

Д. т. н. В. И. КОНДРАШОВ, В. Н. ФЕДОРЕНКО

Украина, г. Киев, Нац. авиационный ун-т, з-д "Радиоизмеритель"
E-mail: avia_kiev@mail.ru

Дата поступления в редакцию
25.10 2001 г.

Оппонент д. т. н. В. М. ИЛЮШКО
(НАКУ "ХАИ", г. Харьков)

БОРТОВЫЕ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА БЛИЖНЕЙ НАВИГАЦИИ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ПОСАДКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Серийно выпускаемое на Украине бортовое навигационное и посадочное радиооборудование ЛА сопоставляется с лучшими зарубежными образцами аналогичного назначения.

В настоящее время в мире насчитывается более 250 тысяч гражданских самолетов, подавляющее большинство из которых являются потребителями радиотехнических систем ближней навигации и посадки [1, 2]. Основными средствами ближней навигации и посадки для самолетов, регламентированными международной организацией гражданской авиации (ICAO), являются соответствующие угломерные системы, работающие в метровом диапазоне частот: VOR — Very High Frequency Omnidirectional Range, ILS — Instrumental Landig System.

Широкое распространение систем навигации VOR и посадки ILS и наивысшие их характеристики по критерию «стоимость — эффективность» дают основание полагать, что эти системы будут широко эксплуатироваться и впредь. В наибольшей степени этот вывод относится к европейским, азиатским, африканским странам, где введение более дорогостоящего оборудования микроволновой системы посадки MLS затягивается на неопределенный срок, а в аэропортах продолжается установка оборудования ILS. Введение же систем спутниковой навигации NAVSTAR (США) и ГЛОНАС (Россия) как основных радионавигационных средств проблематично [1, 3] ввиду их принципиальных системных особенностей и организационных (в т. ч. межгосударственных) трудностей. В связи с этим VOR остается в настоящее время основной регламентированной системой трассовой навигации.

Серийный выпуск бортового оборудования систем VOR, ILS освоен в США (фирмы Collins, Bendix King), во Франции (EAS), на Украине (Киевский завод «Радиоизмеритель»). Одним из лидеров в выпуске наземного цифрового оборудования нового поколения являются ФРГ (Sel), а также Россия (НПО «Полет»). Годовая стоимость эксплуатации (для США) системы VOR/DME составляет 37 млн. дол., спутниковой системы навигации Navstar — 250 млн. дол. [4]. Стоимость бортового оборудования систем ILS, VOR/DME, а также микроволновой системы

посадки MLS представлена в табл. 1 (комплектация бортовых приемников: одиночный, сдвоенный, строчный варианты — для различных типов летательных аппаратов).

Таблица 1

Наименование оборудования	Фирма, страна	Стоимость одного приемника
ILS-2300	EAS, Франция	45 тыс. франков
MLS-20	Bendix, США	12—14 тыс. дол.
VOR	"	10 тыс. дол.
DME	"	10 тыс. дол.
ILS-85	КЗ "Радиоизмеритель", Украина	8 тыс. дол.
VOR-85	То же	7 тыс. дол.

Эксплуатационная точность радиотехнической системы является ее важнейшей характеристикой. При полетах летательных аппаратов (ЛА) принято выделять аппаратную ошибку (АО) и ошибку, обусловленную техникой пилотирования (ОТП). Как показано в [3], для навигационной системы VOR в сочетании с дальномерной системой дециметрового диапазона частот (DME) при полетах на внутренних авиалиниях ОТП, выраженная в величине линейного бокового отклонения, на дальности 46 км составляет величину $2 \times 1,85 = 3,7$ км, а АО — лишь $0,8 \times 1,85 = 1,5$ км. Отсюда можно заключить, что существующая эксплуатационная АО значительно меньше ОТП, и нет смысла в дальнейшем вкладывать средства для улучшения точности данной радиотехнической системы навигации. Точность существующих систем посадки ILS может отвечать требованиям посадки по III категории ICAO, т. е. полностью удовлетворяет международным требованиям инструментальной посадки ЛА.

Зона действия радиотехнической системы также является важнейшим критерием ее качества. Зона действия навигационных систем VOR/DME определяется радиогоризонтом и при существующем размещении наземного оборудования удовлетворяет радиотехническому обеспечению внутренних авиалиний США и европейских стран [2]. Зона действия систем ILS также удовлетворяет требованиям ICAO.

Таблица 2

	Тип приемника			
	ILS-85 (Украина)	ILS-2300 (Франция)	VOR-85 (Украина)	DVR-2200 (Франция)
	Назначение приемника			
	Выдача информации об угловых отклонениях от траектории посадки — PGM		Выдача информации об азимуте полета и пролете маркерных маяков — градус	
	Режимы работы			
	ILS/СП-50	ILS	VOR	VOR
	Диапазон частот, МГц			
	—	—	108,0—117,95 (кроме 108,10—111,8)	108,0—117,95 (кроме 108,10—111,8)
Курс	108,0—111,95	108,0—111,95	—	—
Глиссада	328,6—335,4	328,6—335,4	—	—
Маркер	—	—	75	75
	Количество частотных каналов			
	40	40	160	160
	Погрешность определения (2σ)			
Курс, PGM	0,004	0,004	—	—
Глиссада, PGM	0,009	0,009	—	—
Навигация, градус	—	—	0,4	0,4
	Чувствительность приемника, мкВ			
Курс	1,5—3,0	2,5	—	—
Глиссада	3,0—6,0	10	—	—
Навигация	—	—	1,5—3,0	2
Маркер	—	—	200—1500	200—1500
	Помехозащитенность, дБ, не менее			
	80	80	80	80
	Потребляемая мощность основного блока			
	28 ВА	28 Вт	28 ВА	28 Вт
	Наработка на отказ, ч			
	3500	4272	5000	5400
	Масса основного блока, кг			
	5,3	4,5	5	4,8
	Габариты основного блока, мм			
	90,4×320×194	90,4×320×194	90,4×320×194	90,4×320×194
	Полнота автоматизированного встроенного контроля			
	0,99	0,99	0,99	0,99
	Элементная база			
	Микросхемы, микро-процессор, микросборки	БИС, микро-процессор	Микросхемы, микропроцессор, микросборки	БИС, микропроцессор
	Диапазон рабочих температур			
	-60...+70°C	-55...+70°C	-60...+70°C	-55...+70°C
	Расход воздуха для охлаждения			
	0,01 м ³ /с	Не имеется	0,01 м ³ /с	Не имеется

Высокие технико-экономические характеристики и снижающаяся стоимость навигационно-посадочного оборудования метрового диапазона определяют большое число их пользователей. Так, только в США число пользователей системой VOR/DME составляет более 200 тыс., а системой ILS — более 70 тыс. [1]. Количество наземных радиомаяков системы VOR во всем мире составляет 909, систем VOR/DME — 694, и их число увеличивается.

Системы навигации и посадки VOR/DME и ILS по техническим и конструктивным характеристикам соответствуют международным стандартам и для самолетов гражданской авиации гарантируются ICAO, а большое число пользователей этих систем определяет их эксплуатацию и в будущем.

Рассмотрим сравнительные характеристики бортовых приемников IV поколения систем VOR и ILS исходя из технической конъюнктуры рынка навигационно-посадочного оборудования. При этом отметим, что украинские бортовые приемники ILS-85 [5] выполняют и дополнительные, отсутствующие в зарубежной аппаратуре, системные функции по посадке ЛА на аэродромы, оборудованные устаревающими системами посадки отечественного производства СП-50, -70. В навигационных приемниках VOR-85 [6] совмещены функции маркерного канала.

По техническим и конструктивным характеристикам среди зарубежных бортовых приемников нам наиболее известны навигационные приемники DVR-2200 и посадочный приемник ILS-2300 (EAS, Франция). Основные характеристики бортовой украинской [5] и французской [7, 8] аппаратуры представлены в табл. 2 (здесь PGM — параметр точностных характеристик бортового оборудования систем ILS [9, с. 8]).

Следует отметить, что оборудование VOR-85 и ILS-85 создано на отечественной элементной базе, которая в 2,06 раза объем-

ней и тяжелей аналогичной зарубежной (статистическая оценка ВНИИ радиоаппаратуры, Россия) и заметно уступает ей по характеристикам надежности. Однако принятые при разработке и освоении оригинальные системные, схмотехнические, конструктивные, программно-математические решения [5] и др. позволили практически нейтрализовать этот фактор и, как можно заключить из табл. 2, вписаться в унифицированные международные габариты, создать приемники, которые по подавляющему большинству принципиальных характеристик соответствуют лучшим зарубежным образцам.

Основным элементом бортового оборудования системы навигации VOR и системы посадки ILS являются соответственно бортовые приемники VOR-85 и ILS-85, которые жестко регламентированы по техническим и конструктивным характеристикам международными рекомендациями ARINC серии 700 и отечественной нормативно-технической документацией. Они взаимодействуют с наземными маяками различных типов, выполняют различные функции, следовательно, унификация их на уровне блоков невозможна. Тот же вывод относится к возможности их унификации относительно отечественных изделий III поколения аналогичного назначения, например изделия «Курс МП-70», которое по выходным сигналам (связям с внешними системами), конструктивным характеристикам и т. д. не соответствует требованиям ARINC серии 700.

Нужно отметить, что по конструктивным характеристикам блоков приемники VOR-85 и ILS-85 полностью унифицированы. Типоразмер корпусов основных блоков обоих изделий — 3, что соответствует международному стандарту ЗМСИ с размерами, приведенными в табл. 2. Электрическое соединение блока с монтажным устройством выполнено с помощью соединителя врубного типа, позволяющего взаимозамену отечественного оборудования с зарубежными блоками аналогичного назначения на борту ЛА.

На уровне составных частей блоков, т. е. электронных модулей, унификация бортовых приемников осуществлена самым широким образом. Так, использование одного и того же диапазона сетки частот, одинаковые требования по чувствительности, помехозащитности, стабильности и т. д. для курсового канала приемника ILS-85 и навигационного канала приемника VOR-85 позволили унифицировать ряд высокочастотных электронных модулей, а подобие решаемых задач, одинаковый тип связей с внешними системами, номиналов источников вторичного электропитания и т. д. позволили унифицировать ряд низкочастотных и цифровых электронных модулей указанных приемников. Степень их унификации составляет 55%.

Блок радиоприемный ILS-85 представляет собой бортовую аппаратуру посадки самолетов по маякам типа ILS и предназначен для работы в составе комплекса стандартного цифрового пилотажно-навигационного оборудования (КСЦПНО) и приема сигналов курсового и глиссидного наземных маяков, определения по ним информации об откло-

нении самолета от курса и глиссиды посадки и выдачи этой информации на индикацию и систему автоматического управления полетом.

Схема электрическая структурная блока представлена на рис. 1, где приняты условные сокращения сигналов: *НЧК* — низкочастотный курсовой; *НЧГ* — низкочастотный глиссидный; *НЧнГ* — низкочастотный нормирующий глиссидный; *Код СЧК* — код синтезатора частот курсового; *Код СЧГ* — код синтезатора частот глиссидного; *Вкл ПЧ* — включение промежуточной частоты; *Запрет н/к* — запрет перестройки и контроля; *Пост вых данные К* — постоянные выходные данные курсовые; *Пост вых данные Г* — постоянные выходные данные глиссидные; *Прер вых данные К* — прерванные выходные данные курсовые; *Прер вых данные Г* — прерванные выходные данные глиссидные; *Управл вых данными К* — управление выходными данными курсовыми; *Управл вых данными Г* — управление выходными данными глиссидными; *НЧ контр* — низкочастотный контрольный; *ГГ* — гетеродина глиссидного; *ГК* — гетеродина курсового; *Готов СЧК* — готовность СЧК; *ТЛФ* — телефон; *Канал МП* — канал мультиплектора.

Блок состоит из модулей — высокочастотного курсового (МВЧК), синтезатора частот курсового (СЧК), модуля высокочастотного глиссидного (МВЧГ), синтезатора частот глиссидного (СЧГ), специализированного цифрового вычислительного устройства (СЦВУ), модуля цифрового обмена (МЦО), модуля телефонного канала (МТК), модуля аналого-цифрового преобразователя посадочного (МАЦПП), модуля вторичного электропитания (МВЭП).

Блок выполнен на базе оригинальной несущей конструкции типа сборки из функционально-конструктивных модулей (ФКМ), соответствующей по габаритным и установочным размерам международному стандарту «ARINC-600». ФКМ представляет собой конструктивное сочленение двух модулей — печатных плат и передней панели. Такое построение ФКМ позволяет получить унифицированный размер КМ — 244×174×20 мм. Объединив модули блока в пары МВЧК и СЧК (КМ-1), СЦВУ и МЦО (КМ-2), МАЦПП и МВЭП/МТК (КМ-3), МВЧГ и СЧГ (ILS-85), получаем четыре ФКМ, которые составляют блок. При этом отпадает необходимость в корпусе блока, поскольку соединенные между собой ФКМ являются законченной блоковой конструкцией. На задней панели блока ILS-85 установлен соединитель типа «ВКАД», с помощью которого осуществляется электрическая связь с бортовыми самолетными системами. Блок размещается на монтажной раме либо на стеллаже КСЦПНО самолета.

Модули, входящие в состав блока, осуществляют прием высокочастотных сигналов с курсовой и глиссидной антенн (как в режиме ILS, так и СП-70), аналого-цифровое преобразование выделенных низкочастотных составляющих, их обработку и формирование информации заданного формата. Кроме того, часть элементов блока используется для организации встроенного контроля работоспособности блока. Обработка информации, управление работой модулей осуществляются с помощью СЦВУ.

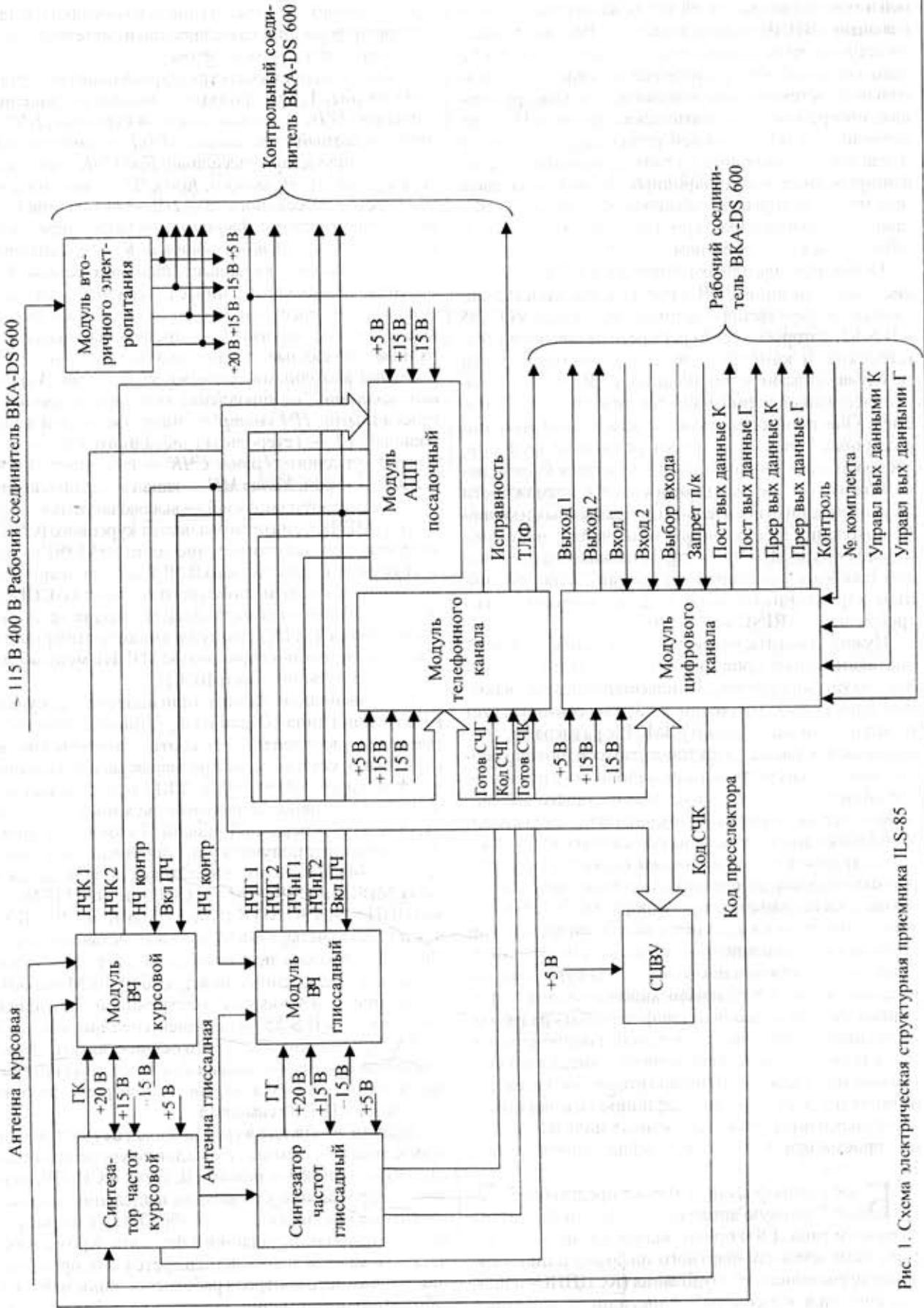


Рис. 1. Схема электрическая структурная приемника ILS-85

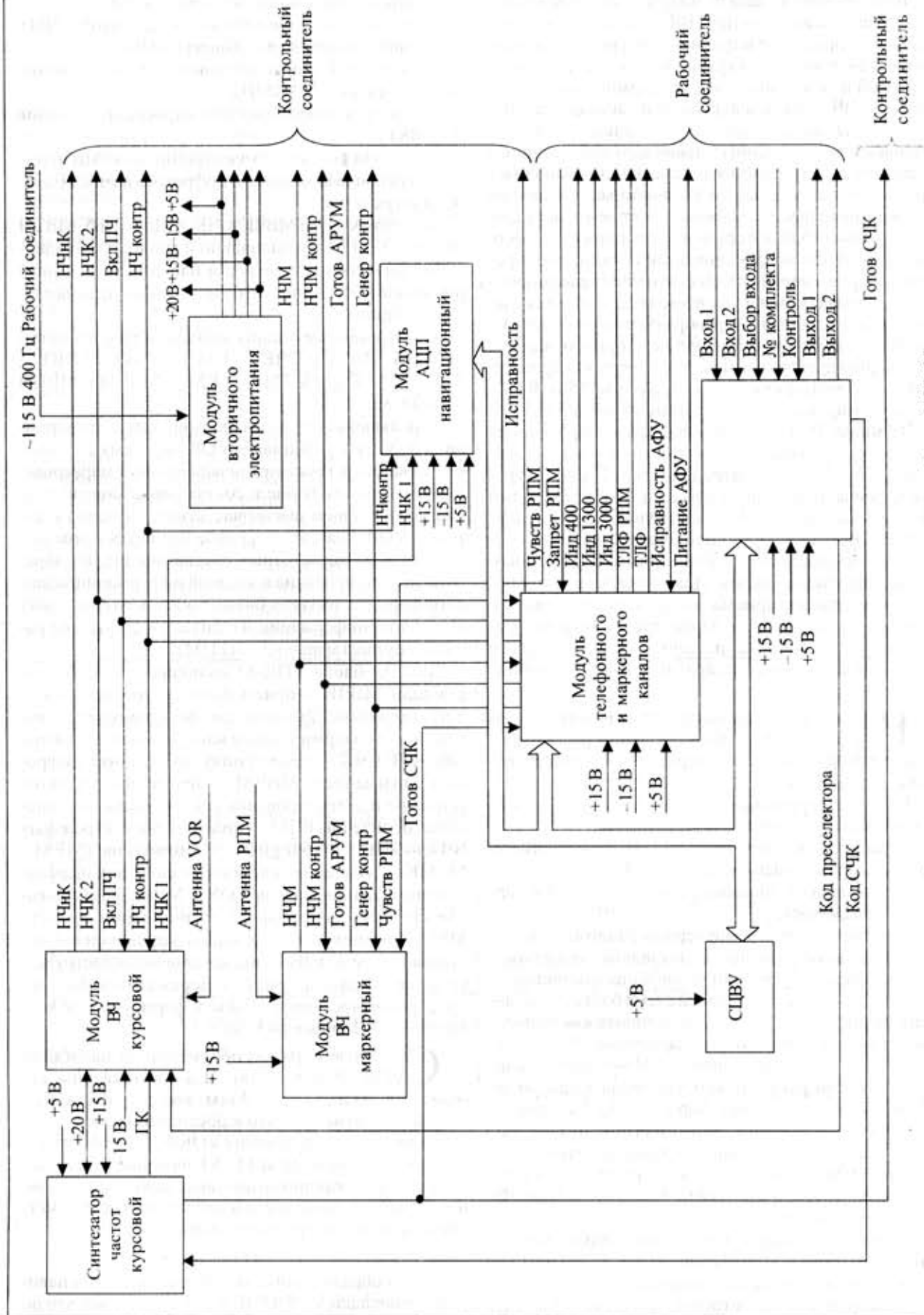


Рис. 2. Схема электрическая структурная радиоприемного блока VOR-85

Блок состоит из девяти модулей, которые выполняют следующие функции: ВЧ курсовой и ВЧ глассадный — прием, фильтрацию, усиление, детектирование ВЧ-сигналов, поступающих соответственно от курсовой и глассадной антенны, формирование контрольных ВЧ-сигналов курсовых и глассадных; синтезаторы частот, курсовой и глассадный, — самонастраиваемые гетеродины с цифровым управлением в курсовом и глассадном каналах; СЦВУ выполняет программы, записанные в постоянном запоминающем устройстве цифрового обмена, — прием и передачу биполярного кода, которым осуществляется информационный обмен с внешними системами, формирование и прием управляющих сигналов; телефонного канала — выделение и усиление телефонного сигнала; АЦП посадочный — преобразование входных аналоговых сигналов в цифровую форму и выдачу результатов преобразования; вторичного электропитания — преобразование напряжения сети 115 В, 400 Гц в стабилизированные постоянные напряжения 5, 15, 20 В и минус 15 В, используемые для электропитания всех модулей блока. Для организации взаимодействия, управления и контроля модули СЦВУ, цифрового обмена, телефонного канала и АЦП посадочный связаны между собой стандартной 16-разрядной шиной. Обмен информацией блока с внешними системами осуществляется биполярным 32-разрядным последовательным кодом. Для проверки работоспособности трактов приема и обработки курсовых и глассадных сигналов в блоке предусмотрена разветвленная система встроенного автоматического контроля на основе аппаратных и программных средств.

В связи с глубокой аппаратурной унификацией с блоком ILS-85 блока VOR-85 рассмотрим только отличительные характеристики и принцип действия последнего.

Блок радиоприемный VOR-85 в составе КСЦПО предназначен для определения и выдачи:

- азимута самолета относительно магнитного меридиана, проходящего через маяк VOR;
- сигналов опознавания радиомаяков VOR и маркерных радиомаяков;
- момента пролета маркерных радиомаяков.

Выходная информация блока используется комплексом для автоматизации управления самолетом.

Электрическая структурная схема блока представлена на рис. 2, где РПМ — радиоприемник маркерный; НЧМ — низкочастотный маркерный; НЧМ контр — НЧМ контрольный; Готов АРУМ — готовность автоматической регулировки усиления маркерной; НЧнК — низкочастотный нормирующий курсовой; Вкл ПЧ — включение промежуточной частоты; Генер контр — включение генератора контрольного; Чувств РПМ — чувствительность РПМ; Готов СЧК — готовность синтезатора частот курсового; Код СЧК — код синтезатора частот курсового; Канал МП — канал мультиплексора; Инд — индикация; АФУ — антенно-фидерное устройство.

Блок состоит из восьми модулей:

- модуля высокочастотного курсового (МВЧК);

- синтезатора частот курсового (СЧК);
- модуля высокочастотного маркерного (МВЧМ);
- модуля цифрового обмена (МЦО);
- модуля аналого-цифрового преобразования навигационного (МАЦМН);
- модуля телефонного и маркерного каналов (МТМК);
- модуля вторичного электропитания (МВЭП);
- специализированного цифрового вычислительного устройства.

При этом модули МВЧК, СЧК, МЦО, СЦВУ, МВЭП блока VOR-85 функционально и аппаратурно идентичны аналогичным модулям блока ILS-85. Конструктивное исполнение этих блоков выполнено на единых принципах.

Объединенные в пары модули образуют четыре ФКМ: МВЧК и СЧК — КМ-1, СЦВУ и МЦО — КМ-2, МАЦМН и МТМК — КМ-3, МВЧМ и МВЭП — VOR-85.

Для выполнения задач формирования информации об азимуте радиомаяка VOR, звуковых сигналов опознавания, а также признаков пролета маркерных радиомаяков входящие в состав блока модули осуществляют прием высокочастотных сигналов с антенны VOR, аналого-цифровое преобразование выделенных низкочастотных составляющих, их обработку и формирование выходной информации заданного формата. Модули блока также образуют тракт выделения информации из сигналов с антенны радиоприемника маркерного (РПМ).

Модули блока VOR-85 выполняют следующие функции: МВЧК — прием, фильтрацию, усиление и детектирование ВЧ-сигналов, поступающих от антенны VOR, формирование контрольных ВЧ-сигналов VOR; СЧК — перестройку гетеродина с цифровым управлением; МВЧМ — прием, фильтрацию, усиление и детектирование ВЧ-сигналов, поступающих от антенны РПМ, формирование контрольных ВЧ-сигналов маркерных радиомаяков (МРМ); МТМК — усиление телефонных сигналов и сигналов опознавания маяков VOR и МРМ, формирование сигналов контрольных и индикации пролета МРМ, формирование сигналов управления и исправности; МАЦМН — выделение низкочастотных (НЧ) сигналов опорной и переменной фаз, их преобразование в цифровой код, формирование контрольных НЧ-сигналов VOR.

Серийные образцы оборудования навигации VOR-85 и посадки ILS-85 показаны соответственно на рис. 3 и 4 (см. 3-ю стр. обложки).

Следует отметить, что в обеспечение эксплуатации и ремонта оборудования VOR-85 и ILS-85 разработан [10] на базе ЭВМ PC/AT наземный вычислительно-управляющий комплекс оценки ("по состоянию") работоспособности аппаратуры и ее параметров безопасности при эксплуатации.

Таким образом, опыт эксплуатации систем навигации и посадки VOR/DME и ILS показывает, что по

большинству технико-эксплуатационных характеристик, экономических и организационных факторов они наиболее удовлетворяют требованиям гражданской авиации. Продолжаются заказы на установку систем VOR/DME и ILS в США и, в еще большей степени, в европейских, азиатских и африканских странах. Широкое распространение таких систем и наивысшие показатели по критерию "стоимость — эффективность" обуславливают их широкую эксплуатацию и впрямь.

Отечественным специалистам за счет неординарных системотехнических, схемотехнических, программно-математических, конструктивных решений удалось на элементной базе, в 2,06 раза превышающей зарубежную по объему и массе, создать, серийно и эксплуатационно освоить бортовое оборудование навигации VOR-85 и посадки — ILS-85 с характеристиками, практически идентичными характеристикам лучших зарубежных образцов, и взаимозаменяемое с ними на борту летательных аппаратов. Это позволило бортовое оборудование VOR-85 и ILS-85 принять штатным для самолетов, выходящих на авиалинии в конце XX — начале XXI века: ИЛ-96, ТУ-204, ИЛ-114, ТУ-334, Ан-218 и др.

Для наземного контроля работоспособности и оценки параметров оборудования VOR-85 и ILS-85 создан информационно-вычислительный, эксплуатационно-ремонтный комплекс, отвечающий требованиям международной организации гражданской авиации ICAO к оборудованию контроля такого назначения.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Додингтон С. Х. Краткий обзор радионавигационных систем // ТИИЭР. — 1983. — Т. 71, № 10. — С. 2—4.
2. Зурабов Ю. Г., Мищенко И. Н., Мельников В. Г. План развития радионавигационных систем в США // Зарубежная радиоэлектроника. — 1983. — № 9.
3. Хогл П. Сравнительный анализ характеристик навигационных систем с учетом требований гражданской авиации к навигационному обеспечению // ТИИЭР. — 1983. — Т. 71, № 10. — С. 115—122.
4. Бортовая РЭА для авиации общего назначения // Flight Internation. — 1982. — Vol. 122, N 3841. — P. 1752—1758.
5. А. с. 1344064 СССР. Приемник инструментальной посадки / В. И. Кондрашов, В. К. Сопрунов, В. Н. Музыченко и др. — 16.01.86.
6. А. с. 1128793 СССР. Радиоприемник сигналов все-направленного маяка фазовой системы ближней навигации / В. И. Кондрашов, Г. Ф. Гушин, В. В. Кузьмин, Б. П. Чернов. — 18.07.83.
7. DVR 2200. VOR/MARKER RECEIVER. Проспект фирмы EAS.
8. ILS 2300. ILS RECEIVER. Проспект фирмы EAS.
9. Хаймович И. А., Устров Ю. Е., Панов Э. А. и др. Бортовые радиоустройства посадки самолетов. — М.: Машиностроение, 1980.
10. Кондрашов В. И., Федоренко В. М. Автоматизованный комплекс входного контролю і перевірки працездатності бортової навігаційної та посадочної апаратури // Експрес-новини: наука, техніка, виробництво. — 1996. — № 9 — 10. — С. 3—4.

Редакция журнала

«ТЕХНОЛОГИЯ И КОНСТРУИРОВАНИЕ В ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЕ»
приглашает читателей журнала, предприятия и организации к сотрудничеству

**В
Ы
М
О
Ж
Е
Т
Е**

подготовить статью — рекомендации авторам по подготовке рукописи опубликованы в этом номере журнала.

разместить в журнале рекламу, черно-белую или полноцветную.

заказать издание книги (редакция зарегистрирована как издательское предприятие). В этом случае для удешевления и ускорения работ необходимы контакты на ранних этапах оформления рукописи.

написать письмо по поводу, представляющему, на Ваш взгляд, интерес для читателей журнала.

задать вопрос, который, как Вы считаете, интересует не только Вас.

Журнал «ТКЭА» — для Вас.

Пишите (лучше — по e-mail <tkea@odessa.net>),
звоните (+38—048) 733-72-83, 733-67-91.