

УДК 681.5 (075.8)

ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ РАЗНЕСЕННЫМИ СИНХРОННЫМИ СЛЕДЯЩИМИ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ РЛС

А.С. Юлин

АО «НПП «Салют»

Россия, 111123, Москва, ул. Плеханова, д. 6

E-mail: akekssaysno@gmail.com

С.А. Соколов

АО «НПП «Салют»

Россия, 111123, Москва, ул. Плеханова, д. 6

E-mail: sokolov_sa@smp-salyut.ru

В.К. Константиныди

АО «НПП «Салют»

Россия, 111123, Москва, ул. Плеханова, д. 6

E-mail: ykk1350@mail.ru

А.Н. Максимов

АО «НПП «Салют»

Россия, 111123, Москва, ул. Плеханова, д. 6

E-mail: a.n.maksimov33@gmail.com

Ключевые слова: программно-техническая система управления, электродвигатель, следящие электропривода, синхронно и синфазное движение валов, радиолокационные станции, алгоритм программно-математического обеспечения.

Аннотация: Данная статья посвящена вопросу создания и реализации программно-технической системы (ПТС) управления разнесенными синхронными синфазными следящими электроприводами горизонтального вращения (ГВ) антенных устройств (АУ) корабельной радиолокационной станции (РЛС) на базе асинхронных электродвигателей (ЭД).

1. Введение

Электроприводы в настоящее время находят все большее применение от робототехнических и следящих приводов специального назначения до повседневно используемой бытовой техники.

Одним из основных конструктивных элементов всех существующих электроприводов является электрическая машина, которая преобразует электрическую энергию по-

стоянного или переменного тока в механическую, характеризующуюся сложным движением выходного вала.

В ряде случаев при создании интегрированных радиолокационных систем и комплексов необходимо, чтобы движение выходных валов нескольких следящих электроприводов ГВ АУ осуществлялось одинаково либо с управлением угловым смещением основного луча диаграммы направленности АУ.

2. ПТС управления разнесенными синхронными следящими электроприводами РЛС

Одинаковость движения выходных валов следящих приводов горизонтального вращения антенных устройств предполагает две составляющие: синхронное и синфазное движение (вращение).

При синхронном движении валов АУ линии визирования разнесенных антенных устройств имеют заданную и требуемую угловую уставку, которую, при необходимости, можно изменять от нуля до требуемого значения, в том числе и программно.

При синфазном движении валов АУ линии визирования разнесенных антенных устройств синхронизируются в одной точке и один раз за период вращения, а угловая уставка между моментами синхронизации может изменяться случайным образом.

Синхронное синфазное движение предполагает соблюдение требований обоих видов движений.

В зависимости от конкретного назначения электропривода, его мощности, точности движения, ресурсов, надежности, передаточного соотношения редуктора, заданных механических и моментно-скоростных (моментно-кинематических) характеристик разработчик производит оценку и выбор электродвигателя с точки зрения их динамических возможностей и энергосбережения, отвечающим заданным требованиям по динамике. Решение этих вопросов возможно, если рассматривать систему «усилитель мощности – двигатель – редуктор» как регулируемый преобразователь первичной энергии электропривода в механическую энергию перемещения/вращения выходного вала и вопросы, связанные с применением различных многосвязных и многодвигательных взаимодействующих соединений электроприводов в РЛС [1].

Наибольшую популярность и применение нашли четыре типа электроприводов:

- электроприводы с двигателем постоянного тока, используемые в промышленных и системах специального назначения, где необходима точная регулировка частоты вращения валов (например, в ходовой части электротранспорта, в строительной технике, в изделиях морской и оборонной промышленности);

- электроприводы с асинхронным двигателем – наиболее распространенный тип двигателя, который применяется практически повсеместно благодаря высокой надежности и энергоэффективности (например, в маломощной бытовой технике общепромышленного назначения, в электроприводах станков, в электроприводах корабельных РЛС);

- электроприводы с синхронным двигателем – данные приводы отличаются большой мощностью и полезной нагрузкой;

- вентильно-индукторные приводы – это относительно новый тип электроприводов находит все большее применение в системах специального назначения.

Вентильно-индукторные приводы сочетают в себе свойства электрической машины – разновидности бесколлекторных синхронных электродвигателей с постоянными магнитами и интегрированной системы регулируемого электропривода (системы управле-

ния с преобразователем постоянного напряжения в переменное заданной частоты в зависимости от положения ротора) в широком диапазоне частоты вращения.

Эффективность работы электропривода определяет эффективность энергосбережения в целом. Стремительный прогресс в силовой электронике и микропроцессорной технике ускорил переход от аналоговых систем управления приводами на системы с цифровым управлением.

Приводы с использованием микропроцессорного управления обладают рядом достоинств:

- высокой энергоэффективностью за счет регулирования скорости вращения ротора электродвигателя и использования режима работы класса Д в выходных каскадах усилителя мощности с определенным схмотехническим построением, управляемых с помощью широтно-импульсных модуляторов, обеспечивающих высокий К.П.Д. и массогабаритные характеристики силовой части;
- возможности использования сложных программ управления приводами, что благоприятно сказывается на эффективности их работы и увеличивает надежность;
- возможности обновления программного обеспечения микропроцессоров без существенных стоимостных и временных затрат.

3. Структурная схема ПТК управления разнесенными синхронными следящими электроприводами РЛС

Комплекс взаимодействующих следящих приводных систем АУ обеспечивает возможность выполнения следующих функций:

- управление двумя электроприводами ГВ АУ корабельной РЛС в режимах раздельного вращения с постоянными периодами обзора;
- управление двумя электроприводами ГВ АУ корабельной РЛС в режимах раздельного вращения с модулированным периодом обзора;
- управление двумя электроприводами ГВ АУ корабельной РЛС в режиме синхронного синфазного вращения с постоянными периодами обзора;
- управление двумя электроприводами ГВ АУ корабельной РЛС в режиме синхронного синфазного вращения с модулированным периодом обзора;
- обеспечение допустимого углового рассогласования между двумя электроприводами ГВ АУ корабельной РЛС в установившемся режиме не более $0,1^\circ$;
- остановку электроприводов ГВ и фиксацию АУ корабельной РЛС в положении «0 курсового угла» $\pm 10^\circ$.

Данный ПТК можно представить в виде структурной схемы модели [2-4], содержащей: модуль анализа состояния и управления (МАСУ) синхронным синфазным вращением (ССВ) с анализатором и синхронизатором, пульт управления (ПУ), устройство отображения статистической информации (УОСИ) и два следящих привода, каждый из которых включает специализированный преобразователь частоты (ПЧ), ЭД, понижающий редуктор, АУ, датчик углового положения (ДУП) и электротормоз (ЭТ). Структурная схема модели данного ПТК представлена на рис. 1.

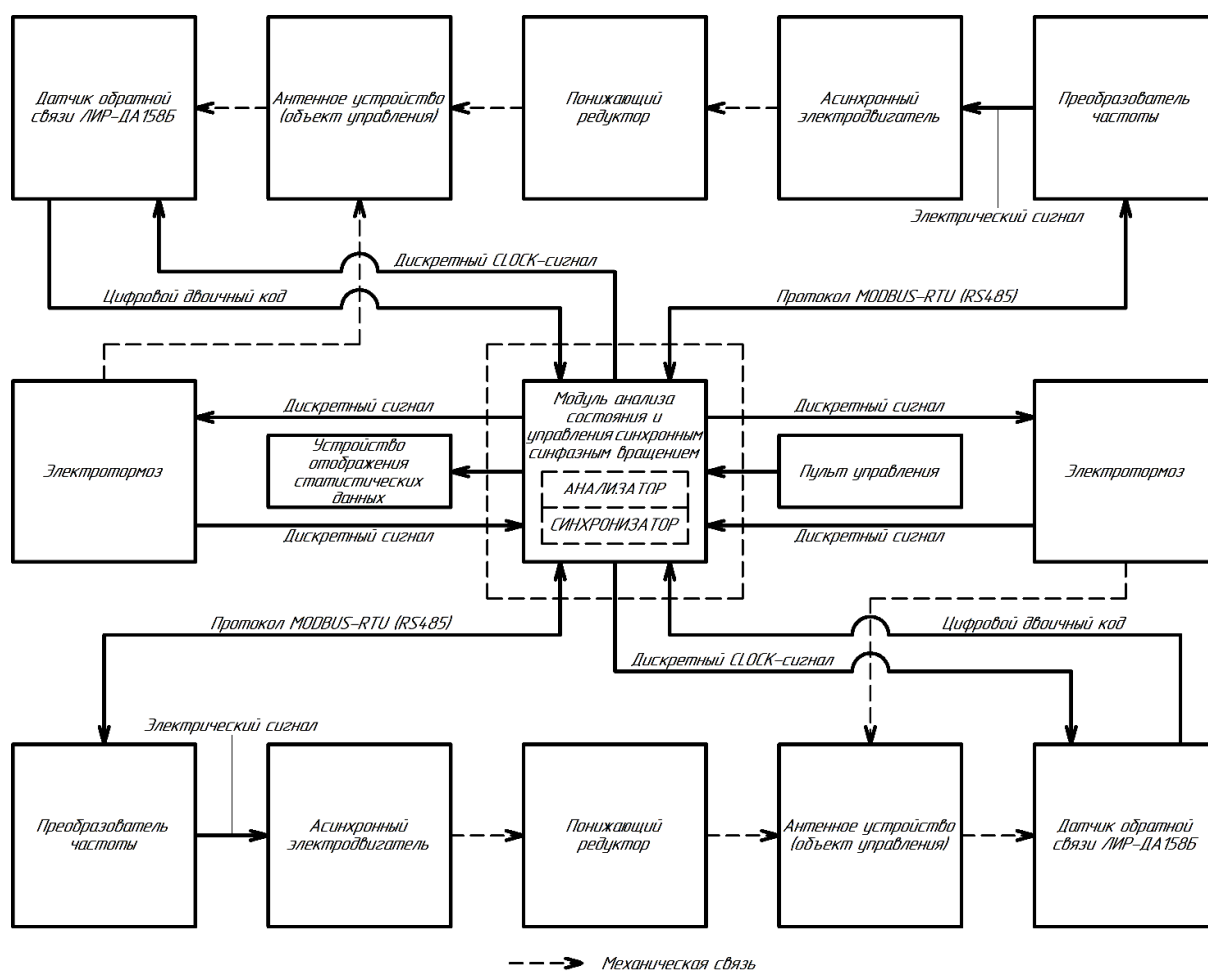


Рис. 1. Структурная схема ПТК управления многосвязными синхронными следящими электроприводами на базе асинхронных ЭД.

МАСУ ССВ является составной частью ПТК взаимодействующих систем управления следящими приводами ГВ АУ корабельных РЛС и взаимодействует с другими компонентами данного комплекса.

На вход данного МАСУ ССВ поступают сигналы выбранных режимов вращения с ПУ в виде дискретных сигналов, информация с абсолютных ДУП ЛИР-ДА158Б в виде цифрового двоичного кода и сигналы с ЭТ привода ГВ в виде разовых дискретных сигналов.

МАСУ ССВ отправляет данные по двум адресам: управляющий кадр в виде двоичного кода по протоколу MODBUS RTU (интерфейс RS-485) в специализированные ПЧ и управляющий сигнал растормаживания или затормаживания в виде дискретного сигнала в ЭТ следящего привода ГВ АУ корабельной РЛС.

4. Состав и функционирование алгоритма программно-математического обеспечения МАСУ ССВ АУ корабельной РЛС

Данное программно-математическое обеспечение (ПМО) предназначено для МАСУ ССВ двух электроприводов ГВ АУ корабельных РЛС на базе асинхронных ЭД, функционирующих в сложном взаимодействующем комплексе систем.

Важно отметить, что для реализации задач, рассматриваемых в данной статье, возможно использование других типов ЭД.

Для реализации алгоритмов данного ПМО был выбран 8-разрядный микроконтроллер (МК) с ЭСППЗУ Flash-типа 1886BE2У компании МИЛАНДР. Данный МК предназначен для применения в аппаратуре, в качестве периферийного контроллера, организующего сбор данных и первичную обработку информации. Может использоваться для организации вычислений малопроизводительных вычислительных систем и в качестве устройства совмещения различных типов интерфейсов, а также предназначен для обработки информации от группы датчиков.

ПМО МАСУ написано на машинно-ориентированном языке низкого уровня Ассемблере и представляет собой законченный программный продукт, состоящий из нескольких программных блоков, каждый из которых выполняет определенные функции:

- настройка портов ввода-вывода, скорости обмена, приемо-передатчиков, асинхронного последовательного порта, таймера и других параметров работы МК;
- проверка готовности составных частей электропривода ПТК к запуску;
- получение и обработка информации с абсолютных ДУП ЛИР-ДА158Б;
- вычисление разности текущих угловых положений двух АУ корабельной РЛС;
- формирование задания на вращение двух АУ корабельной РЛС во всех режимах работы с целью обеспечения синхронного синфазного вращения;
- формирование и отправка управляющего кадра в специализированные ПЧ;
- формирование и отправка управляющего сигнала растормаживания или затормаживания в ЭТ;
- взаимодействие с составными частями электропривода комплекса.

Структурная схема алгоритма функционирования программной части ПТК представлена на рис. 2.

Все операции с ПМО осуществляются с помощью ПУ, расположенного в центральном посту корабля.

Выполнение ПМО начинается сразу же после подключения МАСУ ССВ к корабельной сети электропитания. Перед этим необходимо подключить ПЧ и ЭТ электроприводов ПТК к корабельной сети электропитания.

По старту ПМО начинает выполняться процесс инициализации работы модуля анализа состояния и управления синхронным синфазным вращением, в ходе которого первым запускается программный модуль 3, в котором производится процесс очистки регистров пользователя (ОРП): данных переменных, констант и флагов.

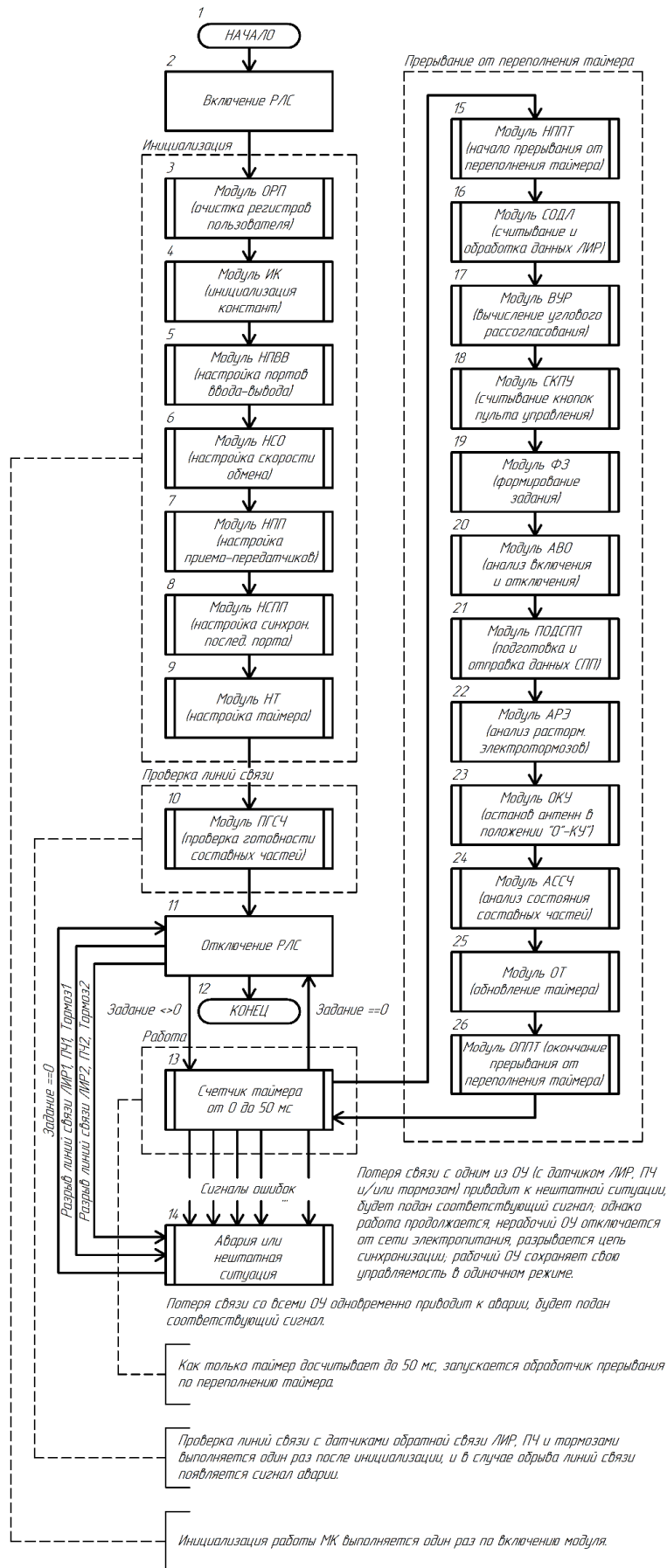


Рис. 2. Структурная схема алгоритма функционирования ПМО.

По завершению операций программного модуля 3 запускается программный модуль 4, который выполняет процесс инициализации констант (ИК), необходимых для выполнения математических операций.

По завершению операций программного модуля 4 запускается программный модуль 5, который выполняет процесс настройки портов ввода-вывода (НПВВ) микроконтроллера, необходимых для взаимодействия с составными частями электропривода комплекса.

По завершению операций программного модуля 5 запускается программный модуль 6, который выполняет процесс настройки скорости обмена (НСО) данными с преобразователями частоты по протоколу MODBUS-RTU.

По завершению операций программного модуля 6 запускается программный модуль 7, который выполняет процесс настройки приемо-передатчиков (НПП) интерфейса RS-485, необходимых для обмена данными с ПЧ по протоколу MODBUS-RTU.

По завершению операций программного модуля 7 запускается программный модуль 8, который выполняет процесс настройки синхронного последовательного порта (НСПП), необходимого для взаимодействия с составными частями электропривода комплекса.

По завершению операций программного модуля 8 запускается программный модуль 9, который выполняет процесс настройки таймера (НТ), необходимого для точного запуска основной ветки ПМО один раз в 50 мс.

На этом процесс инициализации работы модуля анализа состояния и управления синхронным синфазным вращением завершается.

Следующим начинает выполняться процесс проверки линий связи с составными частями электроприводов ПТК, в ходе которого запускается программный модуль 10, который выполняет процесс проверки готовности составных частей (ПГСЧ) электроприводов ПТК к запуску.

Результатом выполнения программного модуля 10 является регистр состояния линий связи с составными частями электроприводов ПТК. На этом процесс проверки линий связи с составными частями электроприводов ПТК завершается.

В программном блоке 11 («Отключение РЛС») производится анализ данного регистра состояния линий связи. В случае обрыва какой-либо одной линии связи из доступных для анализа формируется сигнал аварии (запускается программный блок 14 («Авария или нештатная ситуация»)), и блокируется вызов основной ветки ПМО. В случае, когда связь с составными частями электроприводов ПТК подтверждена разрешается вызов основной ветки ПМО.

При отсутствии задания (выбор необходимого режима и разрешение вращения) основная ветка ПМО вызывается, но не запускается.

Вызов основной ветки ПМО осуществляется один раз в 50 мс при переполнении таймера, в ходе которой первым запускается программный модуль 15, который выполняет процесс начала прерывания от переполнения таймера (НППТ).

По завершению операций программного модуля 15 запускается программный модуль 16, который выполняет процесс считывания данных с ДУП обратной связи ЛИР-ДА158Б в текущий момент времени и их последующей обработки (СОДЛ).

По завершению операций программного модуля 16 запускается программный модуль 17, который выполняет процесс вычисления разности углового рассогласования (ВУР) между двумя АУ корабельной РЛС в текущий момент времени с определением знака опережения или отставания одного АУ корабельной РЛС относительно другого. В режимах раздельного вращения данный модуль также запускается, но процесс вычисления разности углового рассогласования пропускается.

По завершению операций программного модуля 17 запускается программный модуль 18, который выполняет процесс считывания кнопок ПУ (СКПУ).

По завершению операций программного модуля 18 запускается программный модуль 19, который выполняет процессы анализа выбранного режима (синхронного следящего или раздельного) и формирования задания (ФЗ) для управления объектом(ами) управления (ОУ) согласно выбранному режиму вращения.

По завершению операций программного модуля 19 запускается программный модуль 20, который выполняет процесс анализа состояния кнопок включения-отключения (АВО).

По завершению операций программного модуля 20 запускается программный модуль 21, который выполняет процессы подготовки статистических данных в процессе работы и отправки подготовленных статистических данных по синхронному последовательному порту (ПОДСПП) в устройство отображения статистических данных.

По завершению операций программного модуля 21 запускается программный модуль 22, который выполняет процесс анализа растормаживания ЭТ (АРЭ) электроприводов ПТК. В случае, если нет сигнала разрешения на вращения (включения электроприводов на вращения) данный программный модуль не выполняется.

По завершению (или пропуску) операций программного модуля 22 запускается программный модуль 23, который выполняет процесс вывода АУ РЛС в положение «0 курсового угла», их останова «0 курсового угла» $\pm 10^\circ$, и затормаживание ЭТ электроприводов ПТК (ОКУ). В случае, если нет сигнала разрешения останова (отключения электроприводов ПТК) данный программный модуль не выполняется.

По завершению (или пропуску) операций программного модуля 23 запускается программный модуль 24, который выполняется анализ состояния линий связи с составными частями (АССЧ) электроприводов ПТК в процессе функционирования комплекса. Результатом выполнения программного модуля 24 является регистр состояния линий связи с составными частями электроприводов ПТК в процессе функционирования комплекса.

По завершению операций программного модуля 24 запускается программный модуль 25, который выполняет процесс обновления начального значения таймера (ОТ).

По завершению операций программного модуля 25 запускается программный модуль 26, который выполняет процесс окончания прерывания от переполнения таймера (ОППТ).

В режиме синхронного синфазного вращения случае обрыва какой-либо линии связи (у одного из ОУ) из доступных для анализа формируется сигнал нештатной ситуации (запускается программный блок 14); разрывается цепь синхронизации; нерабочий ОУ отключается от корабельной сети электропитания; рабочий ОУ сохраняет свою управляемость и переходит в режим раздельного вращения.

В случае обрыва каких-либо линий связи (всех ОУ) из доступных для анализа формируется сигнал аварии (запускается программный блок 14), формируется нулевое задание, нерабочие ОУ отключаются от корабельной сети электропитания и процесс управления прекращается.

В случае запуска программного блока 14 выполняется процесс индикации соответствующего сигнала аварии или нештатной ситуации.

На рис. 3 приведен временной график выполнения рабочих процессов ПМО.

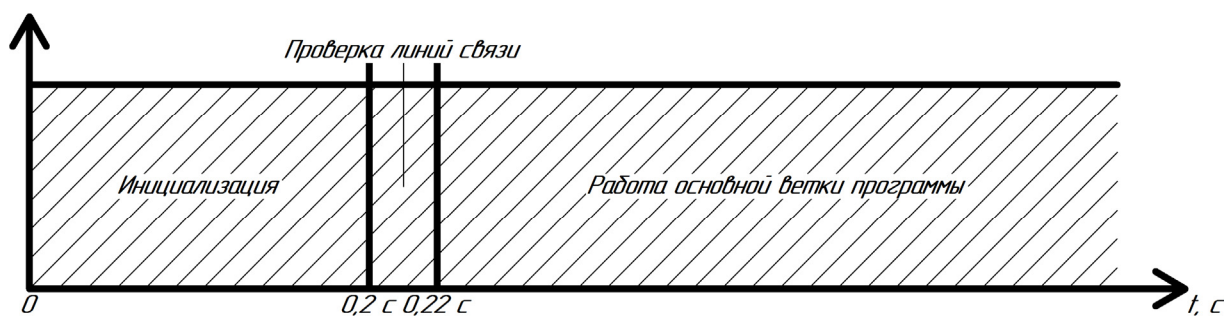


Рис. 3. Временной график выполнения рабочих процессов ПМО.

5. Заключение

Предложена схема ПТК и его алгоритм функционирования для управления многосвязными следящими электроприводами на базе асинхронных ЭД в системе ГВ АУ координатных РЛС в режиме ССВ.

Применение такого алгоритма возможно и с другими типами электродвигателей.

Список литературы

1. Ужви А.Г. Обобщенные характеристики серводвигателя и их применение // Известия вузов. Электромеханика. 1967. № 9.
2. Частотный преобразователь. Преобразователь частоты с управлением вектором потока EI-9011 (с функцией копирования). Руководство по эксплуатации ч.1 и ч.2. ВАЮУ.435X21.001-03РЭ. ВЕСПЕР. Версия 3.0 и 3.1.
3. Щелованов Л.Н. и др. Основы теории автоматического управления / Учебное пособие. СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та., 1997. 80 с.
4. Унучин А.С. Системы управления электроприводов / Учебник для вузов. М.: Издательский дом МЭИ, 2015. 373 с.