русским флотом во время Цусимского сражения, а о естественных ограничителях дальности стрельбы. Так в ряде случаев стрельба становится за горизонтом и эффективность артиллерийской стрельбы сильно уменьшается в связи с пропаданием оптического канала связи между кораблями. Грубо говоря, становится невозможно прицелиться. Этому способствуют и погодные условия, и ночь, и дымы, которые можно использовать. В этих условиях артиллерия большого калибра становится абсолютно не пригодной. Просто так оставить артиллерию большого калибра на кораблях оказалось невозможным.

Масса корабля очень жестко поделена основными его системами, и, например, если на корабле массой в 50 000 тонн отказаться от артиллерии главного калибра, то высвободившиеся 10 000 тонн можно с пользой использовать для построения других систем. К тому же, после войны активно развивались ракетные системы вооружения, в первую очередь даже не баллистические свойства ракет, а их системы управления и системы, обеспечивающие точность наведения.

С появлением крылатых ракет, баллистические свойства которых заметно улучшились, а дальность их действия заметно возросла по сравнению с обычным ракетным вооружением, стало считаться, что и этот вид вооружения начинает постепенно выигрывать у артиллерийского корабельного вооружения.

Так или иначе, значительная часть кораблей, которые все еще оставались в строю, сохранили свое артиллерийское вооружение. В дополнение к нему было установлено ракетное вооружение, но вновь проектируемые корабли потеряли ствольную артиллерию, как основной вид вооружения, и эта ствольная артиллерия сохранилась лишь в сравнительно небольших приложениях и к тому же претерпела существенные изменения. Рассмотрим эти изменения.

Корабль средних по нынешним меркам размеров, водоизмещением в районе 10 000 тонн, как правило, имеет два орудия главного калибра, и калибр этих орудий резко превышает 100-130 мм. Эти орудия не могут быть эффективным средством полного поражения равноценного корабля, т.е. они не нацелены на задачу ведения межкорабельных боестолкновений с равным противником, в то же время нельзя сказать, что эти орудия оставлены на кораблях в силу исторических традиций. С помощью этих высокоавтоматизированных, весьма скорострельных орудий, несущих снаряды значительной взрывной силы, осуществляется удар по меньшим целям противника: кораблям меньшего размера, катерам, по другим подвижным объектам за исключением средств воздушного нападения.

Типичные примеры таких орудий приведены в приложении. Кратко остановимся на их параметрах.

Как правило, это скорострельная пушка, находящаяся под легкобронированным колпаком, не способным противостоять нападению противника с использованием артиллерии равного калибра. Скорострельность этого орудия составляет до нескольких десятков выстрелов в минуту. В некоторых случаях темп стрельбы до израсходования частного боезапаса может составлять один выстрел в секунду. Таким образом, по боевой мощи это орудие значительно превосходит всё артиллерийское вооружение легкого крейсера времен второй мировой войны. Учитывая, что на более больших дистанциях боестолкновение обеспечивается другими видами вооружения, дальноточность этой пушки может и не быть особенно высокой, что позволяет укоротить ствол, уменьшить заряд метательного пороха и перейти к использованию унитарного способа заряжания. Все орудия, установленные на корабле и имеющие меньший калибр, предназначены в основном для отражения воздушных атак, но могут с успехом использоваться при стрельбе по быстро перемещающимся небольшим целям на поверхности воды. На кораблях используется артиллерия промежуточного калибра, это, как правило, пушки калибра 37, либо 56 мм (так же соответствующие примеры вынесены в приложение), артиллерия малого калибра - это пушки калибром 20 мм и тяжелые пулеметы калибром меньше 20 мм. Вся эта артиллерия характеризуется не только исключительно высоким темпом стрельбы, но и возможностью централизованного управления ее использованием из пультов управления, находящихся в защищенных системах корабля, с использованием различных каналов наведения, в первую очередь оптических, теле оптических, а так же радиолокационных каналов наведения. Эта артиллерия призвана не только дополнить соответствующее ракетное вооружение, но и работать в тесном с ним контакте. Поэтому отражение воздушной атаки, либо атаки быстро перемещающихся малых надводных

целей, происходит совместным применением ракетного артиллерийского вооружения и ствольного артиллерийского вооружения.

Если противник не может применить имеющиеся в его арсенале средства противодействия ракетному вооружению, либо вообще не имеет таких средств, не информирован о возможности ракетного вооружения, то использование ракетного вооружения оказывается в значительной степени эффективнее, нежели использование пушечного вооружения и в общем дешевле. Причем не надо удивляться наличию экономической составляющей в организации артиллерийского вооружения. Если производство одного снаряда для пушки сравнительно недорогая, в отношении целой страны, задача, то обеспечение хотя бы нескольких десятков секунд стрельбы орудия со скорострельностью, достигающей сотню выстрелов в секунду, требует значительных материальных вложений, а эффект от этой стрельбы может быть не больше, чем эффект от запуска одной-двух ракет. В этом смысле следует отметить, что использование ствольной артиллерии становится целесообразным лишь в условиях действительной невозможности или неэффективности использования ракетной артиллерии.

Рассмотрим основные моменты, препятствующие ракетному нападению на корабль противника. Причем не будем рассматривать такие случаи, когда это ракетное нападение может быть массированным, например, при атаке крупного корабля, несущего ракетное вооружение, на аналогично крупный или очень крупный корабль противника, когда вся экономика отставляется в сторону и главной задачей становится именно поражение, уничтожение противника. Пусть речь идет об атаке на современный корабль противника среднего размера. Корабль, водоизмещением около 1000 тонн, перемещающийся с большой скоростью и несущий адекватное вооружение, в том числе противоракетное. Рассмотрим то, что может помешать эффективности ракетного залпа:

- Ракета требует как первичного, так и текущего наведения. Важным препятствием к использованию ракетного вооружения становится несостоятельность одного или нескольких каналов наведения. Так, несостоятельность телеоптического канала наведения может случиться в ночное время, при неблагоприятных погодных условиях (туман, снег и т.д.), при активном использовании противником дымовых завес, и при дальностях, не обеспечивающих эффективную различимость замаскированного корабля противника и визуального отличия его от водной поверхности.
- Расстояния боестолкновения, составляющие примерно 7-13 км. Именно на таких расстояниях возможно поражение корабля противника и артиллерийским и артиллерийским ракетным огнем. Ракетный выстрел способен поразить корабль и на больших расстояниях, однако в условиях активного противодействия эти параметры нивелируются, и на любых расстояниях противник может активно противодействовать ракетному нападению.
- Радиолокационный канал является самым эффективным, в связи с большой скоростью света. Однако системы противодействия радиолокационному поражению, включающему как пассивные системы с использованием слабо отражающих поверхностей, так и активные системы, основанные на постановке активных помех, в значительной степени осложняют задачу эффективного наведения ракетного огня.
- В последние годы десятилетия значительное развитие получили системы противоракетного огня. В первую очередь это противоракеты, способные поразить крупные крылатые объекты, посланные для уничтожения противника, и ствольная артиллерия, которая призвана уничтожать малые цели, летящие по не баллистическим траекториям. Современные системы зенитного огня, способны на некоторое время обеспечить сплошной осколочный заслон препятствующий подлету к кораблю любых объектов посланных противником. Ограничением к применению таких систем также является ночное время, когда невозможно использование

телеоптического канала наведения такого огня, либо использование противником ракетных средств резко меняющих свое направление движения и появляющихся у цели с совершенно неожиданных направлений.

В любом случае следует отметить, что развитие ракетного вооружения и противоракетного вооружения находится в паритетном равновесии и использование ракетного огня в современном боестолкновении с равноценным противником может оказаться как весьма эффективным, так и весьма проблематичным. В этой связи следует выделить задачу, которая способна эффективно решаться ствольной артиллерией и является весьма востребованной в современном боестолкновении. Возможно, речь и не идет о глобальных войнах, когда смысл использования малых кораблей против малых кораблей будет затерян среди более серьезных боестолкновений крупных морских объектов, но в ряде современных локальных конфликтов возможность обуздания высокоскоростных малых и средних кораблей противников остается весьма актуальной. В этой связи становится актуальной задача создания особо высокоскоростных артиллерийских систем калибра 57 мм (возможно на калибр меньше, т.е. калибр 37 мм и 45 мм и, возможно, на калибр больше, т.е. 76 мм). Это артиллерийское вооружение должно быть эффективно на дальностях до 10-12 км. И должно обладать настолько значительной разрушительной силой, точностью стрельбы, скорострельностью и мощностью залпа, чтобы нанести существенный урон кораблю противника водоизмещением около 1000 т. Вот эта задача и является основной рассматриваемой в дипломе. И эта задача, по контрагитационным случаям взаимодействия с офицерами морского флота, является действительно актуальной.

На данный момент такое вооружение существует, оно также вынесено в приложение и активно развивается. Артиллерия подобного калибра при качественном наведении способна обеспечить поражение движущегося с большой скоростью объекта противника на расстоянии до 10 км,

одновременным попаданием нескольких десятков снарядов калибром 57 мм. Следует отметить, что плавучести корабля такие попадания угрожают незначительно, если, конечно, они не приводят к таким неприятным последствиям, как взрыв боезапаса, повреждение топливных систем, либо особо массированному попаданию, при котором корабль противника оказывается просто разрезанным пополам. Учитывая, что подавляющее большинство кораблей флотов различных стран указанного характера вообще не имеют сплошного бронирования. Подобное вооружение при умелом использовании способно вывести из строя основные энергетические, радиотехнические и другие обеспечивающие объекты корабля противника и нанести заметный урон экипажу.

Естественно, что большинство методов активного противодействия ракетному огню применимо и в случае использования пушечного вооружения. С той лишь разницей, что для пушечного вооружения телеоптический канал наведения является приоритетным, и при его отсутствии наведение даже скорострельной пушки с дальнейшим неуправляемым полетом снарядов становится проблематичным.

Итак, та система, которая анонсируется и разрабатывается в дипломе, рассчитана на ведение активного артиллерийского огня именно при невозможности эффективного использования телеоптического канала управления артиллерийским огнем. В этих условиях радиолокационный канал управления артиллерийским огнем, в работе которого мог наблюдаться существенный сбой, провал и временные выпадения, из-за использования противником активных средств противодействия, должен быть дополнен еще одним каналом наведения, в значительной степени свободным от тех помех, которые может выставить противник, в том числе и в условиях его неосведомленности о наличии у нападающей стороны подобного канала наведения. Этим третьим каналом наведения и может стать гидроакустический канал наведения. Работа гидроакустического канала

наведения связана с целым рядом особенностей, подробному рассмотрению которого будет посвящен следующий раздел диплома.

ВЫВОДЫ

Выполнен обзор и анализ исторического развития ствольной и ракетной артиллерии, а так же представлено обоснование актуальности скорострельного вооружения.

История корабельного артиллерийского вооружения начинается с последней четверти девятнадцатого века и продолжается, по сей день.

Именно с девятнадцатого века началось существенное разделение калибров, размеров артиллерийского вооружения по типу кораблей, таких как:

- броненосцы
- крейсера
- миноносцы и эскадренные миноносцы

Причины, которые предопределили тупиковость ветви тяжелого артиллерийского вооружения, и введение ракетного вооружения в строй:

- Сложность прицеливания(особенно в плохих условиях)
- Активное развитие ракетного вооружения в послевоенное время
- Большие массо-габаритные характеристики артиллерийских систем большой дальности.

Проведён обзор и анализ артиллерийского и ракетного вооружения, а так же их особенностей, различий и сходств.

Тем не менее актуальной является то, что вэтой связи становится актуальной задача создания особо высокоскоростных артиллерийских систем калибра 57 мм (возможно на калибр меньше, т.е. калибр 37 мм и 45 мм и, возможно, на калибр больше, т.е. 76 мм). Это артиллерийское вооружение должно быть эффективно на дальностях до 10-12 км. И должно обладать настолько значительной разрушительной силой, точностью стрельбы,

скорострельностью и мощностью залпа, чтобы нанести существенный урон кораблю противника водоизмещением около 1000 т. Вот эта задача и является основной рассматриваемой в дипломе. И эта задача, по контрагитационным случаям взаимодействия с офицерами морского флота, является действительно актуальной.

В этих условиях радиолокационный канал управления артиллерийским огнем, в работе которого мог наблюдаться существенный сбой, провал и временные выпадения, из-за использования противником активных средств противодействия, должен быть дополнен еще одним каналом наведения в значительной степени свободным от тех помех, которые может выставить противник, в том числе и в условиях его неосведомленности о наличии у нападающей стороны подобного канала наведения. Этим третьим каналом наведения и может стать гидроакустический канал наведения. Работа гидроакустического канала наведения связана с целым рядом особенностей, подробному рассмотрению которого будет посвящен следующий раздел диплома.

2. РАЗРАБОТКА ЭЛЕМЕНТОВ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ УСИЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ГИДРОЛОКАТОРА СИСТЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ

Одной из основных задач дипломной работы является разработка структурно-функциональной схемы гидроакустического канала наведения высокоточного орудия.

В современных системах, использующих активную дальнюю гидролокацию, алгоритмы функционирования достаточно хорошо отработаны. Тем не менее, нельзя не отметить решаемые нами задачи и их особенности:

- Во-первых, проектируемая система должна быть способна определить координаты весьма малоразмерных целей (эквивалентный радиус корабля порядка 5-10 метров).
- Во-вторых, эти цели могут быть весьма быстроходные, до 20..30 м/с и более. Основное расстояние активного взаимодействия с целью изменяется от критически малого (600...800м), при котором ничто не может гарантировать сохранность нашего корабля в условиях противодействия противника, до предельных (10 км и более), когда не только артиллерийский огонь ствольной артиллерии калибра 57 мм становится малоэффективным даже при хорошем наведении, но и весь спектр средств определения направления стрельбы уже не дает результата, обеспечивающего гарантированное попадание.

Отметим ряд технических решений:

- ГАС должна быть активной. Пассивные станции не обеспечивают достоверного определения координат малозумных быстро движущихся целей, а также целей, применяющих постановку активных целей.
- По целому ряду причин должен применяться импульсный режим гидролокации:

- Во-первых, потому что одновременно с излучающим трактом работает приемный тракт и на время излучения зондирующего импульса его нужно запереть.
- Во-вторых, в связи с длительным (до 13..14 секунд) временем путешествия импульса до цели и обратно требуется четкая временная идентификация зондирующего сигнала, что проще реализовать в импульсном режиме, когда каждый импульс в посылке идентифицируем.
- И передающий, и приемный тракт должны строиться по принципу ФАР для обеспечения эффективного наведения диаграмм направленности антенн на цель.

В соответствии с заданием на комплексный дипломный проект, была разработана структурная схема гидроакустического канала системы наведения:



Рис. 2.1 - Структурная схема устройства системы наведения гидроакустического канала.

В соответствии целевой установкой работы основное внимание в исследованиях уделено генераторному устройству.

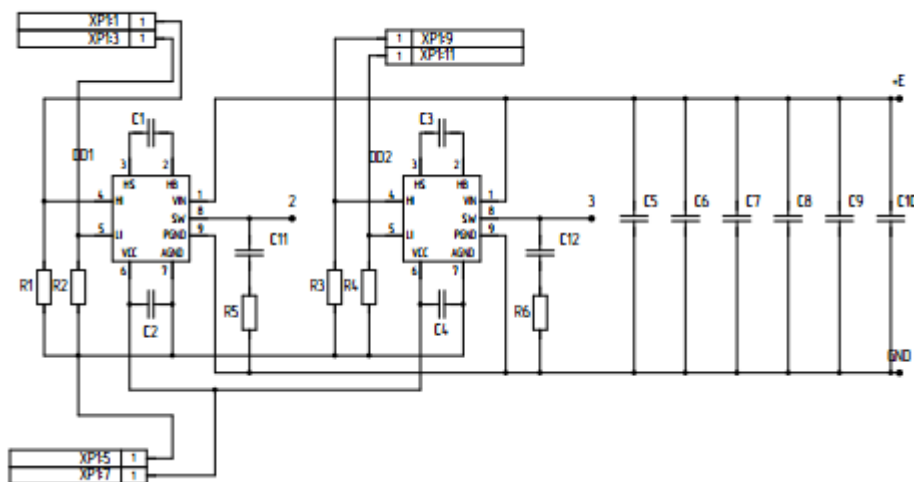


Рис. 2.2 –Принципиальная схема канала генератора.

Любая акустическая система, не основанная на пьезоэлектрическом преобразовании, имеет очень большое преимущество. Основной моторной силой, которая приводит диафрагму излучателя в движение, является катушка, и сопротивление медной проволоки в конечной итоговой схеме замещения нагрузки оказывается активным омическим сопротивлением соединенным последовательно со всей системой. Это радикально улучшает условия работы и усилитель на такие системы работает очень и очень хорошо.

В наших же системах пьезоэлектрического типа этого резистора нет, и непосредственно к усилителю подключается емкость преобразователя. Емкость преобразователя - это совершенно бесполезное устройство, которое лишь гоняет реактивные токи, бесполезным образом нагружает усилитель и никак не связано с излучением сигнала в пространство (это дает нам активное сопротивление). Именно этот факт говорит о том, что ни при каких условиях не удастся использовать обычные усилители в режимах линейного типа, то есть в режимах: А, В, G. Эти усилители не работают на емкостную нагрузку, попросту говоря их коэффициент полезного действия оказывается не только низким, но и уменьшающимся с падением уровня излучаемого

сигнала. Последние попытки использовать линейные усилители для гидроакустики состоялись в восьмидесятые годы прошлого столетия и были неудачными. После этого в гидроакустике целиком началась эра усилителей класса D (усилителей с импульсным преобразованием).

Почему усилители класса D обладают радикальными преимуществами перед усилителями обычного типа? К рассмотрению этого вопроса можно подойти с разных сторон, но для понимания можно сказать, что усилители обычного типа представляют собой генератор тока и этот ток протекает одновременно через активный прибор и нагрузку. То напряжение, что падает при этом на активном приборе – это наши потери, связанные с принципом усиления, а то, что падает на нагрузке – наша полезная мощность. Если провести анализ усилителей класса A на синусоидальном токе, мы убедимся, что потери примерно равны полезной мощности, он имеет коэффициент полезного действия примерно 50%. Если усилитель усиливает половину синусоидального сигнала, класс B, то коэффициент полезного действия равен 78%. Рост КПД наблюдается при дальнейшем приближении уже несинусоидального усиливаемого сигнала к форме питающего напряжения. Это приближение позволяет поднять КПД, но лишь в том случае, если не возникает сдвига фаз между напряжением и током на нагрузке. А как только нагрузка становится реактивной, возникает сдвиг фаз, и вся эта система разрушается. Поэтому усилители в обычных режимах не имеют высокого КПД. Не только уменьшается коэффициент полезного действия, но и резко возрастают потери.

Усилитель класса D имеет высокий КПД. В нем нет места, где могут выделяться мощности. Транзистор либо открыт, либо закрыт и потерь в нем нет, остальные компоненты этого усилителя реактивные, в них тоже потерь быть не может. Реактивные протекающие токи несут энергию, которая в усилителях класса D, в отличие от усилителей обычного типа, способна возвращаться в источник питания. Если реактивная система усилителя и нагрузки потребляет энергию, энергия идет туда, а если в силу реактивных

свойств она эту энергию отдает, то эта энергия не рассеивается на транзисторе, а возвращается на источник. Оба объяснения идентичны. Они никак не дополняют друг друга, но и никак не противоречат. В результате мы имеем налицо факт: коэффициент полезного действия усилителей класса D высок и при работе на реактивную нагрузку он падает незначительно. Более того, выделяемые при этом мощности, не связанные с излучением сигнала, оказываются невелики. Поэтому выбор проводится в сторону усилителей с импульсным преобразованием.

Учитывая тот факт, что частота сигнала ограничена полосой в 10-20 кГц, то итоговая тактовая частота коммутации ключей должна быть в районе 200 кГц, что никак не пугает разработчиков. Уже даже при четырехканальном усилении эта частота упадет в 4 раза и составит около 50 кГц. Опыт работы с мощными усилителями для режима локации подводных лодок говорит, что на 50 кГц современная техника работает уверенно. Более того, она работает уверенно на 50 кГц, если питается от бортовой сети напряжением 550 В. Однако складывается впечатление, что при мощностях сравнительно небольших нет смысла питаться от сети в 550 В, то есть от выпрямленной трехфазной сети по той причине, что коммутационные потери в транзисторах даже сравнительно небольшой мощности на этих напряжениях могут быть достаточно велики, и при мощности в 500 Вт самого усилителя они могут составить достаточно большую долю. Поэтому складывается впечатление, что нужно уменьшить напряжение питания и использовать другие сети, например 80 В или 100 В, в зависимости от того, какой активный прибор мы выберем для нашей работы. Конечно, при этом получается еще одно звено преобразования.

Единственной сетью нашего корабля является трехфазная сеть 380 В 50 Гц. В отличие от подводной лодки несложно поставить преобразователи, которые могут из сети 380 В 50 Гц делать другую сеть. Эти преобразователи выходят за пределы нашей дипломной работы, но будем считать, что они существуют, это вопрос решенный. Например, на надводном корабле никто

не мешает поставить электромашинный преобразователь, то есть основная сеть будет вращать генератор, а генератор будет вырабатывать напряжение другой сети, например постоянное напряжение 60 В, которое впоследствии можно отфильтровать и стабилизировать. Имея в виду этот факт, целесообразно строить наши усилители на сверхновом классе преобразовательных устройств - на нитрид-галлиевых транзисторах. До недавнего времени преимущества силовых транзисторов на нитриде галлия перед кремниевыми было невозможно реализовать на практике из-за того, что в обычных условиях они являются нормально-открытыми. Благодаря разработанной компанией EPC технологии производства нитрид-галлиевой ячейки стало возможным наладить выпуск нормально-закрытых изделий. На рисунке 2.3 представлена мостовая схема усилителя.

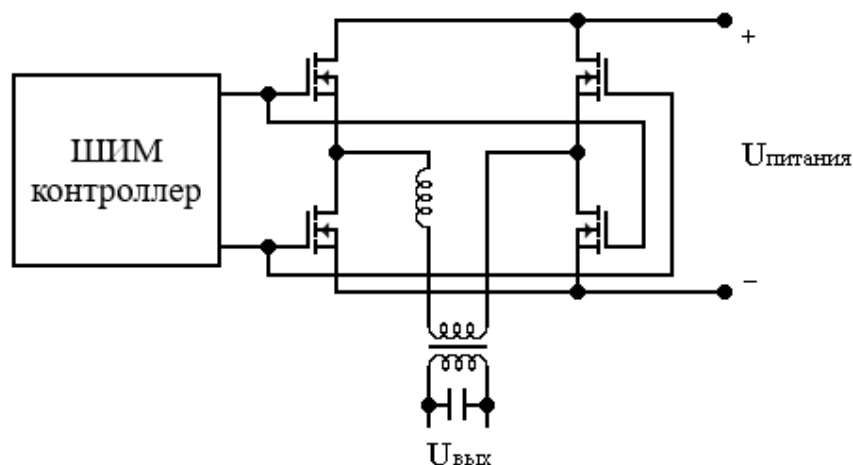


Рисунок 2.3 – мостовая схема усиления на нитрид-галлиевых транзисторах

Мостовые схемы преобразователей применяют при повышенных напряжениях первичного источника. Их КПД при преобразовании малых напряжений не высок, так как последовательно с первичной обмоткой трансформатора включены два Транзистора. Схемы преобразователей с независимым возбуждением применяют при мощности преобразования 30...50 Вт и выше. При выходной мощности до 100 Вт преобразователь строят по двухкаскадной схеме. При мощности в несколько сотен ватт и выше применяют схемы с промежуточным усилителем мощности.

Нитрид-галлиевые транзисторы появились как достойное продолжение кремниевых и арсенид-галлиевых транзисторов и обладают рядом серьезных преимуществ. В первую очередь - это высоко компактные сильно токовые приборы, которые позволяют в очень небольших объемах концентрировать большие преобразующие мощности. Остаточные сопротивления очень малы и соизмеримы с лучшими образцами кремниевых приборов, но по сравнению с кремниевыми приборами нитрид-галлиевые имеют одно колоссальное преимущество: их поразительный антипараллельный диод имеет очень высокое качество. Напомним, что в классе кремниевых диодов, как бы мы не старались сделать транзистор, в его структуре паразитным образом получается антипараллельный диод, то есть диод, который включен катодом к стоку транзистора, анодом к истоку. Если бы этот диод имел высокое качество, он был бы незаменим для транзисторов, однако это не так, он очень медленный. Только в самых последних, самых лучших классах низковольтных кремниевых транзисторов этот диод оказывается приемлемого качества; в высоковольтных транзисторах этот диод оказывается неплохого качества; в карбид-кремниевых транзисторах научились ставить параллельно ему высококачественный карбид-кремниевый диод, который перехватывает до 95% токов этого диода. Одно очевидно: в нитрид-галлиевых транзисторах этой проблемы нет.

Следовательно, никакой структурной сложности при обходе этой проблемы не возникает и сам по себе нитрид-галлиевый транзистор позволяет решать вопросы усиления весьма эффективным образом. Современные нитрид-галлиевые транзисторы, позволяющие работать при напряжении 80 В (имеют примерно 100-150 В максимального напряжения) способны коммутировать токи до 20-25 А и имеют размеры не больше спичечной головки. Это, как правило, без корпусные транзисторы. Таким образом, если мы будем строить наш усилитель по двухканальной мостовой схеме преобразования, то совершенно не представляет труда разместить все его активные части на пространстве, представляющем собой прямоугольник

размером 20 на 30 мм. Дальнейшая задача миниатюризации усилителя сведется к тому, что необходимые реактивные элементы (фильтрующие дроссели и трансформаторы) придется так же сделать небольшого размера.

Для уменьшения размеров дросселя целесообразно, используя нитрид-галлиевые транзисторы, поднять частоту коммутации, что возможно для них, до примерно 200-250 кГц на канал, тогда итоговая полоса в двухканальной схеме составит примерно 500 кГц и дроссель, который потребуется – это дроссель фильтра на частоту 40-50 кГц. Такой дроссель окажется соизмеримым по размеру с нашей платой усиления, то есть будет очень небольшим.

Если учитывать небольшую частоту усиления и использовать современные материалы, то можно будет сделать примерно такого же размера трансформатор.

Таким образом, задача размещения всей усилительной системы в пределах одного прибора окажется вполне разрешимой. Единичный усилитель - это мостовая схема усиления на четырех транзисторах, займет она примерно 50-100 кубических сантиметров пространства. Сколько таких усилителей получится разместить в приборе – столько каналов усиления мы получим. Для современной отечественной техники усиления высоких мощностей и частот это новая задача, и на нитрид-галлиевых транзисторах она никогда не выполнялась.

В качестве готового решения предлагается использовать микросхемы компании TexasInstrumentsнаименованием LMG5200.TexasInstuments – один из крупнейших производителей электроники и электронных компонентов в мире.LMG5200 – силовой компактный модуль, объединяющий в одном корпусе драйвер и GaN-полумост.Транзисторная сборка LMG5200 содержит 2 нитрид-галлиевых транзисторов сопротивлением канала 15 мОм, максимальным напряжением 100 В и током 10 А. Кроме того она включает в себя драйверы верхнего и нижнего транзисторов с защитой от переключения при низких сервисном и силовом напряжениях питания, а так же с защитой

от повышенного сервисного напряжения питания, позволяющие работать на частотах до 10 МГц. Микросхема представляет собой полумостовой ключевой усилитель мощности, поэтому необходимо использовать 2 сборки для формирования полноценного мостового КУМ. Наилучшие показатели транзисторная сборка демонстрирует при работе на высоких частотах.[3]

Области применения модулей LMG5200 не ограничены понижающими преобразователями напряжения. Они могут использоваться в усилителях мощности класса D, в источниках питания для промышленности и телекоммуникаций и т. д.

На рисунке 2.4 показана функциональная блок-схема устройства LMG5200 со встроенным GaN

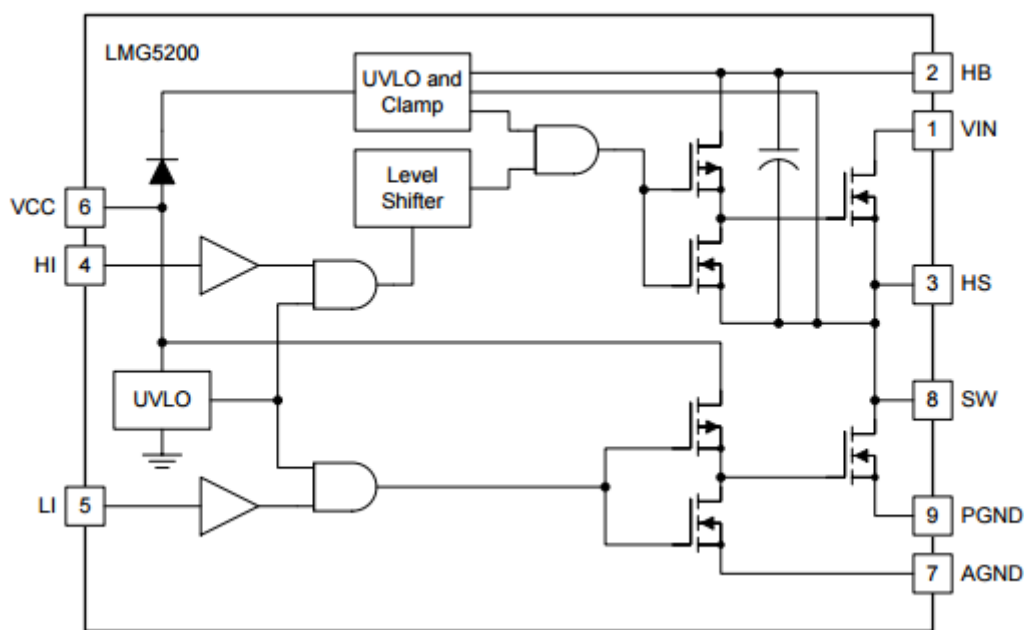


Рисунок 2.4 –Функциональная блок-схема устройства LMG5200

Описание функции устройства LMG5200 облегчает проектирование плат высокой плотности мощности без необходимости не дополнения. Поддержание требований к ползучести и разминированию. Задержки распространения между драйвером ворот высокой скорости. И драйвер ворот с низкой стороны согласованы, чтобы обеспечить очень жесткий контроль мертвого времени. Контроль мертвого времени является критическим. В приложениях на основе GaN для поддержания высокой эффективности. HI и LI могут управляться независимо, чтобы минимизировать. Третья

квадрантная проводимость низковольтного полевого транзистора для преобразователей с плавным переключением. Очень небольшое распространение. Несоответствие между HI и LI драйверам как для падения, так и для повышения пороговых значений гарантирует мертвые времена <10 нс. Совместная упаковка полумоста GaN FET с драйвером обеспечивает минимизацию общей индуктивности источника. Эта минимизированная индуктивность оказывает значительное влияние на топологии с жесткой коммутацией.

Встроенная схема бутстрапа с зажимным устройством предотвращает превышение привода затвора с большой стороны от полевых транзисторов GaN. Максимальное напряжение затвора к источнику (V_{gs}) без каких-либо дополнительных внешних схем. Встроенный драйвер имеет блокировку минимального напряжения (UVLO) на рельсах VDD и бутстрапа (HB-HS). Когда напряжение ниже UVLO.

Пороговое напряжение, устройство игнорирует как сигналы HI, так и LI для предотвращения частичного отключения полевых транзисторов GaN включенный. Ниже UVLO, если имеется достаточное напряжение ($V_{VCC} > 2,5$ В), водитель активно тянет верхнюю сторону и низкий выход драйвера ворот. Пороговый гистерезис UVLO 200 мВ предотвращает вибрацию и нежелательные поворотов из-за пиков напряжения. Используйте внешний байпасный конденсатор VCC со значением 0,1 мкФ или выше. TI рекомендует размер 0402, чтобы свести к минимуму длину следа.

2.1 Фильтр низких частот

Напомню, что ключевой усилитель имеет на выходе сигнал в виде импульсной последовательности, и преобразование его в исходный усиленный сигнал возможно путем низкочастотной фильтрации, т.е. на выходе усилителя должен быть расположен фильтр нижних частот, состоящий из последовательного дросселя и параллельного нагрузке конденсатора. Частота среза этого фильтра выбирается примерно в два раза более высокая, нежели наивысшая частота исследуемого сигнала. В нашем случае усиливаемый сигнал имеет максимальную частоту 20 кГц, соответственно частота среза фильтра нижних частот выбирается где-то в районе 40 кГц. Нужен индуктивный элемент, который эффективно работает

на частотах до 20 кГц и обеспечивает работу такого фильтра. Предварительный анализ этого индуктивного элемента показывает, что индуктивность в нашем случае должна составлять единицы мкГн. Этот расчет с точными цифрами будет представлен далее. Учитывая, что фильтр стоит до трансформатора, также нужно рассчитать ток, на который будет рассчитан этот фильтр. Учитывая, что напряжение на выходе нашего усилителя составляет примерно 60В и определяется напряжением электропитания сборок на нитриде галлия, который мы приняли как основной материал для изготовления ключей нашего усилителя, и мощность канала составляет порядка 500 вольт-ампер, следовательно можно ожидать, что через наш фильтр потечет ток примерно равный 8 А. Ток 8 А и индуктивность порядка единиц мкГн дают основание представлять, что дроссель фильтра будет иметь сравнительно небольшие габариты. Опыт показывает, что он будет составлять порядка 50 кубических сантиметров. Может быть и меньше. Для примера аналогичный дроссель, который был применен в одних из первых наиболее эффективных усилителях - это дроссель системы усиления Рубикон. Он имел индуктивность порядка 25 мкГн при токах порядка 40 ампер. Этот дроссель был сделан на кольце из материала KoolMμ проницаемостью 30 и диаметром 40 мм. В нашем случае мы имеем гораздо более мягкие условия, индуктивность и ток значительно меньше, следовательно, нужно иметь в виду, что такой дроссель может быть выполнен на небольшом магнитопроводе.

В качестве магнитного материала был выбран молибден-пермаллой. Порошковый молибденовый пермаллой – это семейство порошковых материалов, предназначенных для изготовления магнитопроводов и других электронных изделий. Сердечники изготавливаются методом прессования порошка из сплава оксида железа 17%, 2% молибдена, 81% никеля. Мелкодисперсные частицы магнитного сплава диаметром от 5 до 200 мкм, покрытых слоем от 0.1 до 3 мкм полимерного диэлектрического материала, прессуют под давлением около 2 МПа. Выбор был сделан в пользу

молибденового пермаллоя, так как это – наилучший материал для фильтров звуковой частоты, среднечастотных низкоуровневых резонансных контуров и сглаживающих дросселей в импульсных источниках питания.

Особенностью работы трансформатора является то, что он работает не на постоянном по амплитуде сигнале. Амплитуда сигнала растет с ростом частоты. Это принципиально меняет подход к расчету трансформатора в той части, в которой это касается выбора магнитного материала. Если традиционно при сигналах, не меняющихся по амплитуде с частотой, расчет трансформатора ведется исходя из того, что потери в магнитопроводе являются максимальными на минимальной частоте, а дальше уменьшаются в связи с падением индукции в материале, в данном случае этого не происходит. Учитывая, что с ростом частоты амплитуда сигнала растет, соответственно и индукция в магнитопроводе будет оставаться постоянной. В этом случае необходимо потери в магнитопроводе рассчитывать исходя не из нижней, а из верхней частоты частотного диапазона. На нижней частоте они будут уменьшаться. Следовательно, к магнитопроводу предъявляются повышенные требования для работы на повышенных частотах, и выбор в данном случае магнитопровода может быть произведен исходя из нескольких магнитных материалов. Учитывая, что это должны быть материалы с достаточно высокой магнитной проницаемостью, это могут быть:

- Ферриты. Частоты порядка 10-20 кГц являются для них характерными. Они вполне могут иметь индукции в районе 0.3-0.4 Тл.
- Аморфные материалы.
- Нанокристаллические материалы.

Какие из них лучше? Скорее всего, нанокристаллические, потому что удельные потери у них меньше. В дипломе будет приведен сравнительный анализ расчета трансформатора на высококачественном феррите и высококачественном нанокристаллическом материале и будет доказано, что потери в магнитопроводе оказываются меньше именно в нанокристаллическом материале.

Раньше в трансформаторах на рассматриваемых частотах активно применялась электротехническая сталь. Потери в магнитопроводе из стали окажутся радикально больше и хуже, чем в магнитопроводе из нанокристаллического материала. Стальные сердечники могли бы оказаться предпочтительными, если бы частотный диапазон лежал значительно ниже, например, на частотах от 200 до 250 Гц. Это связано с тем, что предельная индукция в стали составляет 1.8-2.2 Тл и на самой нижней границе можно было бы позволить себе иметь такие большие индукции. Наша система другая. По результатам расчета трансформатор тоже окажется соизмерим по размерам с дросселем, и также окажется достаточно маленьким, миниатюрным, порядка 30-35 кубических сантиметров в сумме. Вероятно, было бы правильнее трансформатор, в отличие от дросселя, наматывать не на кольцевом сердечнике, а на сердечнике более сложной формы. Учитывая то, что количество витков в нем может оказаться больше, возможно понадобится намотка с помощью ленты. Однако целесообразно подумать о том, чтобы и трансформатор, и дроссель выполнялись на одном и том же магнитопроводе. В случае трансформатора это может быть магнитопровод не из разрезного материала, в отличие от дросселя, но в любом случае это вопрос оптимизации. Замечу, что выбор и оптимизация магнитных элементов является одним из важнейших разделов нашей ВКР, равно как и в реальной ситуации, при реальном проектировании подобных устройств электромагнитные компоненты несут очень большую смысловую, физическую и технологическую нагрузку. От того, насколько удачными окажутся эти элементы, в значительной степени зависят не только массогабаритные показатели, но и надежность и энергетические характеристики устройства в целом. Коэффициент полезного действия электромагнитных компонентов должен иметь точкой стремления величину, существенно превышающую 99%, чтобы никак не сказываться на коэффициенте полезного действия всей системы в целом. Этого удастся достигнуть, учитывая то, что наш частотный диапазон достаточно высок. На

частотах выше 10 кГц КПД электромагнитных компонентов действительно может быть настолько велик.

2.2. Мощностные характеристики приемо-передающего тракта

Наша система состоит из достаточно большого количества генераторов, которые обеспечивают возбуждение пьезокерамических преобразователей, составляющих фазированную акустическую антенную решетку. Общее количество преобразователей, работающих в этой решетке, соответственно и общее количество усилителей, составляет 144 единицы. Мощность в канале будет составлять порядка $500\text{В} \cdot \text{А}$.

Следует различать ватты и вольт-амперы. Ватты – излучаемая мощность, а вольт-амперы – подводимая мощность. Разница в следующем:

- Подводимая мощность равна произведению вольт, приложенных к преобразователю на амперы, которые текут в преобразователе:

$$P_{\text{подводимая}} = U \cdot I$$

- Мощность, которая составляет с учетом коэффициента полезного действия мощность, передаваемую акустической среде, получается из этого произведения тока на напряжение и косинус φ между ними.

$$P_{\text{излучаемая}} = U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

Учитывая, что пьезокерамическая нагрузка имеет существенно емкостный характер, как правило, $\cos \varphi \leq 0.3 \dots 0.4$. Тем не менее, будем считать, что подводимая мощность составляет порядка нескольких сотен вольт-ампер.

Следующий момент, который мы должны учесть при анализе мощностных характеристик - это то, что наша система является системой средне-широкополосной. Мы договорились, что диапазон рабочих частот лежит в пределах от 10 до 20 кГц. Напомню, что частотный диапазон получился из-за того, что мы каким-то образом должны идентифицировать

наш излучаемый импульс. Мы будем идентифицировать эти излучаемые импульсы путем введения частотной модуляции в каждом импульсе, причем частотная модуляция будет сугубо определенная, не сложная по характеру, но такая, чтобы было примерно несколько сотен вариантов, чтобы идентификатор на приемном конце четко мог выяснить, что за импульс мы приняли. Эта частотная модуляция будет лежать в пределах от 10 до 20 кГц.

Учитывая, что сигнал в воде распространяется с существенным увеличением затухания при повышении частоты, сигналы с частотой 10 кГц будут распространяться гораздо эффективнее, чем сигналы с частотой 20 кГц, поэтому одновременно с наличием частотной модуляции, потребуется амплитудная модуляция. Параметры амплитудной модуляции следующие - примерно в 1.7 раз по напряжению, при переходе от частоты 10 кГц к частоте 20 кГц; либо в 3 раза по подводимой мощности. Таким образом, на частоте 10 кГц мы будем иметь примерно 200 Ватт акустической мощности, а на частоте 20 кГц мы должны излучать примерно 600 Ватт, в том случае, если АЧХ преобразователя оказывается плоской. Для упрощения будем считать, что АЧХ преобразователя действительно является плоской, то есть будем считать, что импедансные характеристики преобразователя при октавном изменении частоты в два раза не меняются.

Следующее допущение, которое мы примем – компенсация реактивной составляющей нагрузки не требуется. Иными словами, как пьезокерамический преобразователь имеет емкостную составляющую, так усилитель и будет чувствовать емкостную составляющую. В ряде случаев, когда эта емкостная составляющая становится слишком большой, а диапазон сигнала оказывается маленьким, например при работе на фиксированной частоте, оказывается целесообразным погасить емкостную составляющую параллельным присоединением к ней индуктивности, которая образует с емкостью параллельный колебательный контур и емкостные токи замыкаются через индуктивность. В нашем случае это делать нецелесообразно:

- Во-первых, имеется целый диапазон частот. Во всем диапазоне не получится скомпенсировать емкостную составляющую.
- Во-вторых, потому, что существуют преобразователи, у которых характер импедансных характеристик не сильно меняется в рассматриваемом нами диапазоне частот.

Так или иначе, эта задача будет вынесена за рамки нашей дипломной работы.

Учитывая эти особенности, полезно перейти к разделу, где разрабатываются электромагнитные компоненты для нашей системы, а именно дроссели фильтрации для ключевых усилителей и трансформаторы, которые обеспечивают гальваническую развязку и согласование с нагрузкой.

ВЫВОДЫ

Усилитель решено строить по мостовой схеме усиления. Его особенностью является использование нитрид-галлиевых транзисторов, что позволяет уменьшить габариты схемы, повысить частоты коммутации и КПД. В качестве готового решения предлагается использовать силовую сборку компании TexasInstrument под названием LMG5200. Передающий тракт, несмотря на широкий частотный диапазон и высокую частоту излучения, обеспечивает высокую направленность и достаточную мощность излучения. Энергетическая дальность излучения достигает 10 км на частоте 10 кГц и 8 км на частотах, близких к 20 кГц.

Усилитель акустического луча обладает достаточно маленькими габаритами, что являлось самой приоритетной задачей при проектировании. В качестве готового решения предлагается использовать транзисторные сборки компании TexasInstrumentsнаименованием LMG5200 на нитрид-галлиевых транзисторах, представляющие собой полумостовые КУМ.

На выходе ключевых усилителей используются дроссель фильтрации и повышающий трансформатор. Их габариты соизмеримы с размерами платы усиления, а высокий коэффициент полезного действия обусловлен низкими

потерями в выбранных материалах. Вследствие больших подводимых мощностей КПД рассчитанных электромагнитных компонентов должен быть значительно выше 99%.

3. РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ УСИЛИТЕЛЯ ГИДРОЛОКАТОРА

3.1. Расчет дросселя

Напомним, что ключевой усилитель имеет на выходе сигнал в виде импульсной последовательности, и преобразование его в исходный усиленный сигнал возможно путем низкочастотной фильтрации, т.е. на выходе усилителя должен быть расположен фильтр нижних частот, состоящий из последовательного дросселя и параллельного нагрузке конденсатора. Частота среза этого фильтра выбирается примерно в два раза более высокая, нежели наивысшая частота исследуемого сигнала. В нашем случае усиливаемый сигнал имеет максимальную частоту 20 кГц, соответственно частота среза фильтра нижних частот выбирается где-то в районе 40 кГц. Нужен индуктивный элемент, который эффективно работает на частотах до 20 кГц и обеспечивает работу такого фильтра. Предварительный анализ этого индуктивного элемента показывает, что индуктивность в нашем случае должна составлять единицы мкГн. Этот расчет с точными цифрами будет представлен далее. Учитывая, что фильтр стоит до трансформатора, также нужно рассчитать ток, на который будет рассчитан этот фильтр. Учитывая, что напряжение на выходе нашего усилителя составляет примерно 60В и определяется напряжением электропитания сборок на нитриде галлия, который мы приняли как основной материал для изготовления ключей нашего усилителя, и мощность канала составляет порядка 500 вольт-ампер, следовательно можно ожидать, что через наш фильтр потечет ток примерно равный 8 А. Ток 8 А и индуктивность порядка единиц мкГн дают основание представлять, что дроссель фильтра будет иметь сравнительно небольшие габариты. Опыт показывает, что он будет составлять порядка 50 кубических сантиметров. Может быть и меньше. Для примера аналогичный дроссель, который был применен в одних из первых наиболее эффективных усилителях - это дроссель системы усиления Рубикон. Он имел индуктивность порядка 25 мкГн при токах порядка 40 ампер. Этот дроссель был сделан на кольце из материала KoolMμ проницаемостью 30 и диаметром 40 мм. В нашем случае мы имеем гораздо более мягкие условия, индуктивность и ток

значительно меньше, следовательно, нужно иметь в виду, что такой дроссель может быть выполнен на небольшом магнитопроводе.

Расчет этого дросселя будет состоять из нескольких фрагментов:

- Выбор магнитного материала.
- Выбор габаритов исходя из потерь в магнитном материале и в дросселе.
- Простейший энергетический расчет дросселя и некоторые прикидки по его конструкционному исполнению.

В качестве магнитного материала был выбран молибден-пермаллой. Порошковый молибденовый пермаллой – это семейство порошковых материалов, предназначенных для изготовления магнитопроводов и других электронных изделий. Сердечники изготавливаются методом прессования порошка из сплава оксида железа 17%, 2% молибдена, 81% никеля. Мелкодисперсные частицы магнитного сплава диаметром от 5 до 200 мкм, покрытых слоем от 0.1 до 3 мкм полимерного диэлектрического материала, прессуют под давлением около 2 МПа. Выбор был сделан в пользу молибденового пермаллоя, так как это – наилучший материал для фильтров звуковой частоты, среднечастотных низкоуровневых резонансных контуров и сглаживающих дросселей в импульсных источниках питания.

Магнитопроводом будет выступать кольцо. Был выбран продукт фирмы CoreTech с наименованием DM46826. Габариты сердечника следующие:

- внешний диаметр кольца без покрытия, $A = 39.9 \text{ мм}$
- внутренний диаметр кольца без покрытия, $B = 24.1 \text{ мм}$.
- высота сердечника, $C = 14.5 \text{ мм}$.
- объем сердечника, $V = 11.51 \text{ см}^3$.
- площадь поперечного сечения магнитопровода, $S = 1.15 \text{ см}^2$.
- средняя длина магнитной линии, $l = 10.05 \text{ см}$.

Необходимо определить мощность потерь. На рисунке 3 приведен график зависимости мощности потерь от магнитной индукции.[2.3]

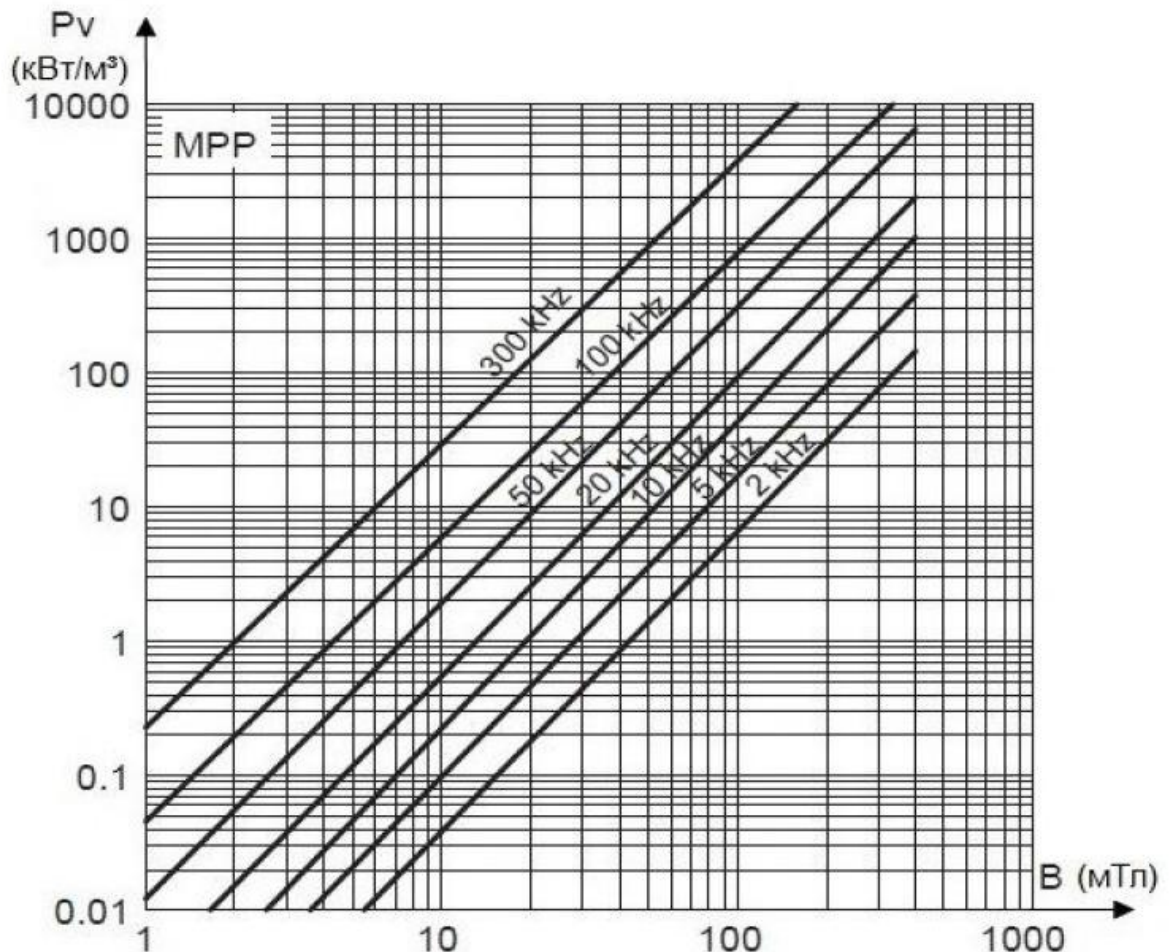


Рисунок 3 – график зависимости мощности потерь в материале

от магнитной индукции.

Проницаемость выбранного материала $\mu = 26$, индукция $B_{max} = 0.5$ Тл. Соответственно мощность потерь для магнитопровода нашего объема составит $P_{потерь} = 3000 \cdot 10^3 \cdot 11.51 \cdot 10^{-6} = 34$ Вт.

- Плотность тока $J = 5 \text{ A/mm}^2$.
- Коэффициент заполнения окна $K_z = 0.4$
- Индуктивность одного витка $A_L = 35 \text{ нГн}$.
- Площадь окна $S_W = \pi \cdot \left(\frac{B}{2}\right)^2 = 456,167 \text{ мм}^2$

Габаритная мощность дросселя должна превышать значение 2 кВт. С этой целью вычисляем максимальный ток через окно, а также напряжение одного витка:

- Максимальный ток через окно $I = S_W \cdot J \cdot K_z = 912 \text{ A}$.
- Напряжение одного витка $U = S \cdot B_{max} \cdot 2 \cdot f = 2.3 \text{ В}$.
- Габаритная мощность $P = U \cdot I = 2.1 \text{ кВт}$.

Для изготовления фильтра низких частот с частотой среза 40 кГц необходим дроссель индуктивностью 7 мкГн и конденсатор емкостью 1 мкФ. Вычислим необходимое количество витков:

$$N = \sqrt{\frac{L}{A_L}} = 14$$

Следующим магнитным элементом будет трансформатор.

3.2 Расчет трансформатора.

Особенностью работы трансформатора является то, что он работает не на постоянном по амплитуде сигнале. Амплитуда сигнала растет с ростом частоты. Это принципиально меняет подход к расчету трансформатора в той части, в которой это касается выбора магнитного материала. Если традиционно при сигналах, не меняющихся по амплитуде с частотой, расчет трансформатора ведется исходя из того, что потери в магнитопроводе являются максимальными на минимальной частоте, а дальше уменьшаются в связи с падением индукции в материале, в данном случае этого не происходит. Учитывая, что с ростом частоты амплитуда сигнала растет, соответственно и индукция в магнитопроводе будет оставаться постоянной. В этом случае необходимо потери в магнитопроводе рассчитывать исходя не из нижней, а из верхней частоты частотного диапазона. На нижней частоте они будут уменьшаться. Следовательно, к магнитопроводу предъявляются повышенные требования для работы на повышенных частотах, и выбор в данном случае магнитопровода может быть произведен исходя из нескольких магнитных материалов. Учитывая, что это должны быть материалы с достаточно высокой магнитной проницаемостью, это могут быть:

- Ферриты. Частоты порядка 10-20 кГц являются для них характерными. Они вполне могут иметь индукции в районе 0.3-0.4 Тл.
- Аморфные материалы.
- Нанокристаллические материалы.

Какие из них лучше? Скорее всего, нанокристаллические, потому что удельные потери у них меньше. В дипломе будет приведен сравнительный анализ расчета трансформатора на высококачественном феррите и высококачественном нанокристаллическом материале и будет доказано, что потери в магнитопроводе оказываются меньше именно в нанокристаллическом материале.

Раньше в трансформаторах на рассматриваемых частотах активно применялась электротехническая сталь. Потери в магнитопроводе из стали окажутся радикально больше и хуже, чем в магнитопроводе из нанокристаллического материала. Стальные сердечники могли бы оказаться предпочтительными, если бы частотный диапазон лежал значительно ниже, например, на частотах от 200 до 250 Гц. Это связано с тем, что предельная индукция в стали составляет 1.8-2.2 Тл и на самой нижней границе можно было бы позволить себе иметь такие большие индукции. Наша система другая. По результатам расчета трансформатор тоже окажется соизмерим по размерам с дросселем, и также окажется достаточно маленьким, миниатюрным, порядка 30-35 кубических сантиметров в сумме. Вероятно, было бы правильнее трансформатор, в отличие от дросселя, наматывать не на кольцевом сердечнике, а на сердечнике более сложной формы. Учитывая то, что количество витков в нем может оказаться больше, возможно понадобится намотка с помощью ленты. Однако целесообразно подумать о том, чтобы и трансформатор, и дроссель выполнялись на одном и том же магнитопроводе. В случае трансформатора это может быть магнитопровод не из разрезного материала, в отличие от дросселя, но в любом случае это вопрос оптимизации. Замечу, что выбор и

оптимизация магнитных элементов является одним из важнейших разделов нашей ВКР, равно как и в реальной ситуации, при реальном проектировании подобных устройств электромагнитные компоненты несут очень большую смысловую, физическую и технологическую нагрузку. От того, насколько удачными окажутся эти элементы, в значительной степени зависят не только массогабаритные показатели, но и надежность и энергетические характеристики устройства в целом. Коэффициент полезного действия электромагнитных компонентов должен иметь точкой стремления величину, существенно превышающую 99%, чтобы никаким образом не сказываться на коэффициенте полезного действия всей системы в целом. Этого удастся достигнуть, учитывая то, что наш частотный диапазон достаточно высок. На частотах выше 10 кГц КПД электромагнитных компонентов действительно может быть настолько велик.

Расчет трансформатора будет произведен для двух материалов – феррит N87 и нанокристаллический материал NANOPERM. В случае феррита был выбран кольцевой сердечник фирмы EPCOSB6429L0082. В случае нанокристаллического материала был выбран кольцевой сердечник фирмы MagnetecM-014.

Сердечник из феррита имеет следующие габариты:

- внешний диаметр кольца – $D = 50$ мм.
- внутренний диаметр кольца – $d = 30$ мм.
- высота – $h = 20$ мм.
- объем магнитопровода – $V = 23560$ мм³.
- площадь поперечного сечения магнитопровода - $S = 195.7$ мм². [2.3]

Определим мощность потерь феррита. На рисунке 3.1 представлен график зависимости мощности потерь в материале от частоты. [3] Индукция выбранного материала $B_{max} = 0.3$ Тл.

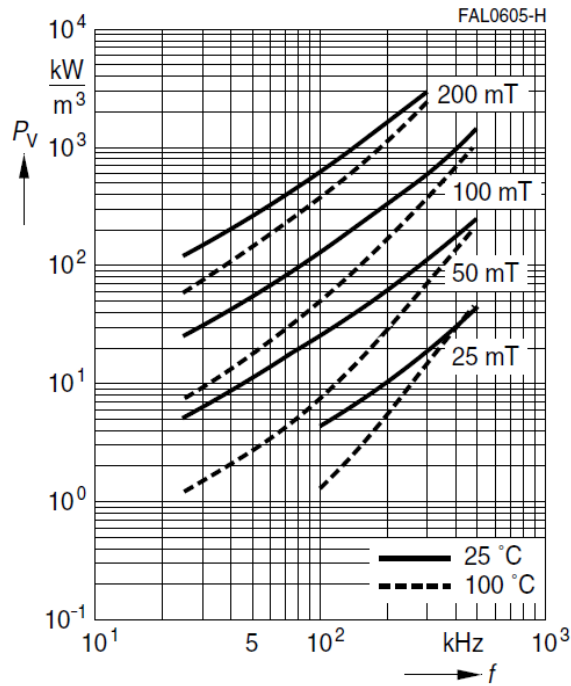


Рисунок 3.1 – зависимость мощности потерь в N87 от частоты.

Согласно рисунку на частоте 20 кГц мощность потерь составляет порядка 500 кВт/м^3 . Учитывая объем сердечника, мощность потерь составит $500 \text{ кВт/м}^3 \cdot 23560 \text{ мм}^3 \cong 11 \text{ Вт}$.

Рассчитаем площадь окна $S_w = \pi \cdot \left(\frac{d^2}{2}\right) = 706.85 \text{ мм}^2$.

Плотность тока $J = 5 \text{ А/мм}^2$.

Коэффициент заполнения окна $K_z = 0.3$

Индуктивность одного витка $A_L = 4460 \text{ нГн}$.

Габаритная мощность трансформатора должна превышать значение 2 кВт. С этой целью вычисляем максимальный ток через окно, а также напряжение одного витка:

- Максимальный ток через окно $I = S_w \cdot J \cdot K_z = 1060 \text{ А}$.
- Напряжение одного витка $U = S \cdot B_{max} \cdot 2 \cdot f = 2.3 \text{ В}$.
- Габаритная мощность $P = U \cdot I = 2.49 \text{ кВт}$.

Напряжение первичной обмотки трансформатора определяется выходным напряжением мостовой схемы усиления и при максимальной мощности составит 120 В. Тогда ток, протекающий в первичной обмотке трансформатора, составит порядка 16.6 А.. Нам необходим повышающий трансформатор с коэффициентом трансформации $K_T = 4$. В этом случае напряжение вторичной обмотки трансформатора составит $U_2 = U_1 \cdot K_T = 480$ В. Ток, протекающий во вторичной обмотке трансформатора, будет равен 4 А. Количество витков вторичной обмотки равно $N_2 = \frac{U_2}{U} \cdot k = 10$, где k —коэффициент умножения витков. Количество витков в первичной обмотке $N_1 = N_2 \cdot K_T = 40$

Рассчитаем трансформатор на сердечнике из материала NANOPERM.

Габаритные данные сердечника:

- внешний диаметр кольца – $D = 42.3$ мм.
- внутренний диаметр кольца – $d = 29.1$ мм.
- высота – $h = 17.3$ мм.
- объем магнитопровода – $V = 6785$ мм³.
- площадь поперечного сечения магнитопровода - $S = 0.6$ м². [3.1]

Определим мощность потерь NANOPERMa. На рисунке 3.2 представлен график зависимости мощности потерь в материале от частоты. [3.2] Индукция выбранного материала $B_{max} = 0.8$ Тл.

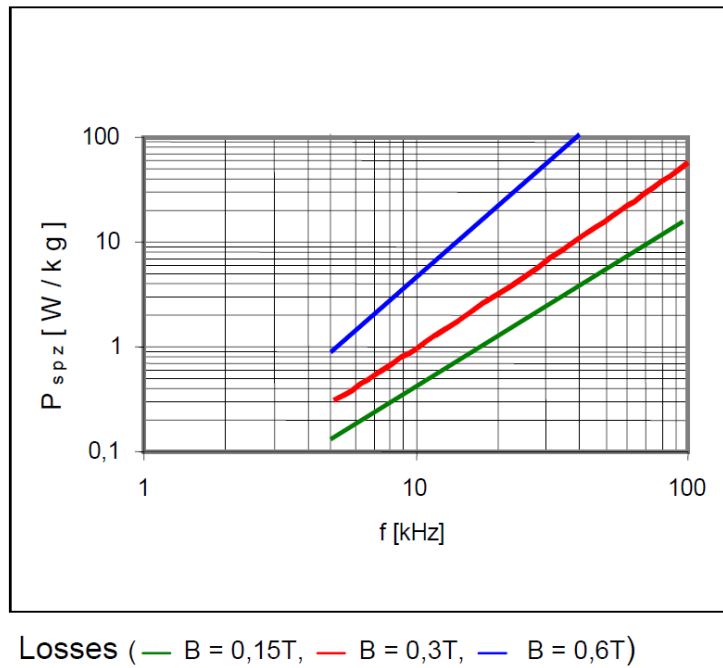


Рисунок 3.2 – зависимость мощности потерь в NANOPERM от частоты.

Согласно рисунку на частоте 20 кГц мощность потерь составляет порядка 80 Вт/кг. Учитывая объем сердечника и плотность материала

$\rho = 7.35 \text{ г/см}^3$, мощность потерь составит $80 \text{ Вт/кг} \cdot 7.35 \text{ г/см}^3 \cdot 6.78 \text{ см}^3 \cdot 10^{-3} \cong 4 \text{ Вт}$.

Рассчитаем площадь окна $S_w = \pi \cdot \left(\frac{d^2}{2}\right) = 665.1 \text{ мм}^2$.

Плотность тока $J = 5 \text{ А/мм}^2$.

Коэффициент заполнения окна $K_z = 0.3$

Индуктивность одного витка $A_L = 14260 \text{ нГн}$.

Габаритная мощность трансформатора должна превышать значение 2 кВт. С этой целью вычисляем максимальный ток через окно, а также напряжение одного витка:

- Максимальный ток через окно $I = S_w \cdot J \cdot K_z = 998 \text{ А}$.
- Напряжение одного витка $U = S \cdot B_{max} \cdot 2 \cdot f = 1.9 \text{ В}$.
- Габаритная мощность $P = U \cdot I = 2.14 \text{ кВт}$.

Учитывая мощности обоих трансформаторов и потери в выбранных материалах, рассчитаем КПД:

- Для феррита N87 - $\eta = \frac{2490-11}{2490} \cdot 100\% = 99,5582\%$.
- Для NANOPERM - $\eta = \frac{2140-4}{2140} \cdot 100\% = 99,8131\%$.

Без учета проводов первичной и вторичной обмотки трансформаторов объемы, занимаемые ими в приближении к кубу соответственно равны:

- Для феррита N87 - $V = 50 \text{ мм} \cdot 50 \text{ мм} \cdot 20 \text{ мм} = 50 \text{ см}^3$.
- Для NANOPERM - $V = 42.3 \text{ мм} \cdot 42.3 \text{ мм} \cdot 17.3 \text{ мм} \cong 31 \text{ см}^3$

С учетом того, что трансформатор компании Magnetecна основе сердечника из нано кристаллического материала NANOPERMобладает более высоким коэффициентом полезного действия, а также меньшими габаритами, что является наиболее приоритетным в поставленной задаче, именно он будет выбран в качестве финального варианта.

ВЫВОДЫ

Расчет дросселя будет состоять из нескольких фрагментов:

- Выбор магнитного материала.
- Выбор габаритов исходя из потерь в магнитном материале и в дросселе.
- Простейший энергетический расчет дросселя и некоторые прикидки по его конструкционному исполнению.

Выбор был сделан в пользу молибденового пермаллоя, так как это – наилучший материал для фильтров звуковой частоты, среднечастотных низкоуровневых резонансных контуров и сглаживающих дросселей в импульсных источниках питания.

Проницаемость выбранного материала $\mu = 26$, индукция $B_{max} = 0.5$ Тл. Соответственно мощность потерь для магнитопровода нашего объема составит $P_{потерь} = 3000 \cdot 10^3 \cdot 11.51 \cdot 10^{-6} = 34$ Вт.

- Плотность тока $J = 5 \text{ A/мм}^2$.
- Коэффициент заполнения окна $K_z = 0.4$
- Индуктивность одного витка $A_L = 35 \text{ нГн}$.
- Площадь окна $S_W = \pi \cdot \left(\frac{B}{2}\right)^2 = 456,167 \text{ мм}^2$

Выбор был сделан в пользу молибденового пермаллоя, так как это – наилучший материал для фильтров звуковой частоты, среднечастотных низкоуровневых резонансных контуров и сглаживающих дросселей в импульсных источниках питания.

Габаритная мощность дросселя должна превышать значение 2 кВт. С этой целью вычисляем максимальный ток через окно, а также напряжение одного витка:

- Максимальный ток через окно $I = S_W \cdot J \cdot K_z = 912 \text{ A}$.
- Напряжение одного витка $U = S \cdot B_{max} \cdot 2 \cdot f = 2.3 \text{ В}$.
- Габаритная мощность $P = U \cdot I = 2.1 \text{ кВт}$.

Расчет трансформатора

В дипломе будет приведен сравнительный анализ расчета трансформатора на высококачественном феррите и высококачественном нанокристаллическом материале и будет доказано, что потери в магнитопроводе оказываются меньше именно в нанокристаллическом материале.

Сердечник из феррита имеет следующие габариты:

- внешний диаметр кольца – $D = 50 \text{ мм}$.
- внутренний диаметр кольца – $d = 30 \text{ мм}$.

- высота – $h = 20\text{мм}$.
- объем магнитопровода – $V = 23560\text{ мм}^3$.
- площадь поперечного сечения магнитопровода - $S = 195.7\text{ мм}^2$.

Сердечник из материала NANOPERM имеет следующие габариты:

- внешний диаметр кольца – $D = 42.3\text{ мм}$.
- внутренний диаметр кольца – $d = 29.1\text{ мм}$.
- высота – $h = 17.3\text{мм}$.
- объем магнитопровода – $V = 6785\text{ мм}^3$.
- площадь поперечного сечения магнитопровода - $S = 0.6\text{ м}^2$.

Учитывая мощности обоих трансформаторов и потери в выбранных материалах, рассчитаем КПД:

- Для феррита N87 - $\eta = \frac{2490-11}{2490} \cdot 100\% = 99,5582\%$.
- Для NANOPERM - $\eta = \frac{2140-4}{2140} \cdot 100\% = 99,8131\%$.

Без учета проводов первичной и вторичной обмотки трансформаторов объемы, занимаемые ими в приближении к кубу соответственно равны:

- Для феррита N87 - $V = 50\text{ мм} \cdot 50\text{ мм} \cdot 20\text{ мм} = 50\text{ см}^3$.
- Для NANOPERM - $V = 42.3\text{ мм} \cdot 42.3\text{ мм} \cdot 17.3\text{ мм} \cong 31\text{ см}^3$

С учетом того, что трансформатор компании Magnetec на основе сердечника из нано кристаллического материала NANOPERM обладает более высоким коэффициентом полезного действия, а также меньшими габаритами, что является наиболее приоритетным в поставленной задаче, именно он будет выбран в качестве финального варианта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цели исследований – формирование электрической принципиальной схемы устройства.

В процессе достижения поставленной цели получены следующие результаты:

- Обоснование целесообразности сохранения высокоточной ствольной артиллерии

Выполнен обзор и анализ исторического развития ствольной и ракетной артиллерии, а так же представлено обоснование актуальности скорострельного вооружения.

История корабельного артиллерийского вооружения начинается с последней четверти девятнадцатого века и продолжается по сей день.

Именно с девятнадцатого века началось существенное разделение калибров, размеров артиллерийского вооружения по типу кораблей, таких как:

- броненосцы
- крейсера
- миноносцы и эскадренные миноносцы

Причины, которые предопределили тупиковость ветви тяжелого артиллерийского вооружения, и введение ракетного вооружения в строй:

- Сложность прицеливания(особенно в плохих условиях)
- Активное развитие ракетного вооружения в послевоенное время
- Большие масса-габаритные характеристики артиллерийских систем большой дальности.

Проведён обзор и анализ артиллерийского и ракетного вооружения, а так же их особенностей, различий и сходств.

Тем не менее актуальной является то, что взтой связи становится актуальной задача создания особо высокоскоростных артиллерийских систем калибра 57 мм (возможно на калибр меньше, т.е. калибр 37 мм и 45 мм и,

возможно, на калибр больше, т.е. 76 мм). Это артиллерийское вооружение должно быть эффективно на дальностях до 10-12 км. И должно обладать настолько значительной разрушительной силой, точностью стрельбы, скорострельностью и мощностью залпа, чтобы нанести существенный урон кораблю противника водоизмещением около 1000 т. Вот эта задача и является основной рассматриваемой в дипломе. И эта задача, по контрагитационным случаям взаимодействия с офицерами морского флота, является действительно актуальной.

В этих условиях радиолокационный канал управления артиллерийским огнем, в работе которого мог наблюдаться существенный сбой, провал и временные выпадения, из-за использования противником активных средств противодействия, должен быть дополнен еще одним каналом наведения в значительной степени свободным от тех помех, которые может выставить противник, в том числе и в условиях его неосведомленности о наличии у нападающей стороны подобного канала наведения. Этим третьим каналом наведения и может стать гидроакустический канал наведения. Работа гидроакустического канала наведения связана с целым рядом особенностей, подробному рассмотрению которого будет посвящен следующий раздел диплома.

- Разработка элементов принципиальной схемы усилительного устройства гидролокатора системы определения координат

Усилитель решено строить по мостовой схеме усиления. Его особенностью является использование нитрид-галлиевых транзисторов, что позволяет уменьшить габариты схемы, повысить частоты коммутации и КПД. В качестве готового решения предлагается использовать силовую сборку компании TexasInstrument под названием LMG5200. Передающий тракт, несмотря на широкий частотный диапазон и высокую частоту излучения, обеспечивает высокую направленность и достаточную мощность излучения. Энергетическая дальность излучения достигает 10 км на частоте 10 кГц и 8 км на частотах, близких к 20 кГц.

Усилитель акустического луча обладает достаточно маленькими габаритами, что являлось самой приоритетной задачей при проектировании. В качестве готового решения предлагается использовать транзисторные сборки компании TexasInstruments наименованием LMG5200 на нитрид-галлиевых транзисторах, представляющие собой полумостовые КУМ.

На выходе ключевых усилителей используются дроссель фильтрации и повышающий трансформатор. Их габариты соизмеримы с размерами платы усиления, а высокий коэффициент полезного действия обусловлен низкими потерями в выбранных материалах. Вследствие больших подводимых мощностей КПД рассчитанных электромагнитных компонентов должен быть значительно выше 99%.

- Разработка электромагнитных элементов усилителя гидролокатора

Расчет дросселя будет состоять из нескольких фрагментов:

- ✓ Выбор магнитного материала.
- ✓ Выбор габаритов исходя из потерь в магнитном материале и в дросселе.
- ✓ Простейший энергетический расчет дросселя и некоторые прикидки по его конструкционному исполнению.

Выбор был сделан в пользу молибденового пермаллоя, так как это – наилучший материал для фильтров звуковой частоты, среднечастотных низкоуровневых резонансных контуров и сглаживающих дросселей в импульсных источниках питания.

Проницаемость выбранного материала $\mu = 26$, индукция $B_{max} = 0.5$ Тл. Соответственно мощность потерь для магнитопровода нашего объема составит $P_{потерь} = 3000 \cdot 10^3 \cdot 11.51 \cdot 10^{-6} = 34$ Вт.

- ✓ Плотность тока $J = 5 \text{ А/мм}^2$.
- ✓ Коэффициент заполнения окна $K_z = 0.4$
- ✓ Индуктивность одного витка $A_L = 35 \text{ нГн}$.
- ✓ Площадь окна $S_W = \pi \cdot \left(\frac{B}{2}\right)^2 = 456,167 \text{ мм}^2$

Выбор был сделан в пользу молибденового пермаллоя, так как это – наилучший материал для фильтров звуковой частоты, среднечастотных низкоуровневых резонансных контуров и сглаживающих дросселей в импульсных источниках питания.

Габаритная мощность дросселя должна превышать значение 2 кВт. С этой целью вычисляем максимальный ток через окно, а также напряжение одного витка:

- ✓ Максимальный ток через окно $I = S_W \cdot J \cdot K_z = 912 \text{ A}$.
- ✓ Напряжение одного витка $U = S \cdot B_{max} \cdot 2 \cdot f = 2.3 \text{ В}$.
- ✓ Габаритная мощность $P = U \cdot I = 2.1 \text{ кВт}$.

Расчет трансформатора

В дипломе будет приведен сравнительный анализ расчета трансформатора на высококачественном феррите и высококачественном нанокристаллическом материале и будет доказано, что потери в магнитопроводе оказываются меньше именно в нанокристаллическом материале.

Сердечник из феррита имеет следующие габариты:

- ✓ внешний диаметр кольца – $D = 50 \text{ мм}$.
- ✓ внутренний диаметр кольца – $d = 30 \text{ мм}$.
- ✓ высота – $h = 20 \text{ мм}$.
- ✓ объем магнитопровода – $V = 23560 \text{ мм}^3$.
- ✓ площадь поперечного сечения магнитопровода - $S = 195.7 \text{ мм}^2$.

Сердечник из материала NANOPERM имеет следующие габариты:

- внешний диаметр кольца – $D = 42.3 \text{ мм}$.
- внутренний диаметр кольца – $d = 29.1 \text{ мм}$.
- высота – $h = 17.3 \text{ мм}$.
- объем магнитопровода – $V = 6785 \text{ мм}^3$.

- площадь поперечного сечения магнитопровода - $S = 0.6 \text{ м}^2$.

Учитывая мощности обоих трансформаторов и потери в выбранных материалах, рассчитаем КПД:

- Для феррита N87 - $\eta = \frac{2490-11}{2490} \cdot 100\% = 99,5582\%$.
- Для NANOPERM - $\eta = \frac{2140-4}{2140} \cdot 100\% = 99,8131\%$.

Без учета проводов первичной и вторичной обмотки трансформаторов объемы, занимаемые ими в приближении к кубу соответственно равны:

- Для феррита N87 - $V = 50 \text{ мм} \cdot 50 \text{ мм} \cdot 20 \text{ мм} = 50 \text{ см}^3$.
- Для NANOPERM - $V = 42.3 \text{ мм} \cdot 42.3 \text{ мм} \cdot 17.3 \text{ мм} \cong 31 \text{ см}^3$

С учетом того, что трансформатор компании Magnetec на основе сердечника из нано кристаллического материала NANOPERM обладает более высоким коэффициентом полезного действия, а также меньшими габаритами, что является наиболее приоритетным в поставленной задаче, именно он будет выбран в качестве финального варианта.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ю.А. Корякин, С.А. Смирнов, Г.В. Яковлев. Корабельная гидроакустическая техника. Состояние и актуальные проблемы. – СПб.: Наука. – 2004. стр. 92-152.
2. Сборник трудов Первой научно-практической конференции молодых специалистов интегрированной структуры АО «Концерн «Океанприбор» «ИСТОК-2016». – СПб. : Изд-во АО «Концерн «Океанприбор», 2016. – 348 с.
3. Datasheet. LMG5200 80-V, 10-A GaN Half-Bridge Power Stage. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. – URL: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lmg5200.pdf>
4. Datasheet. Сердечники из материала МРР, Молибден-пермаллой. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. – URL: http://www.coretech.com.ua/docs/coretech_MPP_cores_%5B2012%5D.pdf
5. Datasheet. B64290L0082. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. – URL: http://ferrite.ru/warehouse/index.php?dispatch=attachments.getfile&attachment_id=35915
6. Datasheet. SIFERRIT material N87. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. – URL: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/325617/EPCOS/N87.html>
7. Datasheet. M-014. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. – URL: <http://ferrite.ru/uploads/pdf/products/magnetec/m-014.pdf>
8. Datasheet. NANOPERM Cores. [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. – URL: <http://www.feryster.pl/polski/nanoperm.php?lang=en>

9. Акустическая безопасность [Комплект] : учеб.пособие / под ред. В.Н. Павлова ; Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет им. В.И. Ульянова (Ленина) "ЛЭТИ". – СПб. :Изд-во СПбГЭТУ "ЛЭТИ", 2004. – 24 с.
- 10.ГОСТ IEC 61140-2012. Защита от поражения электрическим током. Общие положения для электроустановок и электрооборудования. М.: Стандартиформ, 2014.