

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования**

**«Дальневосточный государственный технический
рыбохозяйственный университет»**

(ФГБОУ ВО «ДАЛЬРЫБВТУЗ»)

Учебно-методическое пособие

по курсу конвенционной подготовки морских специалистов
**«Использование радиолокационной станции (РЛС)»
(на примере РЛС/САРП BridgeMaster)**

Владивосток 2016

УДК 629. 12.053
ББК 39.471-5
К 214

Учебно-методическое пособие для студентов и курсантов всех форм обучения специальности «Судовождение»

Утверждено редакционно-издательским советом Дальневосточного государственного технического рыбохозяйственного университета.

Автор: В.В. Карасёв, канд.техн.наук, доцент, профессор кафедры «Судовождение» Дальрыбвтуза.

Рецензент – И.С. Карпушин, канд.техн.наук, доцент, зав.кафедрой «Судовождение» Дальрыбвтуза.

Печатается в авторской редакции

© Карасёв В.В.

© Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, 2016

Содержание

1	Цель и задачи работы:	4
2	Основные теоретические положения	4
2.1	ИСТОРИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ РАДИОЛОКАЦИИ	4
2.2	ПРИНЦИП РАБОТЫ РЛС.....	7
2.3	СХЕМА ПРИЕМО-ПЕРЕДАТЧИКА РЛС	9
2.4	СТРУКТУРНАЯ СХЕМА УПРАВЛЕНИЯ ИНДИКАТОРОМ РЛС	15
3	Порядок выполнения лабораторной работы	19
4	Форма отчета.....	19
5	Литература	19

1 Цель и задачи работы:

Изучить принципиальную схему РЛС, взаимодействие основных блоков типовой РЛС, их функции, навигационные и технические параметры, функциональную схему, научиться включать, настраивать и использовать для навигационной безопасности РЛС «Bridge Master-E».

При этом необходимо решить следующие задачи:

1. Ознакомиться с историей развития радиолокации.
2. Изучить принцип работы РЛС и назначение основных блоков РЛС.
3. Запомнить основные технические характеристики в их взаимосвязь.
4. Используя принципиальную схему РЛС и панель РЛС «Bridge Master-E» изучить назначение основных органов управления.
5. Изучение методических указаний «Руководство по работе РЛС/САРП» (на примере «Bridge Master-E»).
6. Отработать включение РЛС, проверить работоспособность, измерить дистанцию и пеленг нескольких ориентиров на тренажере РЛС/САРП «Bridge Master-E».
7. Ответить на вопросы самоконтроля.

2 Основные теоретические положения

2.1 История возникновения радиолокации

В 1897, проводя опыты по радиосвязи между стоявшим на якоре транспортом "Европа", на верхнем мостике которого находился передатчик, и крейсером "Африка", на котором помещался приемник, изобретатель радио Александр Попов обнаружил новое физическое явление. О чем и сделал запись в отчете комиссии, назначенной для проведения этих опытов: "Влияние судовой обстановки сказывается в следующем: все металлические предметы (мачты, трубы, снасти) должны мешать действию приборов как на станции отправления, так и на станции получения, потому что, попадая на пути электромагнитной волны, они нарушают ее правильность, отчасти

подобно тому, как действует на обыкновенную волну, распространяющуюся по поверхности воды, брекватер, отчасти вследствие интерференции волн, в них возбужденных, с волнами источника, т.е. влияют неблагоприятно. ... Наблюдалось также влияние промежуточного судна. Так, во время опытов между "Европой" и "Африкой" попадал крейсер "Лейтенант Ильин", и если это случалось при больших расстояниях, то взаимодействие приборов прекращалось, пока суда не сходили с одной прямой линии".

По всей видимости, это первое в истории документальное подтверждение открытия основного принципа радиолокации - отражения радиоволн от металлических предметов. Попов обратил внимание на это явление как на фактор, мешающий радиосвязи, и не заинтересовался его возможным применением.

Спустя 7 лет, в 1904 г немецкий изобретатель Хюльсайер запатентовал способ обнаружения металлических объектов по отражению ими радиоволн. Патент Хюльсайера опередил время и 18 лет оставался невостребованным. Элементная база радиотехники была еще слишком слаба, чтобы воспользоваться открытым эффектом. Первая лампа-диод была построена в том же 1904 г, а первый триод был предложен в 1907. И только в 1913 г. была разработана схема лампового приёмника и с помощью триода были получены незатухающие электрические колебания.

Вспомнили об эффекте американцы. В 1922 г Тейлор и Юнг исследовали отражение радиоволн от кораблей и дали начало практическому использованию эффекта. С этого времени радиолокация становится военной и начинает развиваться параллельно в США и Англии. В конце 20-х сходные исследования проводятся в Германии.

В нашей стране идеи радиолокации продвигал с 1932 г научный сотрудник Ленинградского электрофизического института (ЛЭФИ) П.К. Ощепков, позднее предложивший использовать импульсное излучение. Идея овладела военными и 16 января 1934 года в Ленинградском физико-

техническом институте (ЛФТИ) под председательством академика А. Ф. Иоффе состоялось совещание, на котором представители ПВО РККА поставили задачу обнаружения самолетов на высотах до 10 и дальности до 50 км в любое время суток и в любых погодных условиях.

Летом 1934 года группа энтузиастов, среди которых были Б. К. Шембель, В.В. Цимбалин и П. К. Ощепков, представила членам правительства опытную установку. Установка понравилась сразу ПВО и ВМФ. Далее разработка пошла параллельно по обоим ведомствам.

Созданная по заказу ВМФ в 1936 г. под руководством Б.К. Шембеля РЛС "Стрела", работавшая с использованием сигналов непрерывного излучения в диапазоне 21-23 см, показала не удовлетворяющие флот результаты (при благоприятных условиях - отсутствие ветра и птиц - корабли обнаруживались на дальности 3-5 км). А вот созданная под руководством Ю.Б. Кобзарева в 1939 г. по заказу ПВО импульсная РЛС "Редут" была успешно испытана под Севастополем и летом 1940 г принята на вооружение войск ПВО. Станция получила название радиоуправляемый самолет (РУС). ВМФ в апреле 1940 г. выдал задание на разработку ее корабельного варианта "Редут-К", единственный экземпляр которой был изготовлен к началу войны. и установлен на крейсере "Молотов". Войну наша страна встретила с несколькими РЛС РУС-1, -2 и этой корабельной станцией.

С началом войны стало не до разработок. Срочно понадобилась работающая техника. Первый генеральный конструктор знаменитого КБ-1 Серго Берия пишет: "Бортовую радиолокацию мы "позаимствовали" у англичан. Во время обороны Москвы бортовой радиолокацией были оснащены две или три авиаэскадрильи. Так было и с морскими локационными системами. Вообще советская разведка здорово помогла конструкторам военной техники." Англичане, а затем и американцы начали поставлять флоту РЛС в 1942 г пишет Г.С.Баскаков в работе

"Радиоэлектронные средства освещения надводной и воздушной обстановки", которая посвящена истории оснащения флота РЛС.

О разработках во время войны известно мало, зато послевоенное время характеризуется бурным развитием радиолокации.

2.2 Принцип работы РЛС

Рассмотрим простейшую принципиальную схему, демонстрирующую принцип работы РЛС (рис.1).

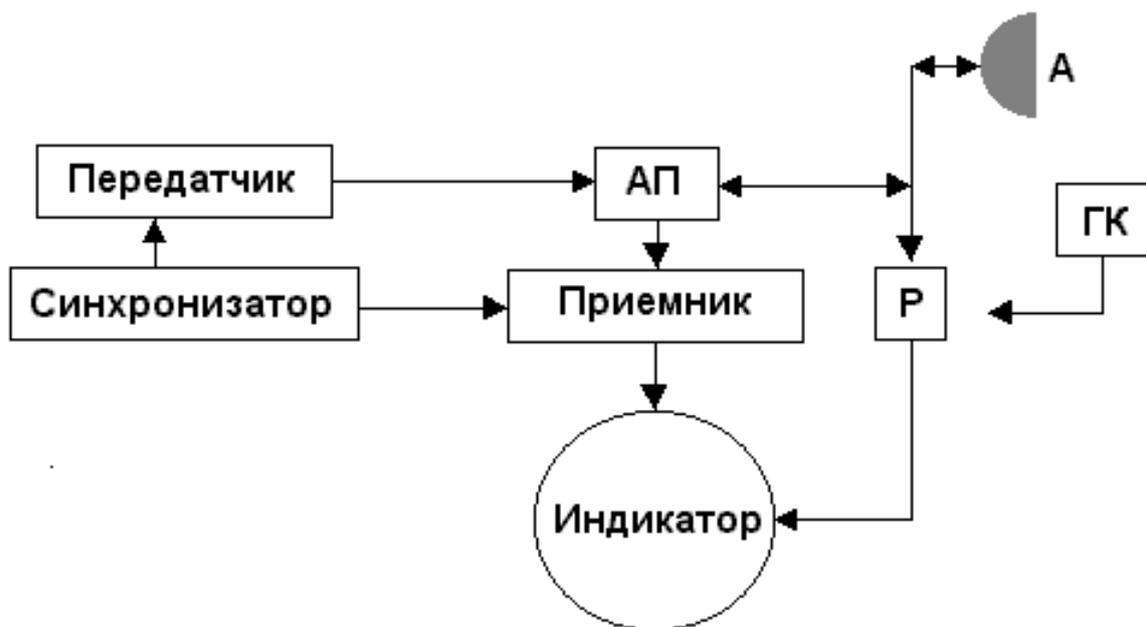


рис. 1 Структурная схема РЛС

Рассмотрим взаимодействие основных блоков структурной схемы РЛС (рис. 1):

1. Синхронизатор (задающий генератор синхроимпульсов) управляет всей работой приемопередающего тракта и индикатора в соответствии со шкалой, установленной штурманом.
2. Передатчик формирует зондирующие импульсы СВЧ в соответствии с заданной шкалой РЛС. При этом задается два параметра - τ_u (длительность излучаемого импульса) и f_u (частота следования импульсов). Длительность импульса определяет излучаемую мощность, а частота

следования импульсов обеспечивает условие, при котором каждый последующий импульс излучается не ранее того момента, когда придет отраженный импульс от дальней точки заданной шкалы дальности.

3. Сформированный импульс СВЧ поступает через антенный переключатель (АП) в антенну (прибор А). Антенный переключатель на время излучения подключает к антенне передающий тракт, а сразу после окончания изученного импульса подключает к антенне приемный тракт. Антенна является обратимым преобразователем электромагнитной энергии в ток СВЧ.
4. Антенна преобразует энергию токов СВЧ в энергию зондирующих радиоимпульсов и, в соответствии с диаграммой направленности, осуществляет направленное излучение радиоимпульсов.
5. Поворотное устройство через редуктор (Р) обеспечивает последовательный обзор пространства радиолучом антенны.
6. Отраженные от цели электромагнитные волны принимаются антенной, преобразуются в импульс сигнала СВЧ и через антенный переключатель поступает на приемник, где усиливается до необходимой величины и далее на индикатор.
7. Индикатор (прибор И) обеспечивает индикацию радиолокационного изображения зоны обзора, измерение интервала времени с момента излучения импульса, измерение дистанции и пеленга до любого объекта на экране и оперативное управление режимами работы станции.
8. При необходимости ориентировать изображение РЛС по меридиану, необходимо подключить дополнительно информацию от гирокомпаса – курс ($K_{ГК}$), которая через редуктор (Р) добавляется к курсовому углу антенны ($KУ_A$) и формирует компасный пеленг (КП).

$$КП = КУ_A + K_{ГК}$$

Рассматривая даже эту упрощенную схему, следует отметить, что, несмотря на автоматизацию всего процесса работы РЛС, выбор варианта

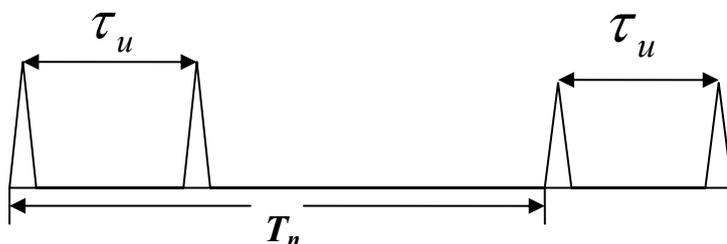
работы остается за судоводителем. Судоводитель, выбирая шкалу дистанции, определяет интересующую его зону обзора по дальности. Судоводитель же задает режимы ориентации «по норду», «по курсу» или же относительно диаметральной плоскости

2.3 Схема приемо-передатчика РЛС

Более подробная схема приемопередающего устройства РЛС позволяет рассмотреть все возможности оператора обеспечить наилучшее использование РЛС для безопасности мореплавания.

Задающий генератор синхроимпульсов (ЗГ СИ) управляется переключателем «Шкала» и в соответствии с выбранной шкалой дальности формирует два коротких импульса. Расстояние между этими импульсами определяет длительность импульса СВЧ (τ_u) излучения РЛС. Период (T_n) между двойными импульсами должен быть больше времени, необходимого для прохождения излученным электромагнитным импульсом двойного расстояния установленной шкалы дальности.

$$\text{Т.е. } T_n = \frac{2D}{c}$$



Выбранная шкала дальности определяет частоту повторения синхронизирующих импульсов (СИ), таким образом, чтобы очередной импульс излучился через интервал времени необходимый для прохождения

расстояния $2D$ шкалы. В модуляторе происходит формирование высоковольтного импульса запитывающего генератор СВЧ. Генератор СВЧ (магнетрон) формирует высоковольтный импульс длительность которого (аналог мощности) определяется шкалой дистанции. Чем большую дистанцию мы выбрали шкалой, тем более длинный импульс излучается. Это соответствует большей мощности излучаемого сигнала. Зондирующий импульс через антенный переключатель и волноводный тракт поступают в антенну. Зондирующий импульс из антенны излучается в пространство. Антенный переключатель на время излучения зондирующего импульса подключает антенну к магнетрону и блокирует вход приемника. Часть энергии зондирующего импульса через направленный ответвитель (НО) попадает в смеситель АПЧ.

Одновременно в смеситель АПЧ подается частота гетеродина (f_H).

В результате смешения в смесителе частот зондирующего импульса (f_M) и частоты гетеродина формируется сетка частот ($f_M, f_z, f_M+f_z, f_M-f_z$ и др.) АПЧ обеспечивает перестройку гетеродина таким образом, что бы всегда $f_{np} = f_M - f_z = 60 \text{ МГц}$. Отраженная объектом энергия радиоимпульса принимается антенной. Антенный переключатель при поступлении отраженного радиоимпульса в антенну, отключает антенну от выхода магнетрона и подключает к входу приемника. Эхосигнал поступает на смеситель приемника.

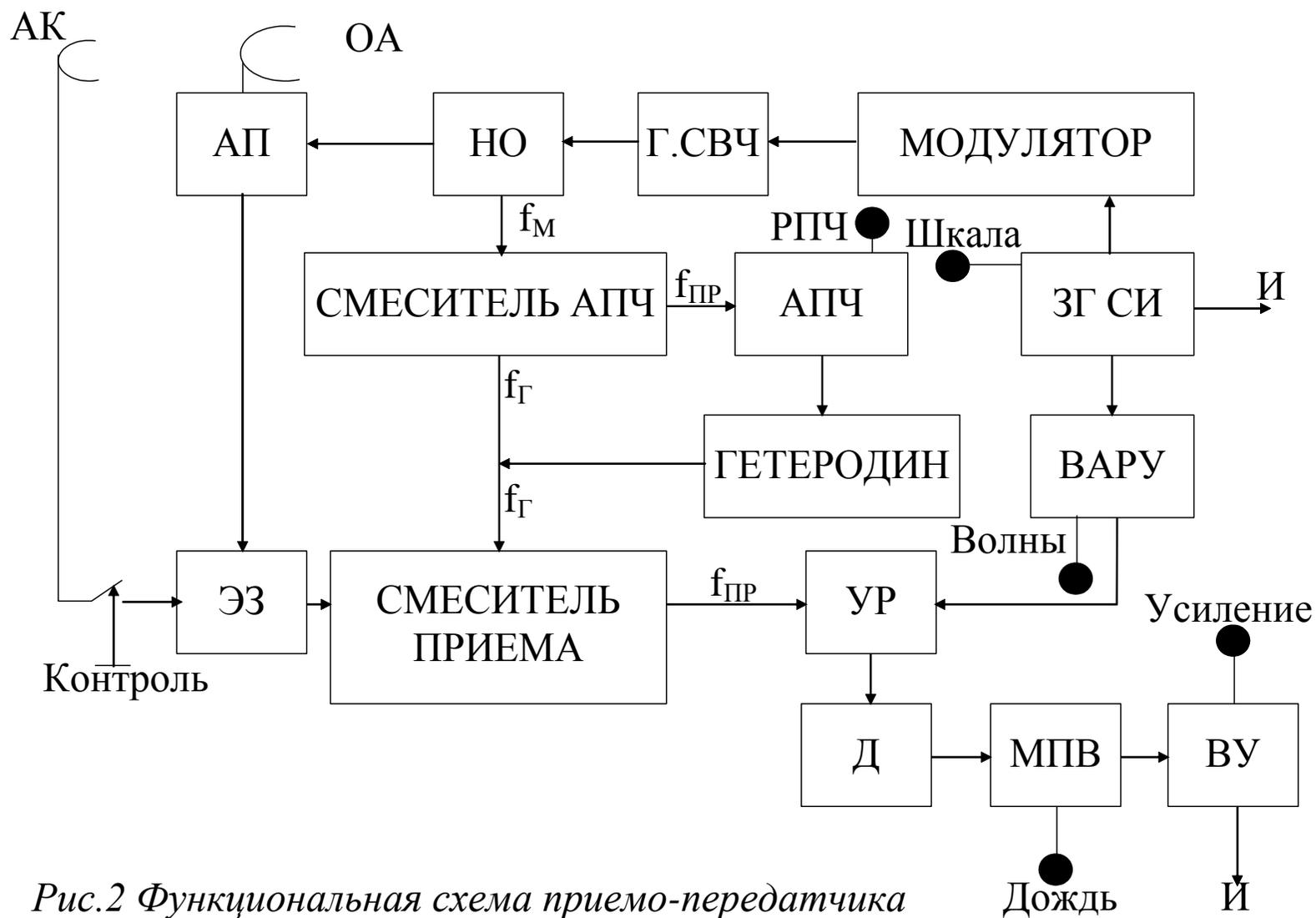


Рис.2 Функциональная схема приемо-передатчика

На второй вход смесителя приема подаются колебания гетеродина. В результате на выходе смесителя приема получается биение $f_{np} = 60 \text{ МГц}$.

Коэффициент усиления УР изменяется в зависимости от шкалы дальности.

Схема ВАРУ, запускаемая синхронизатором, обеспечивает запираание входного каскада УР на время излучения зондирующего импульса, а затем по мере увеличения времени с момента излучения увеличивает коэффициент усиления до максимального. Это позволяет выровнять силу импульса засветки экрана от ближних и дальних целей. Снижаются помехи от морских волн регулировкой ВАРУ. Усиленный радиоимпульс промежуточной частоты детектируется, превращаясь в видеоимпульс.

Видеоимпульс подается на дифференцирующую цель с малой постоянной времени (МПВ), которая исключает помехи с частотой дождя. После усиления в видеоусилителе видеоимпульс поступают на катод индикатора.

Рассмотрим более подробно все отдельные линии формирования сигналов в приемоиндикаторе:

- формирование излучаемого импульса;
- подстройка гетеродина схемы АПЧ при изменении частоты излучаемого высокочастотного импульса;
- прием отраженного высокочастотного сигнала и преобразование его в видеоимпульс для передачи в индикатор;
- регулировка коэффициента усиления регулируемого усилителя (УР) схемой ВАРУ.

Формирование излучаемого сигнала рассмотрено выше и поэтому следует рассмотреть работу схемы АПЧ. Необходимость схемы подстройки АПЧ вызвано тем, что для нормальной работы регулируемого усилителя схемы приемника необходима высокая стабильность промежуточной частоты – 60 МГц. Это определяется узкой полосой пропускания схемы УР. Однако

вырабатывающий излучаемый ВЧ импульс генератор СВЧ (Г.СВЧ) работает в тяжелых температурных условиях, вызванных необходимостью выработать мощный ВЧ импульс. Вследствие этого частота каждого излучаемого импульса будет отличаться от предыдущего в пределах 0,5 – 1 %. Для этого создана схема АПЧ, поддерживающая в любом случае промежуточную частоту постоянной, за счет перестройки частоты гетеродина. Через направленный ответвитель (НО) ВЧ сигнал излучаемой в данном импульсе частоты поступает в смеситель, где, смешиваясь с частотой гетеродина, образует промежуточную частоту $f_{пр}$. Эта частота поступает в блок АПЧ, настроенный на рабочую частоту УР. Стабильность работы этого блока обеспечивается помещением его в специальную камеру, к которой поддерживаются стабильные температурные условия. Именно этим объясняется невозможность немедленного запуска РЛС в работу при включении. Это время необходимо для достижения нормальных температурных условий в этом блоке АПЧ.

Поступивший в блок АПЧ импульс сравнивается с эталоном (частотой 60 МГц блока АПЧ) и разница между эталоном и частотой $f_{пр}$ поступает для перестройки гетеродина на величину этой частоты. Поэтому в процессе излучения РЛС ВЧ импульса схема АПЧ подстраивает гетеродин на такую частоту, для которой разница излученной частоты f_m и f_r будет равна 60 МГц.

После излучения ВЧ импульса антенный переключатель (АП) подключает антенну на вход приемника. Отраженный от цели (объекта) ВЧ сигнал поступает через электронную захлопку (ЭЗ) в смеситель приемника. В смесителе принятый ВЧ сигнал смешивается с сигналом гетеродина и учитывая, что гетеродин был настроен на частоту, обеспечивающую $f_{пр}=60$ МГц, то поступающий в УР сигнал обеспечивает ему благоприятную работу. Коэффициент усиления УР определяет схема ВАРУ. Далее усиленный сигнал поступает в схему демодулятора (детектора). Операция демодулирования необходима для выделения из ВЧ сигнала низкочастотной огибающей. Это

преобразование необходимо ввиду того, что выходным устройством РЛС является электронная трубка (дисплей), которая реагирует только на низкие частоты. Однако наряду с полезным низкочастотным сигналом в принятом сигнале содержатся низкочастотные сигналы, вызванные отражением от капель дождя, снега, тумана. Они отличаются от полезного сигнала тем, что промодулированы частотой капель. Это их качество используется в схеме малой постоянной времени (МПВ) для выделения сигнала помех и их ослабления. Выбор осуществляется ручкой **Дождь**.

Полезный видеосигнал с ослабленной помехой от метеофакторов поступает в видеоусилитель. Коэффициент усиления видеоусилителя регулируется оператором РЛС в зависимости от необходимой яркости сигнала на экране РЛС.

ВАРУ необходимо для обеспечения одинаковой яркости сигнала от ближних и дальних целей. Сигнал, принятый от ближних целей сильнее, чем от сигналов принятых от дальних целей. Поэтому ВАРУ изменяет коэффициент усиления УР от 0 (в момент излучения ВЧ сигнала) до максимума во время приема сигнала от целей на пределе установленной шкалы. Учитывая, что основные помехи от волн имеют максимальное значение в ближней зоне, можно использовать изменение коэффициента усиления УР для ослабления влияния помех от волн. Однако следует помнить, что, ослабляя влияние помех от волн, мы одновременно ослабляем и полезный сигнал.

Кратко последовательность решения задачи *«Последовательность преобразования информации принятого зондирующего импульса от антенны до индикатора»* следующая:

1. Преобразование принятого антенной радиоимпульса ВЧ сигнала и передача его на вход смесителя.
2. Преобразование ВЧ сигнала в промежуточную частоту.
3. Усиление сигнала по промежуточной частоте.

4. Выделение видеосигнала (огибающей ВЧ).
5. Фильтрация видеоимпульсов от помех дождя и других метеофакторов.
6. Усиление видеоимпульса.
7. Подача видеоимпульса на видеосмеситель.
8. Подача видеоимпульса на катод электронно-лучевой трубки.
9. Засветка экрана электронно-лучевой трубки в точке нахождения развертки ЭЛТ.

Далее рассмотрим схему управления индикатором РЛС с позиции судоводителя, управляющего работой РЛС. Выбором шкалы судоводитель определяет режим работы генератора синхроимпульса.

2.4 Структурная схема управления индикатором РЛС

Синхроимпульсы запускают генератор развертки.

Генератор развертки формирует пилообразные импульсы радиальной развертки.

Пилообразные импульсы поступают в генератор развертки на ротор вращающегося трансформатора (ВТ) развертки.

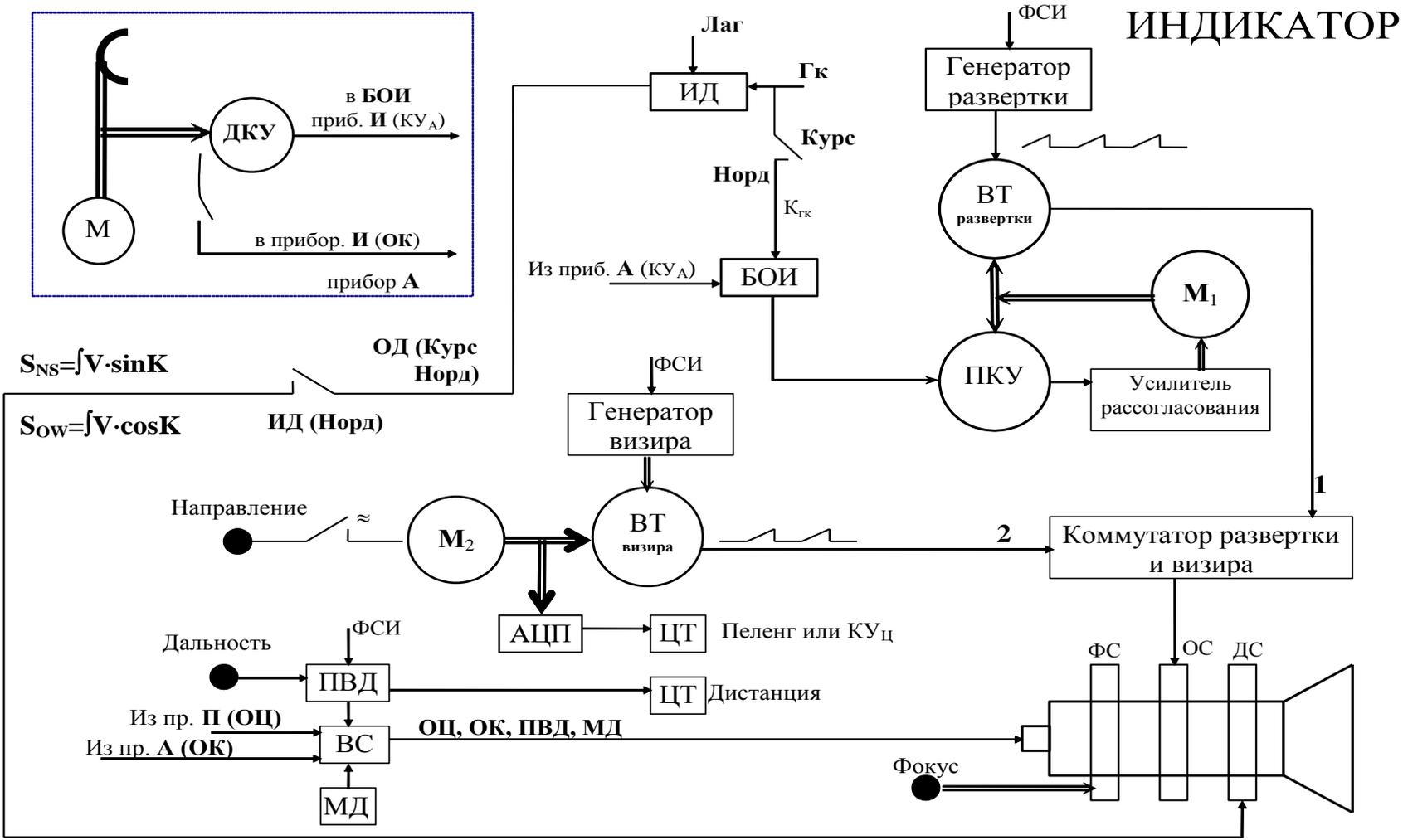
При вращении ротора со статорных обмоток ВТ развертки снимаются импульсы, промоделированные по закону синуса и косинуса курсового угла антенны.

Промоделированные по закону синуса и косинуса импульсы поступают на коммутатор развертки и визира (КРВ). КРВ подключает последовательно ВТ развертки и ВТ визира к отклоняющей системе ЭЛТ.

Передача текущих значений курсового угла антенны в индикатор осуществляется следующим образом.

Ротор вращающегося трансформатора визира (ВТВ) приводится во вращение электродвигателем М2 по команде оператора с пульта индикатора. Блоки подвижного визира дальности (ПВД) и меток дальности (МД)

подаются на катод ЭЛТ, вызывая соответствующие им яркостные отметки на экране.



В режиме «Истинное движение» блок ИД подает на децентрирующую систему ЭЛТ напряжения, соответствующие проекциям на оси N-S и O-W пройденного судном пути, которые вызывают перемещения начала развертки (центра изображения) по экрану в соответствующем направлении.

Более глубокому изучению и усвоению принципов работы индикатора способствуют рассмотрение решения задачи «Линия формирования вращающейся развертки синхронной с положением антенны» и задачи «Синхронизация ВТ развертки с положением антенны», а также решение вопросов тестирования.

Рассмотрим последовательность решения задачи *«Линия формирования вращающейся развертки синхронной с положением антенны»*:

1. Формирователь синхроимпульсов запускает генератор развертки синхронно с началом зондирующего импульса.
2. Генератор развертки формирует пилообразное напряжение длительностью сигнала развертки.
3. Пилообразное направление подается на обмотки вращающегося трансформатора развертки. Положение вращающегося трансформатора (ВТ) развертки автоматически согласуется с положением антенны.
4. С синусной и косинусной обмотки ВТ развертки составляющие поступают на пластины отклоняющей системы ЭЛТ через коммутатор развертки и визира.

Последовательность решения задачи «Синхронизация ВТ развертки с положением антенны» следующая:

1. Информация с датчика курсового угла антенны (ДКУ) через блок ориентации, изображение поступает на обмотки приемника курсового (ПКУ) индикатора.
2. Сигнал разницы углового положения ДКУ и ПКУ поступает на усилитель рассогласования (УР).
3. УР усиливает сигнал с учетом его знака («+», «-») и подает ее на управляющую обмотку электродвигателя M_1 .

4. Электродвигатель M_1 , вращает ПКУ и ВТ развертки в сторону уменьшения угла рассогласования ПКУ и ДКУ.

5. При условии равенства углов ДКУ и ПКУ электродвигатель останавливается, а связанный механической передачей с ПКУ вращающийся трансформатор ВТ так же приходит в согласованное положение с антенной.

Формирование линии визира направления более просто и во многом аналогично формированию линии развертки. Отличие заключается в том, что направление этой линии задается вручную, через двигатель M_2 , а контролируется по цифровому табло (ЦТ), куда поступает после преобразования в аналогово-цифровом преобразователе (АЦП).

3 Порядок выполнения лабораторной работы

Ознакомившись с методическим указанием «Руководство по работе с РЛС/САРП (на примере РЛС Bridge Master)» и техническим описанием РЛС, курсант (студент) по указанию преподавателя приступает к решению заданий из прилагаемого списка. Предлагаемые выше вопросы охватывают все основные разделы подготовки радара к работе, включение радара в работу и обслуживание его для решения задач обеспечения безопасности мореплавания.

4 Форма отчета

Отчет по данной работе производится в устной форме преподавателю на заключительной части занятия или в период плановых консультаций, с использованием тренажера РЛС/САРП «Bridge Master-E» и принципиальной схемы РЛС. В рабочей тетради конспектируются и представляются при зачете основные технико – эксплуатационные характеристики и обосновывается их значимость для практического штурмана.

5 Литература

1. Техническое описание РЛС «Bridge Master-E».
2. Коновалов В.В., Кузнецова Л.И. и др. Судовые радионавигационные приборы. М., Транспорт, 1981