



**Министерство образования и науки Украины
Севастопольский национальный технический
университет**

Методические указания

Лабораторный практикум

по дисциплине

«Системы и сети телевидения»

для студентов специальности 7.090701 — «Радиотехника»

дневной и заочной форм обучения

Севастополь

2008

Лабораторный практикум по дисциплине «Системы и сети телевидения»: методические указания для студентов специальности 7.090701 — «Радиотехника» дневной и заочной форм обучения / Ю.П. Михайлюк. — Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2008. — 92 с.

Целью данной методической разработки является оказание помощи студентам очной и заочной форм обучения в подготовке и выполнении лабораторных работ по дисциплине «Системы и сети телевидения», а также в получении ими теоретических знаний и практических навыков анализа параметров и характеристик телевизионных систем и сетей.

Рассмотрено и утверждено на заседании научно-методического семинара кафедры радиотехники (протокол № 5 от 27 декабря 2007 г.)

Допущено учебно-методическим центром СевНТУ в качестве методических указаний.

Рецензент:

доцент кафедры радиотехники, канд. техн. наук, доцент Слѣзкин В.Г.

Ответственный за выпуск:

заведующий кафедрой радиотехники, д-р техн. наук, проф.

Гимпилевич Ю.Б.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Лабораторная работа № 1.	
Исследование параметров систем цветного телевидения <i>PAL</i> и <i>NTSC</i>	5
2. Лабораторная работа № 2	
Исследование СВЧ тракта приемного устройства системы спутникового телевизионного вещания.....	24
3. Лабораторная работа № 3	
Исследование тюнера приемного устройства системы спутникового телевизионного вещания	39
4. Лабораторная работа № 4	
Исследование характеристик ПЗС видеокамеры	51
5. Лабораторная работа № 5	
Исследование спектральных характеристик телевизионных сигналов ..	72
Библиографический список	82
Приложение А. Структурная схема тюнера спутникового телевидения «Ласпи ТСТ-01»	83
Приложение Б. Краткое описание программы <i>SMW Link</i>	85

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Системы и сети телевидения» завершает дисциплины телевизионного цикла. Она изучается студентами специальности 7.050901 — Радиотехника дневной и заочной форм обучения в 9-м и 10-м семестрах соответственно.

В лабораторный практикум включены пять лабораторных работ.

Методические рекомендации по выполнению каждой лабораторной работы содержат следующие разделы: цель работы; теоретическая часть; описание лабораторной установки; порядок выполнения теоретических и экспериментальных исследований; контрольные вопросы для допуска к работе и для подготовки к защите.

Подготовка к выполнению каждой лабораторной работы предполагает изучение теоретического материала, как приведенного в настоящем пособии, так и сведений из лекционного курса и рекомендованной учебной литературы по дисциплине. Первый этап выполнения работы — теоретические исследования — проводится в соответствии с программой исследований и на основании индивидуальных исходных данных. Результаты теоретических исследований оформляются каждым студентом в виде первой части отчета, которая проверяется преподавателем, и студент допускается к выполнению экспериментальных исследований. Экспериментальные исследования проводятся бригадой из 2...3 студентов, однако выполняются на основании индивидуального задания каждого студента. В процессе экспериментов студенты должны вести подробный протокол, который подписывается преподавателем. В итоге каждый студент оформляет отчет, который должен содержать следующие разделы:

- цель работы;
- результаты теоретических исследований;
- структурная схема лабораторной установки;
- результаты экспериментальных исследований;
- выводы по результатам теоретических и экспериментальных исследований.

1. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ ЦВЕТНОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ *PAL* И *NTSC*

1.1. Цель работы

Целью лабораторной работы является ознакомление студентов с принципами построения систем цветного телевидения *PAL* и *NTSC* путем теоретического и экспериментального исследования основных параметров этих систем.

1.2. Теоретические сведения

1.2.1. Система цветного телевидения *NTSC*. В системе цветного телевидения (ЦТВ) *NTSC* (как и в в системе *PAL*) полный цветовой телевизионный сигнал (ПЦТС) состоит из сигнала яркости (СЯ) E_Y и двух цветоразностных сигналов (ЦРС) E_{R-Y} и E_{B-Y} . В обеих рассматриваемых системах ЦТВ применяется метод частотного уплотнения сигнала яркости двумя сигналами цветности, причём спектры ЦРС переносятся на одну поднесущую частоту, выбираемую в высокочастотной части спектра сигнала яркости.

В системе *NTSC* для передачи двух сигналов цветности при помощи одной поднесущей частоты применяется квадратурная балансная модуляция. Для этого ЦРС поступают на два балансных модулятора (БМ). Модулируемые колебания имеют одинаковые значения частоты ω_{Π} (поднесущая частота), но сдвинуты по фазе на 90° . В каждом БМ осуществляется перемножение модулирующего сигнала и сигнала поднесущей частоты, поэтому на выходах двух БМ образуются сигналы следующего вида:

$$s_{\text{вых1}}(t) = E_{B-Y} \cos(\omega_{\Pi} t);$$

$$s_{\text{вых2}}(t) = E_{R-Y} \cos(\omega_{\Pi} t - 90^\circ) = E_{R-Y} \sin(\omega_{\Pi} t).$$

При этом в спектре каждого из этих сигналов появляются две пары боковых полос. Сигналы поднесущей частоты ω_{Π} подавляются и формируется балансно-модулированный сигнал. Получающиеся на выходах БМ квадратурные составляющие поступают на сумматор, на выходе которого образуют сигнал

цветности (СЦ) следующего вида:

$$e_{\text{СЦ}}(t)E_{\text{СЦ}} = E_{R-Y}\cos(\omega_{\text{н}}t) + E_{B-Y}\sin(\omega_{\text{н}}t) = E_{\text{СЦ}_m}\cos(\omega_{\text{н}}t + \varphi_{\text{СЦ}}),$$

где $E_{\text{СЦ}_m} = \sqrt{E_{R-Y}^2 + E_{B-Y}^2}$ — амплитуда СЦ;

$\varphi_{\text{СЦ}} = \arctg(E_{R-Y}/E_{B-Y})$ — начальная фаза СЦ.

Сигнал цветности можно рассматривать либо как сумму двух независимых квадратурных составляющих, либо как одну поднесущую с амплитудно-фазовой модуляцией (рис. 1.1).

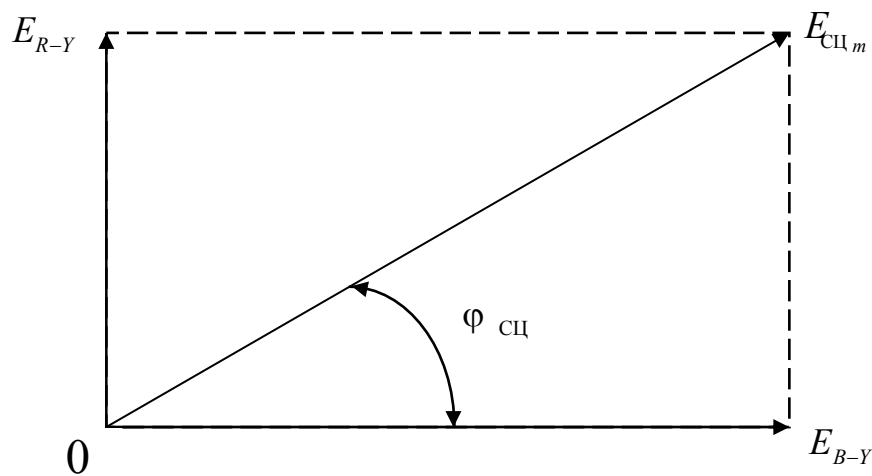


Рис. 1.1 — Сигнал цветности и его квадратурные составляющие

Параметры сигналов (величины размахов СЯ и ЦРС; амплитуда и начальная фаза СЦ) для некоторых характерных цветов приведены в таблице 1.1 и отражены на рис. 1.2.

Векторная диаграмма (см. рис. 1.2.) имеет следующие особенности:

- каждому цвету соответствует определённое угловое положение вектора сигнала цветности;
- дополнительные цвета имеют одинаковую амплитуду СЦ и противоположную начальную фазу;
- амплитуда СЦ передает информацию о насыщенности цвета, а начальная фаза — о цветовом тоне; при этом начальная фаза СЦ в зависимости от передаваемого цвета изменяется от 0 до 360°;
- начало координат соответствует белому цвету.

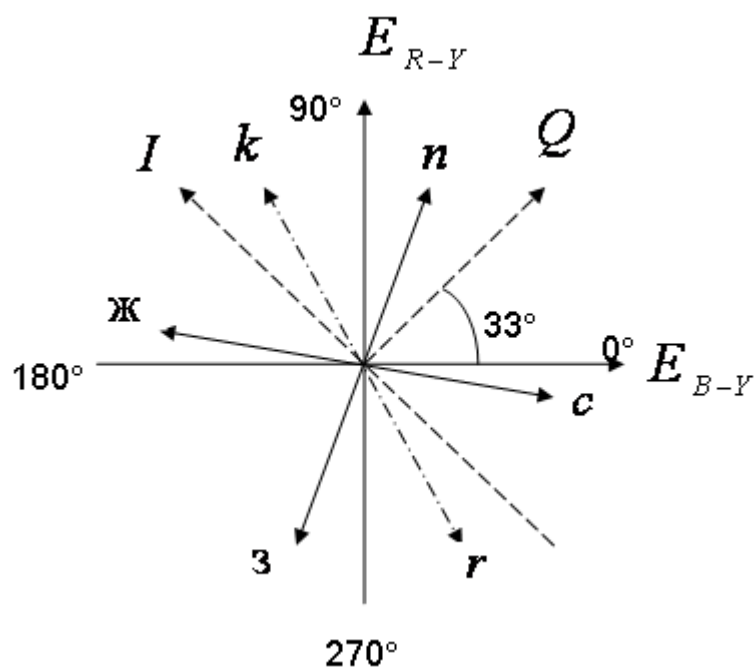


Рис. 1.2 — Векторная диаграмма, соответствующая передаче цветов методом квадратурной модуляции

Таблица 1.1 — Параметры сигналов ЦТВ при квадратурной модуляции

Цвет	Размах сигналов цветов (в относительных единицах)							
	E_R	E_G	E_B	E_Y	E_{R-Y}	E_{B-Y}	$E_{\text{СЦ}m}$	$\Phi_{\text{СЦ}}$
Белый	1	1	1	1	0	0	0	—
Жёлтый	1	1	0	0,89	0,11	− 0,89	0,9	172,8
Голубой	0	1	1	0,7	− 0,7	− 0,3	0,76	293
Зелёный	0	1	0	0,59	− 0,59	− 0,59	0,85	225
Пурпурный	1	0	1	0,41	0,59	− 0,59	0,85	45
Красный	1	0	0	0,3	0,7	− 0,3	0,76	113,2
Синий	0	0	1	0,11	− 0,11	0,89	0,9	353
Чёрный	0	0	0	0	0	0	0	—

Так как предельные значения E_{R-Y} и E_{B-Y} различны, то доля энергия, приходящаяся на модулированные сигналы, будет разной. Для улучшения условий передачи вместо сигналов E_{R-Y} и E_{B-Y} используются сигналы E_U и E_V ,

которые получают из исходных цветоразностных сигналов путем их компрессии с коэффициентами K_R и K_B , значения которых фиксированы:

$$E_U = K_B E_{B-Y} = 0,493 \cdot E_{B-Y};$$

$$E_V = K_R E_{R-Y} = 0,877 \cdot E_{R-Y}.$$

Сигнал цветности, сформированный на основе сигналов E_U и E_V , представляется следующим образом:

$$e'_{\text{цк}_m}(t) = E_V \cos(\omega_{\text{п}} t) + E_U \sin(\omega_{\text{п}} t) = E'_{\text{цк}_m} \sin(\omega_{\text{п}} t + \varphi'_{\text{цк}}),$$

$$\text{где } E'_{\text{цк}_m} = \sqrt{E_U^2 + E_V^2} = \sqrt{(0,877 \cdot E_{R-Y})^2 + (0,493 \cdot E_{B-Y})^2};$$

$$\varphi'_{\text{цк}} = \arctg(1,78 \cdot E_{R-Y} / E_{B-Y}).$$

В окончательном варианте системы *NTSC* вместо сигналов E_U и E_V применены сигналы E_I и E_Q , связанные с цветоразностными сигналами и сигналами основных цветов следующими соотношениями:

$$E_I = E_V \cos 33^\circ - E_U \sin 33^\circ = 0,74 E_{R-Y} - 0,27 E_{B-Y} = 0,60 E_R - 0,28 E_G - 0,32 E_B;$$

$$E_Q = E_V \sin 33^\circ - E_U \cos 33^\circ = 0,48 E_{R-Y} + 0,41 E_{B-Y} = 0,21 E_R - 0,52 E_G + 0,31 E_B.$$

Использование этих сигналов связано со следующими соображениями: установлено, что при уменьшении размеров цветных деталей изменяется субъективно видимый тон. Мелкие красные и жёлтые детали воспринимаются как оранжевые, а синие и зелёные детали — как голубые, т.е. зрение для мелких деталей фактически является двухцветным (дихроматичным).

При выборе осей кодирования I и Q (цветовая ось E_I опережает на 33° ось E_{R-Y} , а ось E_Q опережает на 33° ось E_{B-Y}) вектор E_I на векторной диаграмме, изображенной на рис. 1.2, проходит через область оранжевых и голубых цветов. Таким образом, при помощи одного вектора E_I (без квадратурного вектора E_Q) возможно передать цветовые тона мелких деталей. Обоиими векто-

рами (E_I и E_Q) обеспечивается передача всех цветов в крупных деталях.

Использование сигналов E_I и E_Q позволяет сократить полосу частот, занимаемую СЦ: для передачи сигнал E_Q достаточно полосы до 0,5 МГц при использовании обеих (нижней и верхней) боковых полос, а сигнал E_I можно передавать в полосе до 1,5 МГц с помощью только одной боковой полосы. Выбрана нижняя боковая полоса, так как это позволяет максимально приблизить поднесущую частоту СЦ к верхней границе спектра яркостного сигнала.

Поднесущая частота в системе *NTSC* выбирается равной 455-й (нечётной) гармонике полустроочной частоты. Так как строочная частота f_z равна 15750 Гц, то частота поднесущей СЦ составляет

$$f_{\Pi} = 455 \cdot f_z / 2 = 3,579545 \text{ МГц.}$$

Разделение сигналов, переданных методом квадратурной модуляции, осуществляется с помощью синхронных детекторов (СД), на которые, помимо детектируемых сигналов, подаются два колебания цветовой поднесущей, сдвинутые на 90° . Чтобы избежать искажения цветовых тонов, начальная фаза этих колебаний должна поддерживаться равной начальным фазам квадратурных составляющих кодера передающего устройства. Для этого в полный ТВ сигнал замешиваются сигналы цветовой синхронизации (СЦС), которые представляют собой пакеты по 8...10 периодов колебаний поднесущей СЦ, передаваемые во время обратного хода развёртки по строкам, кроме времени передачи гасящего импульса полей.

Начальная фаза СЦС выбрана равной 180° и соответствует начальной фазе поднесущей в коdere передающего устройства. По начальной фазе СЦС происходит подстройка начальных фаз колебаний восстановленной поднесущей частоты в декодере приёмника.

В системе *NTSC* амплитуда $E_{\text{СЦм}}$ и начальная фаза $\varphi_{\text{СЦ}}$ передают информацию, соответственно, о насыщенности и цветовом тоне. Следовательно, фазовые искажения СЦ приводят к искажению цветового тона, а амплитудные искажения СЦ приводят к искажению насыщенности. Так как начальная фаза

опорной поднесущей в декодере приёмника определяется по отношению к начальной фазе СЦС, то искажения возникнут, когда СЦ и СЦС приобретут в канале связи разные фазовые сдвиги.

Такие специфические искажения сигнала ЦТВ получили название «дифференциальная фаза» («ДФ») и «дифференциальное усиление» («ДУ»).

Искажения типа «ДФ» представляет собой зависимость начальной фазы сигнала цветности от амплитуды сигнала яркости

$$\varphi_{\text{СЦ}} = \psi_1(E_Y),$$

а искажения типа «ДУ» — зависимость амплитуды сигнала цветности от амплитуды сигнала яркости

$$E_{\text{СЦ m}} = \psi_2(E_Y).$$

СЯ выступает как «пьедестал», на который накладывается СЦ, т.е. СЯ «выносит» СЦ на разные участки амплитудной характеристики (АХ) тракта. В результате, если АХ нелинейна, сигналы цветности, вынесенные на разные участки, получают неодинаковое усиление из-за различной крутизны АХ. Нелинейность АХ тракта приводит также к тому, что положительные и отрицательные полуволны СЦ неодинаково усиливаются, что приводит к возникновению постоянной составляющей и гармоник СЦ. Эти гармоники не проходят через тракт вследствие его узкополосности и поэтому на выходе тракта размах СЦ уменьшается, а постоянная составляющая добавляется к СЯ, искажая относительный размах.

Причиной появления искажений типа «ДФ» является изменение параметров реактивных и активных элементов схем, входящих в ТВ тракт, при изменении уровня СЯ. При этом СЦС передаётся всегда на одном уровне АХ, а СЦ — на разных. В результате разность между фазовыми сдвигами СЦ и СЦС на выходе тракта изменяется в зависимости от уровня СЯ.

Наряду с искажениями типа «ДФ», при возникновении фазовой ошибки α , как это показано на рис. 1.3, между начальными фазами СЦ и опорной поднесущей, формируемой в приёмнике и подстраиваемой по СЦС, появляются пе-

рекрёстные помехи между цветоразностными сигналами, при их выделении СД, которые связаны с проникновением на выход СД сигнала квадратурного канала. Так, при детектировании на выходе СД канала I будет присутствовать сумма полезного сигнала $E_I \cos \delta$ и части сигнала $E_Q \sin \delta$. Зрительно это проявляется в виде мелких помех.

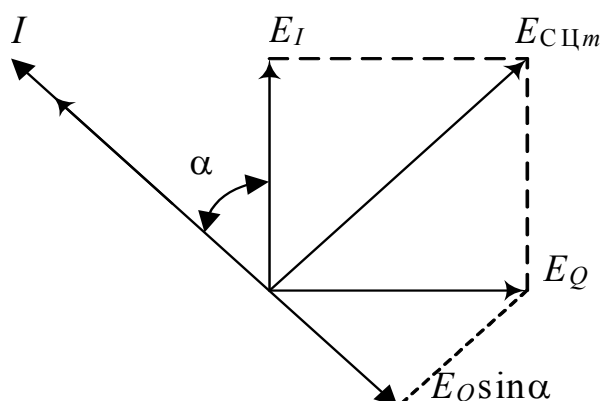


Рис. 1. 3 — К возникновению перекрёстной помехи при нарушении цветовой синхронизации

Величину перекрёстных искажений можно оценить с помощью коэффициента K_{δ} , определяемого как относительный уровень мешающего сигнала:

$$K_{\delta} = E_Q \sin \delta / E_I \cos \delta = (E_Q / E_I) \operatorname{tg} \delta.$$

Таким образом, при любой фазовой ошибке искажения цветových тонов сопровождаются перекрёстными искажениями. Искажения цветových тонов воспроизводимого изображения становятся заметными уже при фазовой ошибке 2° , а при ошибке в 10° становятся недопустимыми (при этом величина K_{δ} составляет 18%). В зависимости от класса ТВ приемника требования на величину K_{δ} для всего тракта выбирают в пределах от 12% до 20%.

Обеспечивать соблюдение столь жёстких требований к характеристикам тракта при длительной эксплуатации аппаратуры довольно сложно, что является главным недостатком системы NTSC.

1.2.2. Система цветного телевидения *PAL*. В этой системе чувствительность СЦ к искажениям, вызванным фазовыми ошибками, ослаблена. В системе *PAL* в качестве СЦ приняты цветоразностные сигналы E_U и E_V , каждый из которых занимает полосу частот, равную 1,5 МГц, чем достигается ослабление чувствительности к частичному подавлению верхней боковой полосы частот СЦ, приводящее к перекрёстным искажениям. Для передачи цветоразностных сигналов используется тот же вид модуляции, что и в системе *NTSC*. Однако в системе *PAL* начальная фаза поднесущей частоты СЦ, подаваемой в БМ и СД канала V , изменяется от строки к строке на 180° (начальная фаза поднесущей отсчитывается от начальной фазы сигнала в канале U , и поочерёдно по строкам устанавливается равной 90° и 270°). Такое переключение фазы обеспечивает компенсацию дифференциально-фазовых искажений (ДФИ) сигнала цветности.

Векторные диаграммы сигнала цветности в системе *PAL*, поясняющие механизм компенсации фазовых искажений, показаны на рис. 1.4. При передаче СЦ от объекта, например, пурпурного цвета, векторами $E_{\text{СЦ}\varphi}$ и $E_{\text{СЦ}(-\varphi)}$ (рис. 1.4, а,б), происходит их смещение в противоположных направлениях.

Информация в ТВ сигнале изменяется незначительно от строки к строке, (СЯ имеет почти одинаковые амплитуды и начальные фазы) и при ДФИ в приёмник поступает в n -й строке сигнал $E_{\text{СЦ}(\varphi+\alpha)}$, а в $(n+1)$ -й строке поступает сигнал $E_{\text{СЦ}(-\varphi+\alpha)}$, так как величина и направление фазового сдвига не изменились.

В приёмнике в $(n+1)$ -й строке начальная фаза сигнала E_V восстанавливается благодаря подаче на второй вход СД опорной поднесущей с начальной фазой 270° : на выходе СД вектор $E_{\text{СЦ}(-\varphi+\alpha)}$ приобретает зеркальное отображение относительно оси E_U (обозначен $E_{\text{СЦ}(\varphi-\alpha)}$ на рис. 1.4, в).

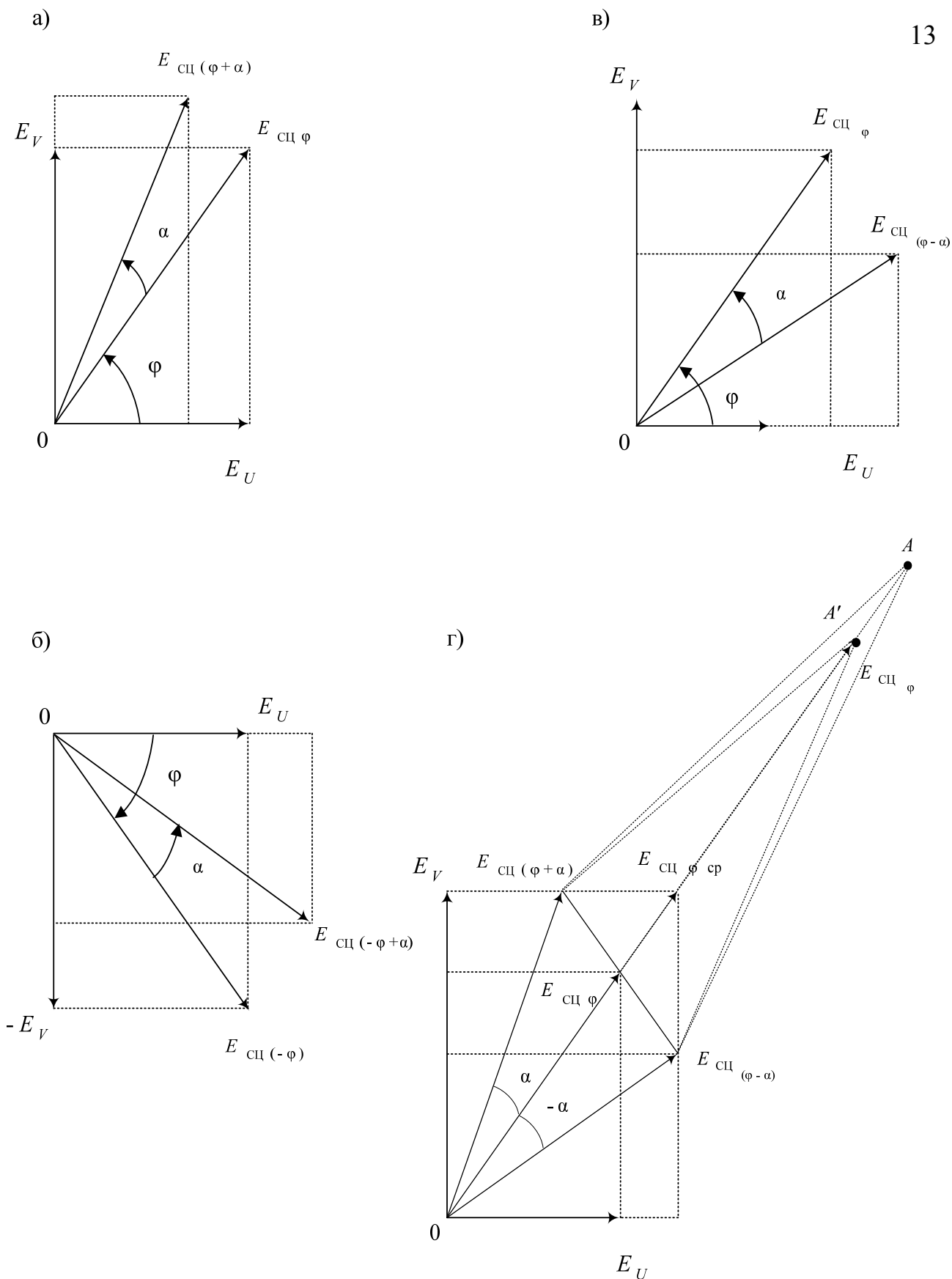


Рис. 1.4 — Векторные диаграммы сигнала цветности системы *PAL*,
поясняющие механизм компенсации фазовых искажений

На рис. 1.4, г векторы СЦ соседних строк совмещены. Ощущаемый глазом

цвет представлен вектором $E_{\text{СЦ}}(\varphi-\alpha)$. Таким образом, если в одних (нечётных) строках кадра искажение цветового тона происходит в сторону красного цвета (для рассмотренного в примере пурпурного цвета), то в других (чётных) — в сторону дополнительного к нему голубого цвета. При небольших фазовых ошибках, благодаря интегрирующим свойствам зрения, происходит пространственное усреднение воспроизводимых цветов и создаётся ощущение цвета без искажения тона, т. е. пурпурного цвета.

Уменьшению заметности искажений способствует также временное усреднение, т.к. благодаря нечётному количеству строк в кадре фазовые сдвиги оказываются противоположно направленными и приблизительно равными по абсолютной величине в одних и тех же строках смежных кадров.

Как показали эксперименты, при ДФИ $\alpha \leq 25^\circ$ качество изображения оценивается как удовлетворительное. Однако, уже при $\alpha > 10^\circ$ становятся заметными мелькания яркости соседних строк, обусловленные тем, что векторы E_V в соседних строках одного поля имеют различную величину. Разная яркость строк особенно сильно проявляется на насыщенных цветах и вызывает чередование светлых и тёмных строк на цветном изображении (эффект «жалюзи»).

При $\alpha > 25^\circ$ на изображении появляется сильно заметное различие цветности соседних строк, так как интегрирующего действия глаза уже недостаточно.

Наиболее распространенным вариантом декодера системы *PAL* является декодер PAL_D (от *delay* — задержка); другой вариант PAL_S (от *simple* — простой). Декодер PAL_D несколько сложнее декодеров PAL_S из-за применения высокостабильной линии задержки.

Компенсация помех может осуществляться не только на основе свойств зрения, как это выполнено в декодере PAL_S , но и путём электронного суммирования СЦ соседних строк, которое выполняется в декодере PAL_D . Для одновременного получения СЦ соседних строк СЦ предыдущей строки задерживается на длительность строки в линии задержки. Векторная диаграмма сигналов при электронном суммировании показана на рис. 1.4, г. Вектор сигнала цветности ОА имеет тот же фазовый угол, что и исходный вектор $E_{\text{СЦ}}$, т.е. цветовой тон не искажается, но вследствие усреднения подаваемый на СД сигнал цветности

представляется вектором

$$E_{\text{СЦср}} = \text{OA}/2 = E_{\text{СЦ}} \cos \alpha.$$

Таким образом, искажения цветового тона заменяются искажениями насыщенности, которые субъективно гораздо менее заметны. Так, если порог заметности по цветовому тону соответствует сдвигу фаз в $\alpha = 2^\circ$, то порог заметности по насыщенности соответствует углу $\alpha = 37^\circ$.

В системе *PAL* поднесущая частота СЦ выбрана неравной нечётной гармонике полустрочной частоты, так как в противном случае не обеспечивалось бы перемежение спектра СЯ и СЦ, что привело бы к ухудшению совместимости из-за потери эффекта самокомпенсации помех от поднесущей частоты. Это связано с применением коммутации фазы на 180° сигнала E_V от строки к строке. Экспериментально доказана целесообразность выбора поднесущей на основании следующего условия:

$$f_{\Pi} = (n - 1/4) \cdot f_Z + f_K,$$

где f_Z — частота строк для системы *PAL* ();

f_K — частота кадров.

Для $f_Z = 15625$ Гц и $f_K = 25$ Гц частота поднесущей имеет следующую величину:

$$f_{\Pi} = 283,75 \cdot 15625 + 25 = 4,4336175 \text{ МГц}.$$

Для осуществления синхронного детектирования в системе *PAL* передаётся «вспышка» сигнала поднесущей частоты, являющаяся СЦС. Поскольку в приёмнике необходимо менять начальную фазу поднесущей, то требуется информация о начальной фазе передаваемого сигнала E_V .

В стандартной системе *PAL* при передаче чётных строк СЦС имеет начальную фазу 135° , а в нечётных — 235° относительно положения вектора E_U , фаза которого принимается за нуль.

Таким образом, система *PAL* обладает как преимуществами, так и недостатками по сравнению с системой *NTSC*. Основным преимуществом является снижение требований к качеству приемного тракта с точки зрения искажений

типа «ДФ» и «ДУ». Однако теоретически наличие компенсации фазы сигнала цветности приводит к некоторому ухудшению совместимости системы *PAL* с черно-белым ТВ по сравнению с системой *NTSC*. На практике же в принимаемом сигнале всегда присутствуют флуктуационные помехи, поэтому разница в степени совместимости оказывается незаметной.

В системе *NTSC* цветовая чёткость по вертикали равна числу строк разложения, в то время как цветовая чёткость по горизонтали определяется полосой частот, занимаемой цветоразностными сигналами, которая примерно в 4 раза меньше полосы сигнала яркости. В результате цветовая чёткость по вертикали является избыточной. В системе *PAL* суммирование СЦ двух соседних строк в приёмнике ухудшает цветовую чёткость по вертикали (примерно в 3...4 раза из-за применения чересстрочной развёртки). Однако это ухудшение незаметно для глаза, так как происходит уравнивание цветовых искажений по вертикали и горизонтали. Другими словами, в системе *PAL* эффективно используется избыточность, свойственная СЦ системы *NTSC*. При этом в обеих системах визуальное качество изображения практически одинаково.

При сравнении систем ЦТВ следует учитывать, что обе системы в лабораторных условиях дают высокое качество изображения, но оно характеризует лишь потенциальные возможности систем.

В реальных условиях качество изображения ограничивают искажения, возникающие в тракте передачи.

Основными типами искажений, вносимых трактом передачи, являются следующие:

- искажения, обусловленные неравномерностью амплитудно-частотной (АЧХ) и нелинейностью фазочастотной характеристики (ФЧХ);
- искажения, связанные с частичным подавлением верхней боковой полосы (ВБП) сигналов цветности;
- искажения типов «ДУ» и «ДФ».

При неравномерности АЧХ изменяется соотношение между размахом СЯ и сигналом поднесущей частоты. В системах *NTSC* и *PAL* используется амплитудная модуляция, поэтому происходит искажение насыщенности цветов.

Нелинейность ФЧХ приводит к появлению цветных окантовок и размытости границ цветов. Опыты показали, что искажениям данного типа подвержены обе системы.

Искажения «ДУ» присущи обеим системам в равной степени, поскольку применяется один и тот же метод модуляции. Система *PAL* по сравнению *NTSC* в меньшей степени подвержена искажениям типа «ДФ», поскольку в ней приняты специальные меры по компенсации этого вида искажений.

Искажения типов «ДУ» и «ДФ» наиболее заметны, поскольку в амплитуде и начальной фазе СЦ заложена информация о насыщенности и цветовом тоне передаваемого цвета. По этой причине в ТВ аппаратуре контролируют дифференциальные искажения.

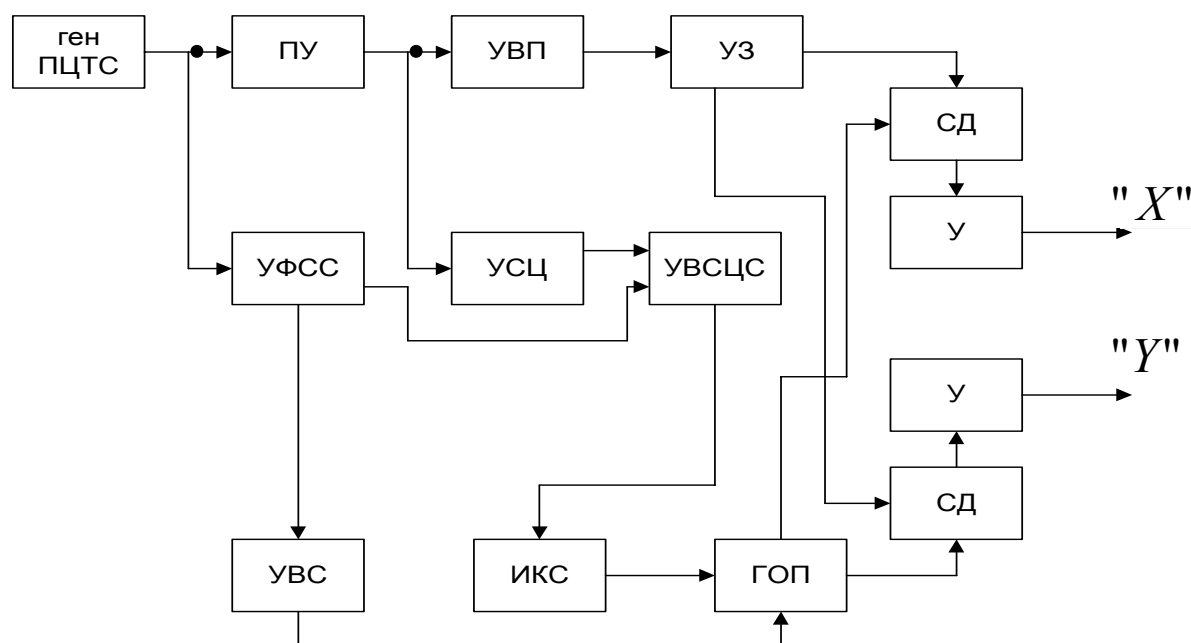
1.3. Описание лабораторной установки

Структурная схема лабораторной установки для исследования параметров систем цветного телевидения *PAL* и *NTSC* изображена на рис. 1.5.

Генератор ПЦТС формирует сигналы для изображения в виде восьми вертикальных цветовых полос, кодированный по системе *PAL* или *NTSC*.

Полосовой усилитель ПУ выделяет из ПЦТС сигнал цветности и подавляет низкочастотные составляющие сигнала яркости.

Сигнал, прошедший ПУ, поступает на устройство выбора подсистемы *PAL* (PAL_S или PAL_D). Устройство задержки необходимо для реализации PAL_D . В УЗ происходит разделение СЦ на составляющие U_U и U_V . Синхронные детекторы СД осуществляют демодуляцию цветоразностных сигналов U и V . Сигнал опорной поднесущей, необходимый для работы СД, вырабатывается генератором опорной поднесущей ГОП. С выхода ПУ СЦ проходит через устройство выделения СЦС, которое управляется устройством формирования синхронизирующих сигналов — (УФСС). Полученный СЦС поступает в ГОП, где сравнивается в фазовом детекторе с синусоидальным сигналом от ГУН. Начальная фаза СЦС может изменяться от 0° до 360° с помощью фазовращателя (ФВ). ФВ выполняет роль имитатора канала связи ИКС с искажениями типа «ДФ».



Ген ПЦТС — генератор ПЦТС систем *PAL/NTSC*; ПУ — полосовой усилитель; УВП — устройство выбора подсистемы *PAL*; УЗ — устройство задержки; СД — синхронный детектор; УФСС — устройство формирования синхронизирующих сигналов; УСЦ — усилитель сигналов цветности; УВСЦС — устройство выделения сигналов цветовой синхронизации; ГОП — генератор опорной поднесущей; ИКС — имитатор канала связи; УВС — устройство выбора системы ЦТВ *PAL/NTSC*.

Рис. 1. 5 — Структурная схема лабораторной установки

В лабораторной установке используется принцип вектроскопа, структурная схема которого показана на рис. 1.6.

Временные диаграммы, поясняющие принцип действия вектроскопа, показаны на рис. 1.7.

Вектроскоп работает следующим образом. На вход 1 подаётся сигнал вертикальных цветных полос. Полоснопропускающий фильтр ППФ выделяет СЦ, который после усиления поступает на синхронные детекторы СД1 и СД2. Сигналы опорных поднесущих подаются на входы СД со сдвигом по фазе на 90° , создаваемым с помощью фазовращающей цепи ФВ. На выходах СД1 и СД2 формируются цветоразностные сигналы E_{R-Y} и E_{B-Y} , которые через фильтры Ф1 и Ф2, подавляющие остатки поднесущей, и через усилители вертикального и горизонтального отклонения УС1 и УС2 поступают на осциллограф.

Осциллограмма на экране состоит из точек, число которых определяется числом цветных полос.

Положения точек для неискаженных цветов показаны на рис. 1.8.

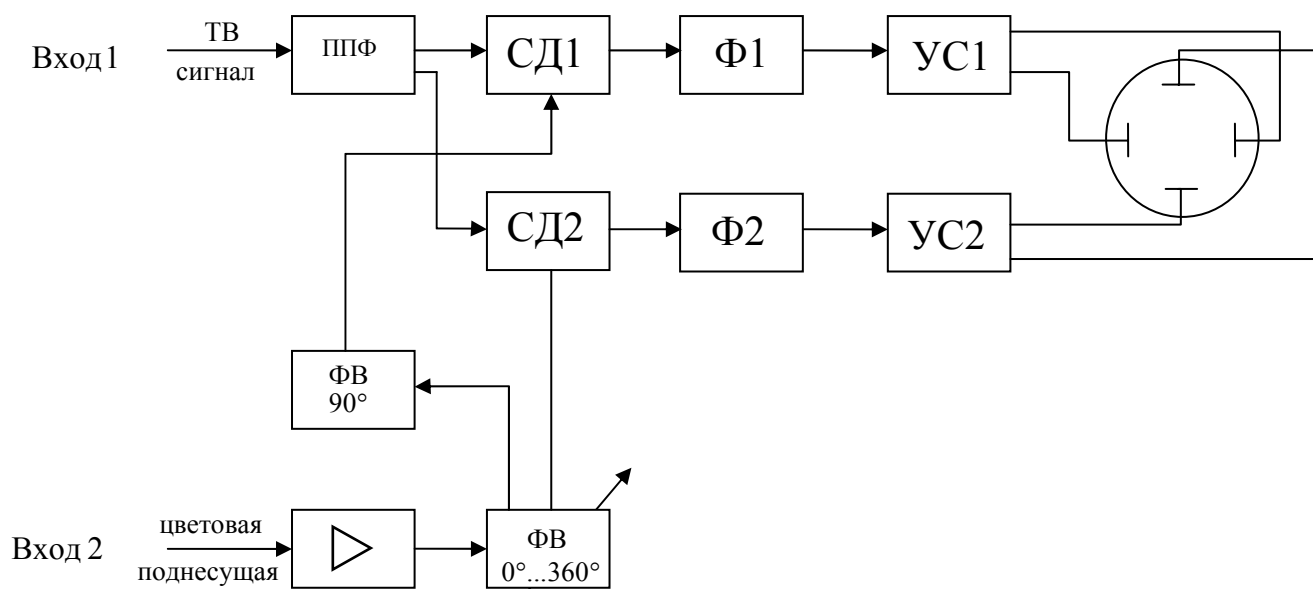


Рис. 1. 6 — Структурная схема вектроскопа

На вход 2 вектроскопа подаётся сигнал опорной поднесущей, формируемой генератором, который подстраивается по сигналам цветовой синхронизации. Этот сигнал проходит через управляемый фазовращатель ФВ $0^\circ \dots 360^\circ$, что позволяет имитировать искажения ДФ.

Для оценки верности кодирования сигналов цветности *NTSC* и *PAL* на экран ЭЛТ накладывается трафарет, вид которого показан на рис. 1.8.

Следует отметить, что вектроскоп является относительно менее точным прибором для измерения ДИ по сравнению со стандартными приборами. Однако его преимуществами являются наглядность и возможность использования стандартного сигнала вертикальных цветных полос. С помощью вектроскопа возможно настраивать каналы цветности ТВ приёмников систем *PAL* и *NTSC*.

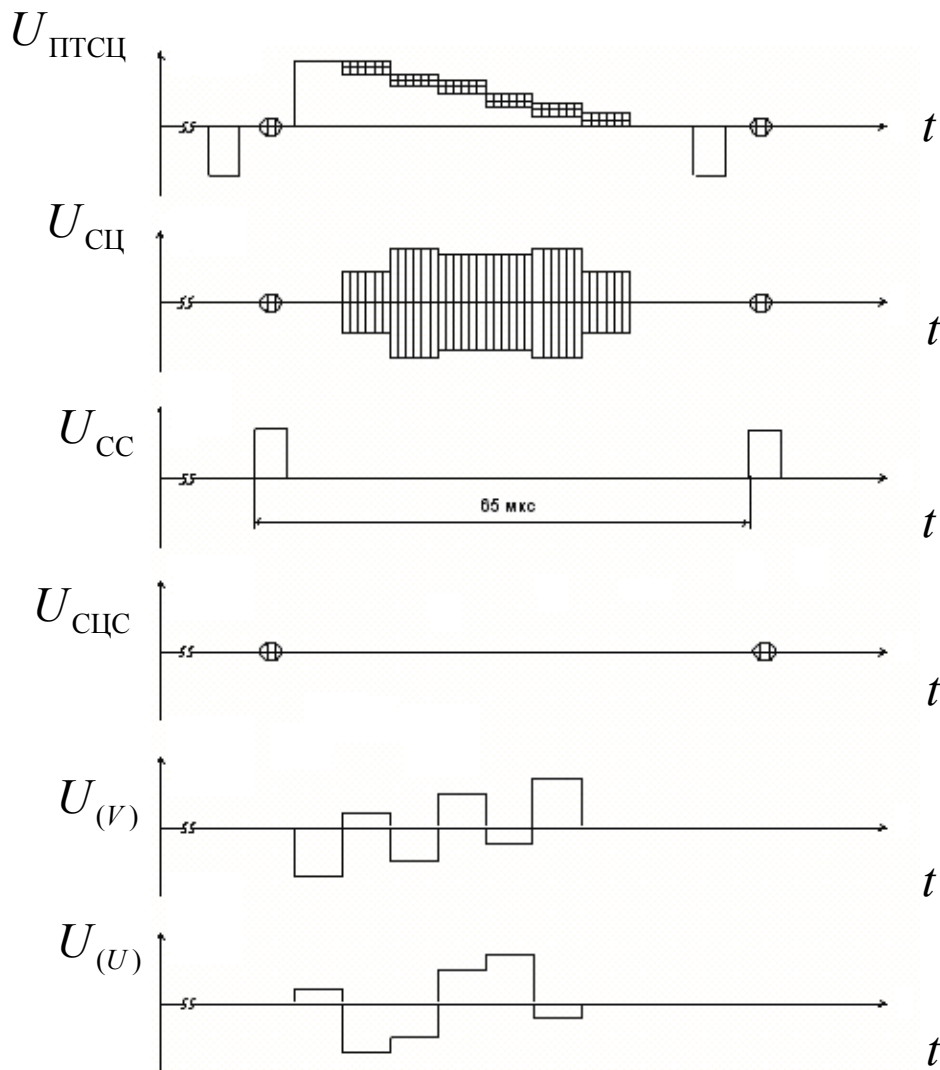


Рис. 1.7 — Временные диаграммы, поясняющие работу вектроскопа

1.4. Порядок выполнения теоретических исследований

- 1.4.1. Рассчитать параметры векторов сигналов системы *NTSC*, соответствующих передаваемым цветам (красному, синему, зелёному, пурпурному, голубому и жёлтому), для заданных значений углов фазовых искажений α_1 и α_2 . Значения углов фазовых искажений выбираются из таблицы 1.2 по предпоследней (M) и последней (N) цифрам номера зачетной книжки. Построить векторограммы.
- 1.4.2. Рассчитать параметры векторов сигналов системы *PAL*, соответствующих передаваемым цветам (красному, синему, зелёному, пурпурному, голубому и жёлтому), для заданных значений углов фазовых искажений α_1 и α_2 . Построить векторограммы.

граммы в областях, соответствующим следующим цветам: красному, синему, зелёному, пурпурному, голубому и жёлтому; определить значения фазовых углов для векторов этих цветов.

1.5.3. Установить регулятором «Фаза» заданное значение фазового сдвига и определить положение векторов, соответствующих цветам: красному, синему, зелёному, пурпурному, голубому и жёлтому.

1.5.4. Переключатель PAL_S/PAL_D перевести в положение PAL_D .

1.5.5. Выполнить пункты 1.5.2 и 1.5.3.

1.5.6. Переключатель $PAL/NTSC$ перевести в положение $NTSC$.

1.5.7. Выполнить пункты 1.5.2 и 1.5.3.

Таблица 1.2 — Исходные данные для выполнения исследований

M	α_1 , град	N	α_1 , град
0	5	0	25
1	12	1	35
2	3	2	40
3	7	3	30
4	11	4	45
5	18	5	20
6	8	6	50
7	0	7	55
8	15	8	60
9	4	9	65

1.6. Контрольные вопросы

1.6.1. Вопросы для допуска к работе

1.6.1.1. Какой вид модуляции используется в системах $NTSC$ и PAL для передачи цветовой информации?

1.6.1.2. Из каких соображений выбирается значение частоты поднесущей?

1.6.1.3. В чем заключается основное отличие систем $NTSC$ и PAL ?

1.6.1.4. Какие цветоразностные сигналы используются в системе $NTSC$?

- 1.6.1.5. Какие цветоразностные сигналы используются в системе *PAL*?
- 1.6.1.6. Какие фазовые искажения допускаются в системе *PAL*?
- 1.6.1.7. Какие фазовые искажения допускаются в системе *NTSC*?
- 1.6.1.8. Сформулируйте задачи, изучаемые в лабораторной работе.
- 1.6.1.9. Поясните принцип действия вектроскопа.

1.6.2. Вопросы для подготовки к защите

- 1.6.2.1. В чем заключаются преимущества метода квадратурной модуляции при передаче цветовой информации?
- 1.6.2.2. Как компенсируются фазовые искажения в системе *PAL*.
- 1.6.2.3. Какие соображения используются при выборе значения частоты поднесущей в системе *NTSC*?
- 1.6.2.4. Какие соображения используются при выборе значения частоты поднесущей в системе *PAL*?
- 1.6.2.5. Приведите структурную схему декодера *PAL*, поясните ее работу.
- 1.6.2.6. Приведите структурную схему декодера *NTSC*, поясните ее работу.
- 1.6.2.7. Каким образом осуществляется цветовая синхронизация в *NTSC*?
- 1.6.2.8. В чем проявляются на изображении искажения типа «дифференциальная фаза»?
- 1.6.2.9. Что является причиной искажений типа «дифференциальное усиление»? В чем эти искажения проявляются на изображении?

2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ИССЛЕДОВАНИЕ СВЧ ТРАКТА ПРИЕМНОГО УСТРОЙСТВА СИСТЕМ СПУТНИКОВОГО ТЕЛЕВИЗИОННОГО ВЕЩАНИЯ

2.1. Цель работы

Целями данной лабораторной работы являются:

- ознакомление студентов с особенностями построения и параметрами СВЧ тракта приемных устройств систем спутникового телевизионного вещания (СТВ);
- теоретическое и экспериментальное исследование добротности приемных устройств систем СТВ;
- обучение методике экспериментального определения коэффициента шума конверторов приемных устройств систем СТВ.

2.2. Теоретический раздел

Приемные устройства систем СТВ (в дальнейшем — приемник СТВ) представляют собой комплекс технических средств, предназначенных для приема радиосигналов, передаваемых бортовыми ретрансляторами (транспондерами) телевизионных вещательных ИСЗ в выделенных частотных диапазонах [1] (в частности, в диапазонах 10,9...11,7 ГГц и 11,8...12,5 ГГц), обработки этих радиосигналов и передачи на вход телевизионного приемника.

Приемник СТВ разделяется на две основные части:

- СВЧ тракт, включающий антенну, устройство выбора поляризации и СВЧ преобразовательный блок;
- блок обработки сигналов.

СВЧ преобразовательный блок в литературе называют конвертором (в англоязычной литературе используется термин *Low Noise Blockconvertor* — *LNB*), а блок обработки сигналов — тюнером (или ресивером). В конверторе осуществляются усиление сигнала, поступающего с антенны, и перенос спектра этого сигнала вниз по частоте для дальнейшей обработки сигнала в тюнере. Учитывая

малые уровни принимаемых сигналов и высокие требования к шумовым характеристикам приемника СТВ, конвертор располагают вблизи от антенны (обычно непосредственно за облучателем зеркальной антенны). В состав конвертора включают усилитель промежуточной частоты (УПЧ), в котором сигнал усиливается до такой степени, что может быть передан на вход тюнера через коаксиальный кабель длиной до 20...30 метров.

Рассмотренная схема является традиционной, поэтому антенну с конвертером часто называют внешним блоком (расположенным, например, на крыше здания), а тюнер — внутренним блоком приемника СТВ, так как его располагают в непосредственной близости от телевизионного приемника.

Применяемые в приемных устройствах СТВ антенны не имеют каких-либо принципиальных отличий от остронаправленных антенн, используемых в других радиосистемах. Основное внимание при их создании уделяется вопросам технологии, пригодности для массового производства, стоимости, устойчивости к воздействию окружающей среды.

В соответствии с требованиями ВАКР-77 (Всемирная административная конференция радиосвязи, 1977 г.) [1] в приемниках СТВ предусматривается применение антенн с шириной диаграммы направленности (ДН) по уровню половинной мощности $2\Delta\text{и}_{0,5} = 2^\circ$ — для устройств индивидуального приема и $2\Delta\text{и}_{0,5} = 1^\circ$ — для устройств коллективного приема.

Основные типы антенн, применяемых в приемных устройствах СТВ — это зеркальные (одно- и двухзеркальные) и плоскостные антенные решетки, а также многолучевые антенные системы. Наибольшее распространение получили однозеркальные параболические антенны и антенны с вынесенным облучателем. Однозеркальные параболические антенны применяют, как правило, длиннофокусной разновидности, что позволяет при некотором увеличении габаритов антенны обеспечить большую величину коэффициента использования поверхности (КИП) антенны, и тем самым увеличить эффективную площадь антенны $S_{\text{эф}}$:

$$S_{\text{эф}} = S_{\Gamma} v = \frac{\pi d^2}{4} n,$$

где S_{Γ} — геометрическая площадь раскрыва антенны.

К числу факторов, существенно влияющих на величину КИП, следует отнести: амплитудно-фазовое распределение в раскрыве антенны; затенение облучателем, элементами его крепления и фидерным трактом; кроссполяризационные эффекты; омические потери. Кроме перечисленных факторов на величину КИП зеркальной антенны влияют качество изготовления зеркала, точность установки облучателя в фокусе, материал и конструкция зеркала и элементов крепления облучателя.

Однозеркальные антенны с вынесенным облучателем находят применение повсюду, но в районах с обильными снегопадами они особенно выгодны, так как снежный покров не задерживается на зеркале, плоскость установки которого близка к вертикальной.

В профессиональных приемниках СТВ применяют и двухзеркальные антенны (Кассегрена, Грегори, с модифицированными зеркалами).

В последнее время все большее применение находят плоскостные фазированные решетки, в которых обеспечивается возможность электронного сканирования лучом для настройки на тот или иной ИСЗ.

В силу того, что радиоволны, излучаемые антеннами бортовых ретрансляторов ИСЗ различных спутниковых вещательных служб, могут иметь как линейную поляризацию (вертикальную или горизонтальную), так и круговую (левую либо правую), за облучателем антенны обычно располагают устройство выбора поляризации. Настройка на требуемый вид поляризации (для каждого бортового ретранслятора в справочной литературе указываются частоты каналов и вид поляризации излучения каждого канала) может осуществляться механическим, электромеханическим или электронным способом, в зависимости от типа устройства выбора поляризации (УВП).

Устройства выбора поляризации обеспечивают необходимый уровень развязки ортогональных компонент поля излучения в пределах (25...28) дБ. При этом потери в УВП составляют около (0,2...0,4) дБ, что отрицательно влияет на

общий коэффициент шума СВЧ тракта приемника СТВ.

Пренебрежение этими факторами при проектировании антенн приемников СТВ может привести к неверной оценке величины мощности сигнала P_c , которую рассчитывают по формуле

$$P_c = \Pi S_{\text{эф}},$$

где Π — плотность потока мощности.

В качестве критерия качества обслуживания в СТВ принято отношение «несущая/шум» ($\frac{P_c}{P_{\text{ш}}}$). Граничное значение его составляет 14 дБ для 99% времени худшего месяца. При этом обеспечивается отношение «сигнал/невзвешенный шум» на выходе телевизионного канала не менее 33 дБ, что соответствует оценке 4,5 балла по пятибальной шкале Международного консультативного комитета по радио (МККР) (шкала МККР показана на рис.3.2).

Для систем СТВ индивидуального приема плотность потока мощности $\Pi_{\text{и}}$ должна быть не менее $\Pi_{\text{и}} = -103$ дБВт/м², а для коллективного приема — $\Pi_{\text{к}} = -111$ дБВт/м².

Интегральным параметром, характеризующим качество приемного устройства СТВ, принято считать добротность: отношение коэффициента усиления антенны к суммарной шумовой температуре приемного устройства $\frac{G}{T_{\text{ш}}}$.

Добротность может быть определена из следующего выражения [1]:

$$\frac{G}{T_{\text{ш}}} = \frac{3D}{3T_{\text{А}} + (1-3)T + (K_{\text{ш}} - 1)T_{\text{ш}}},$$

где 3 — коэффициент полезного действия (КПД) антенны; D — коэффициент направленного действия (КНД) антенны; $T_{\text{А}}$ — эффективная шумовая температура антенны; T — температура окружающей среды (обычно в расчетах принимают равной $T = T_0 = 293\text{К}$); $K_{\text{ш}}$ — коэффициент шума приемника.

Наиболее широко распространенные типы зеркальных антенн имеют достаточно высокий КПД, в пределах 0,9...0,97. Типовое значение шумовой температуры антенны T_A составляет (60...80) К, а для лучших образцов антенн эта величина составляет 30 К.

Из выражения для добротности следует, что качество принимаемого ТВ сигнала в системе СТВ зависит как от параметров антенны, так и от шумовых свойств приемника, характеризуемых коэффициентом шума $K_{ш}$:

$$K_{ш} = \frac{\left(\frac{P_c}{P_{ш}}\right)_{\text{ВЫХ}}}{\left(\frac{P_c}{P_{ш}}\right)_{\text{ВХ}}}.$$

Мощность шума определяется из следующего соотношения:

$$P_{ш} = k \cdot T_{ш} \cdot \Delta f,$$

где k — постоянная Больцмана; $T_{ш}$ — шумовая температура; Δf — шумовая полоса приемника.

По требованиям ВАКР-77 [1] добротность приемного устройства СТВ индивидуального пользования $\left(\frac{G}{T_{ш}}\right)_и$ должна быть не менее 6 дБ/К, а коллектив-

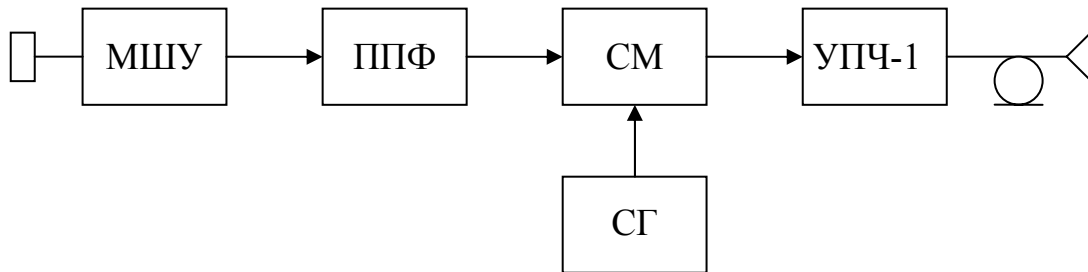
ного пользования $\left(\frac{G}{T_{ш}}\right)_к$ — не менее 14 дБ/К.

Конвертор приемника СТВ. Типовая структурная схема конвертора для приемников СТВ, показана рис. 2.1.

Собственные шумы МШУ, пересчитанные к его входу, должны быть существенно меньше уровня входного сигнала. Если это условие не выполняется, то невозможно добиться высококачественного изображения на экране телевизионного приемника.

В настоящее время малошумящие усилители СВЧ диапазона, в том числе и для диапазона частот (10...12) ГГц, выполняются на основе арсенид-галлиевых

полевых транзисторов с коэффициентом шума от 0,6 дБ до 1,0 дБ. В малошумящих усилителях применяют обычно два-три транзисторных каскада, не более.



МШУ — малошумящий усилитель; ППФ — полосно-пропускающий фильтр; СМ — смеситель; УПЧ-1 — усилитель первой промежуточной частоты; СГ — стабилизированный гетеродин.

Рис. 2.1 — Типовая структурная схема конвертора приемника СТВ

Коэффициент шума трехкаскадного усилителя можно записать следующим образом:

$$K_{\text{ш}} = K_{\text{ш1}} + \frac{K_{\text{ш2}} - 1}{K_{\text{y1}}} + \frac{K_{\text{ш3}} - 1}{K_{\text{y1}} \cdot K_{\text{y2}}},$$

где $K_{\text{ш1}}$, $K_{\text{ш2}}$, $K_{\text{ш3}}$ — коэффициент шума 1-го, 2-го, 3-го каскада соответственно; K_{y1} , K_{y2} , K_{y3} — коэффициент усиления 1-го, 2-го, 3-го каскада.

Из этого выражения видно, что коэффициент шума всего усилителя практически определяется коэффициентом шума первого каскада. Влияние последующих каскадов на коэффициент шума всего усилителя незначительно, так как это влияние уменьшается пропорционально коэффициенту усиления предыдущих каскадов.

Полосно-пропускающий фильтр ППФ, расположенный за МШУ, в составе ряда приемников СТВ вообще не вводится. Однако конверторы с ППФ обеспечивают более высокое качество принимаемого изображения. ППФ должен пропускать сигналы в рабочей полосе частот ($\Delta f = 800$ МГц) и подавлять их за ее пределами. Особое внимание обращается на избирательность по зеркальному каналу, поскольку паразитные сигналы (помехи) и шум на частотах зеркального канала после преобразования в смесителе попадают в полосу рабочих частот

УПЧ-1 наряду с полезным сигналом. ППФ решает эту задачу, а также препятствует попаданию сигнала СГ в приемную антенну, откуда этот сигнал может излучаться в свободное пространство и создавать помехи другим радиосистемам. Поскольку определенное затухание в сигнал СГ вносит МШУ, жесткие требования к коэффициенту подавления сигнала гетеродина не предъявляются: достаточно обеспечить подавление на (20...30) дБ. При отсутствии МШУ величина требуемого подавления возрастает до (40...60) дБ.

ППФ можно сделать узкополосным (в пределах полосы частот одного спутникового ТВ канала, составляющей 27 МГц) и перестраиваемым. В настоящее время оптимальными для приемников индивидуального пользования считаются фильтры с полосой 800 МГц (т.е. для всех программ сразу), а выбор программ обеспечивается на более низких частотах в тюнере.

Если ППФ установлен перед МШУ, то потери в полосе пропускания фильтра влияют на шумовую температуру конвертора в целом. В этом случае потери в фильтре не должны превышать (0,2...0,3) дБ, что возможно при волноводном исполнении. ППФ, установленный после МШУ, может иметь потери до 3 дБ, поскольку в этом случае шумы конвертора практически будут определяться коэффициентом шума МШУ. ППФ с такими параметрами выполняют чаще всего по микрополосковой технологии.

Неравномерность АЧХ в пределах полосы пропускания фильтра может достигать довольно больших величин — до (3...5) дБ, так как ТВ сигналы СТВ имеют частотную модуляцию, а в тракте обработки сигнала промежуточной частоты перед частотным детектором применяется амплитудный ограничитель. Существенные требования предъявляются лишь к линейности ФЧХ.

Смеситель осуществляет перенос спектра ТВ сигнала из диапазона частот (10,9...11,7) ГГц в полосу первой промежуточной частоты — (950...1750) МГц. На один из входов смесителя конвертора поступает сигнал с выхода ППФ, а на второй — сигнал от СГ. Если частота гетеродина f_r меньше частоты принимаемого сигнала f_c , то коэффициент шума смесителя примерно на 1 дБ меньше, чем в случае обратного соотношения между f_c и f_r .

Типичные требования, предъявляемые к стабилизированному гетеродину

конвертора СТВ:

- выходная мощность от 1 до 10 мВт (в зависимости от типа смесителя);
- нестабильность частоты не более ± 1 МГц в интервале температур от -30°C до $+40^{\circ}\text{C}$.

В конверторах используются СГ на основе диодов Ганна и полевых транзисторов с барьером Шоттки с применением диэлектрических резонаторов.

Усилитель первой промежуточной частоты (УПЧ-1) является широкополосным усилителем дециметрового диапазона (относительная ширина полосы пропускания $\Delta f / f_{\text{ср}} = 800/1300 = 0,7$; $f_{\text{ср}}$ — средняя частота диапазона частот сигнала первой промежуточной частоты), поэтому в нем используют широкополосные согласующие цепи.

При проектировании УПЧ-1 исходят из следующих типовых требований:

- коэффициент шума — не более (3...5) дБ;
- коэффициент усиления (30...40) дБ (при отсутствии МШУ — примерно на 20 дБ больше);
- требования по неравномерности АЧХ в полосе Δf аналогичны требованиям к АЧХ полосно-пропускающего фильтра.

Методы измерения шумовых параметров СВЧ устройств. Как при разработке МШУ и конверторов с использованием МШУ, так и при эксплуатационной доводке приемников СТВ, необходимо знать значения коэффициентов шума и усиления конвертора, что требует изучения соответствующих способов измерения параметров СВЧ устройств.

Шумовые параметры (коэффициент шум $K_{\text{ш}}$, шумовая температура $T_{\text{ш}}$) измеряют косвенным путем, по соотношению мощностей шумовых сигналов на выходе исследуемого устройства при определенным образом изменяемом уровне мощности шумового сигнала на входе.

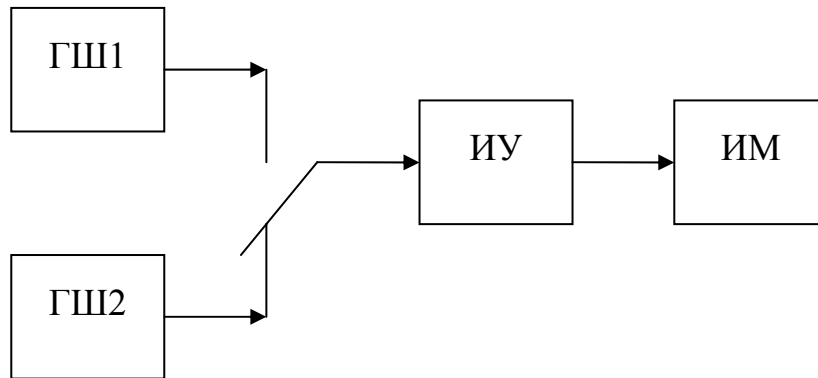
Связь между коэффициентом шума и шумовой температурой определяется следующим соотношением:

$$T_{\text{ш}} = (K_{\text{ш}} - 1)T.$$

Наиболее простой и распространенный метод двух отсчетов состоит в по-

очередной подаче на вход исследуемого устройства шумовых сигналов с известными значениями температуры шума T_1 и T_2 ($T_1 < T_2$) и измерении уровня сигналов на его выходе.

Структурная схема устройства для измерения коэффициента шума методом двух отсчетов показана на рис. 2.2.



ГШ1 и ГШ2 — генераторы шума с шумовыми температурами T_1 и T_2 соответственно; ИУ — исследуемое устройство; ИМ — измеритель мощности.

Рис. 2.2 — Структурная схема устройства для измерения коэффициента шума методом двух отсчетов

При поочередном подключении ко входу исследуемого устройства генераторов шума ГШ1 и ГШ2 показания измерителя мощности $\mathcal{B}_1$ и $\mathcal{B}_2$ будут пропорциональными суммам шумовых температур

$$\begin{aligned}\mathcal{B}_1 &= \mathcal{B}(T_1 + T_{\text{ш}}) = \mathcal{B}K_{\text{ш}}T; \\ \mathcal{B}_2 &= \mathcal{B}(T_2 + T_{\text{ш}}) = \mathcal{B}[K_{\text{ш}}T + (T_2 - T_1)],\end{aligned}$$

где $\mathcal{B}$ — коэффициент пропорциональности.

Решив совместно эти уравнения, получим:

$$K_{\text{ш}} = \frac{T_2 - T_1}{(n-1)T}; \quad T_{\text{ш}} = \frac{T_2 - nT_1}{n-1},$$

где $n = \bar{b}_1 / \bar{b}_2$ — относительное изменение уровня мощности сигнала на выходе исследуемого устройства.

В общем случае измеренные значения $K_{ш}$ (или $T_{ш}$) включают также составляющую, обусловленную собственными шумами измерителя мощности. Если шумовая температура измерителя $T_{им}$ известна, то результаты измерений можно уточнить:

$$T_{ш} = \frac{T_2 - nT_1}{n - 1} - \frac{T_{им}}{K_p},$$

где K_p — коэффициент усиления исследуемого устройства по мощности.

При измерениях можно пользоваться одним генератором шума, если имеется возможность управлять его мощностью. Например, генератор шума на газоразрядной лампе можно использовать в выключенном и во включенном состояниях. При этом значение шумовой температуры T_2 определяется по паспортным данным на частоте измерения, а шумовая температура выключенного состояния T_1 равна температуре согласованной нагрузки. При выборе n руководствуются следующими соображениями: при $n < 2$ снижается точность отсчёта, а при больших n может возникнуть дополнительная погрешность за счёт нелинейности преобразования сигнала в ИМ.

Разновидностью метода двух отсчетов, в котором исключена составляющая погрешности измерений, обусловленная нелинейностью ИМ, является метод аттенюатора (см. рис. 2.3, на котором КА — калиброванный аттенюатор).

При подаче сигнала от ГШ1 фиксируется показание ИМ $\bar{b}_1$:

$$\bar{b}_1 = \frac{B(T_1 + T_{ш})}{\Gamma_1} + \bar{b}_0,$$

где Γ_1 — затухание аттенюатора; $\bar{b}_0$ — показания ИМ, обусловленные его собственными шумами.

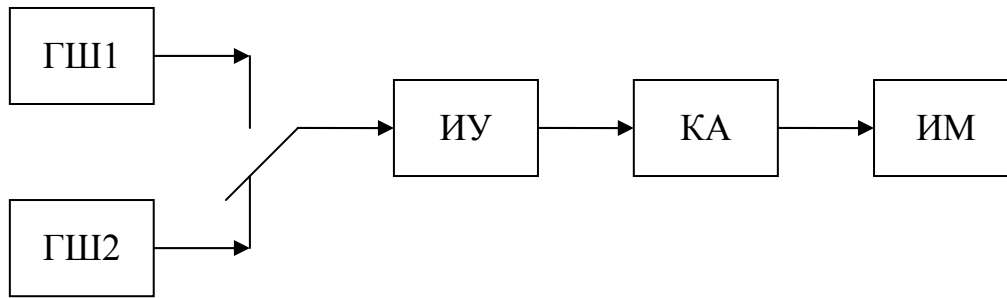


Рис. 2.3 — Структурная схема установки для измерения K_{III} методом аттенюатора

При подаче сигнала от ГШ2 затухание аттенюатора (Γ_2) устанавливают таким, при котором показание ИМ примет значение $\bar{b}_2 = \bar{b}_1$. Тогда получаем:

$$T_{\text{III}} = \frac{T_2 - nT_1}{n-1},$$

где $n = \Gamma_1 / \Gamma_2$.

Метод используют в двух вариантах в зависимости от места включения аттенюатора. При включении аттенюатора в тракт промежуточной частоты нужно учитывать поправку на собственные шумы ИМ. При включении аттенюатора в тракт СВЧ необходимо учитывать поправку на шумы аттенюатора и пользоваться следующим выражением:

$$T_{\text{III}} = \frac{T_2 - nT_1}{n-1} - \frac{T}{K_p}.$$

Точность обоих методов (двух отсчётов и аттенюатора) зависит от параметров измерительной аппаратуры.

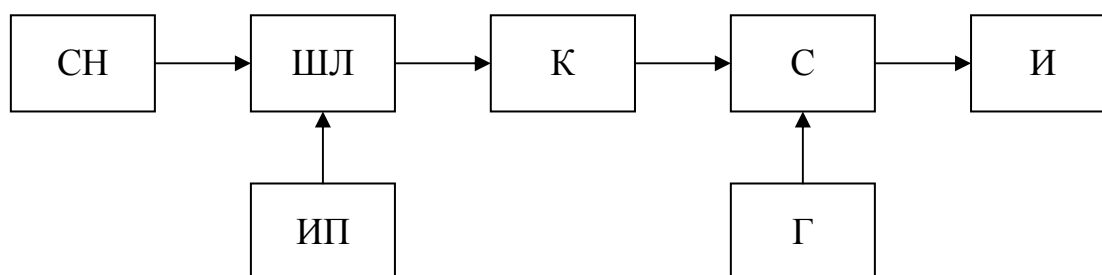
Основными составляющими погрешностей являются:

- погрешность за счёт нелинейности амплитудной характеристики исследуемого объекта и измерителя мощности (для метода двух отсчетов);
- погрешность градуировки температуры генераторов шума;
- погрешность индикации отношения сигналов;
- погрешности за счёт рассогласования.

2.3. Описание лабораторной установки

Структурная схема лабораторной установки для исследования шумовых параметров конвертора приемного устройства СТВ показана на рис. 2.4.

Генератор шума реализован на шумовой газоразрядной лампе (ШЛ). Управление режимом работы лампы осуществляется источником питания (ИП). Согласованная нагрузка (СН) служит для согласования генератора шума с исследуемым конвертором (К) при выключенной шумовой лампе ШЛ. Сигнал генератора шума в диапазоне частот (9...12) ГГц поступает на вход исследуемого конвертора К. Сигнал первой промежуточной частоты $f_{\text{пч1}} = (0,95...1,75)$ ГГц поступает на вход преобразователя частоты. Преобразователь частоты (в его состав входят смеситель С и генератор Г) переносит спектр сигнала первой промежуточной частоты конвертора в диапазон рабочих частот ИМ.



СН — согласованная нагрузка; ШЛ — шумовая газоразрядная лампа; К — исследуемый конвертор; С — смеситель; И — измеритель мощности; ИП — блок питания шумовой газоразрядной лампы; Г — генератор.

Рис. 2.4 — Структурная схема лабораторной установки

Частота генератора f_{Γ} , являющегося гетеродином преобразователя частоты, определяется из следующего соотношения:

$$f_{\Gamma} = f_{\text{пч1}} \pm f_{\text{пч2}},$$

где $f_{\text{пч2}} = 5$ МГц.

С выхода преобразователя частоты сигнал $f_{\text{пч2}}$ поступает на измеритель мощности ИМ. Показания измерителя мощности ИМ пропорциональны уровню мощности поступающего на него сигнала.

2.4. Порядок теоретических исследований

2.4.1. Рассчитать значения коэффициента шума и шумовой температуры конвертора, при которых обеспечивается необходимая добротность приемных устройств систем СТВ индивидуального $(\frac{G}{T_{ш}})_{и}$ и коллективного $(\frac{G}{T_{ш}})_{к}$ пользования на заданных частотах f_1, f_2, f_3 . Исходные данные для выполнения теоретических и экспериментальных исследований приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 — Исходные данные для выполнения теоретических и экспериментальных исследований

M	T_A, K	$3, \%$	n	$T_{ш}, K$	$f_1, ГГц$	N	$d, м$	$f_2, ГГц$	$f_3, ГГц$
0	65	90	0,60	190	10,974	0	1,2	11,650	11,015
1	85	98	0,58	120	11,010	1	1,8	10,986	11,175
2	73	93	0,63	160	11,137	2	2,0	11,091	11,135
3	55	95	0,65	140	11,174	3	2,5	11,140	10,975
4	68	88	0,71	220	11,549	4	3,1	11,507	11,178
5	75	94	0,68	205	11,600	5	2,1	11,674	11,133
6	70	92	0,64	175	11,459	6	1,6	11,181	11,593
7	45	97	0,72	130	11,607	7	1,4	11,149	11,607
8	90	96	0,62	180	11,472	8	2,2	11,640	11,181
9	80	91	0,59	200	11,486	9	2,3	11,593	10,974

Примечание. В таблице 2.1 использованы обозначения: M и N — предпоследняя и последняя цифры номера зачетной книжки соответственно.

2.4.2. Рассчитать значения добротности $\left(\frac{G}{T_{\text{ш}}}\right)$, если в приемном устройстве

используются конвертор с заданным значением $T_{\text{ш}}$, а также при увеличении $T_{\text{ш}}$ на 25 К и при уменьшении $T_{\text{ш}}$ на 15 К.

2.4.3. Рассчитать значения первой промежуточной частоты конвертора $f_{\text{пч1}}$ приемника СТВ для заданных частот телевизионных каналов, если частота стабилизированного гетеродина $f_{\text{гг}} = 9,95$ ГГц.

2.5. Порядок выполнения экспериментальных исследований

2.5.1. Измерить значения коэффициента шума конвертора приемника СТВ на заданных частотах f_1, f_2, f_3 .

2.5.2. По измеренным в п.2.5.1. значениям коэффициента шума определить значения шумовой температуры конвертора приемника СТВ на заданных частотах f_1, f_2, f_3 .

2.5.3. Рассчитать диаметры $d_{\text{и}}$ антенны, которая при измеренных по п.2.5.1. значениях коэффициента шума обеспечивает необходимую добротность приемного устройства в системе СТВ **индивидуального** пользования.

2.5.4. Рассчитать диаметры $d_{\text{к}}$ антенны, которая при измеренных по п.2.5.1. значениях коэффициента шума обеспечивает необходимую добротность приемного устройства в системе СТВ **коллективного** пользования.

2.6. Контрольные вопросы

2.6.1. Вопросы для допуска к работе

2.6.1.1. Приведите структурную схему конвертора приемника системы СТВ, объясните назначение элементов схемы.

2.6.1.2. Какие требования предъявляются к антенне приемника СТВ?

2.6.1.3. В чём заключаются разница между приемными устройствами системы СТВ индивидуального и коллективного пользования?

2.6.1.4. Что понимается под добротностью приемного устройства СТВ?

2.6.1.5. Какими элементами конвертора приемника СТВ определяются его шумовые свойства?

2.6.1.6. Какие требования предъявляются к параметрам МШУ конвертора?

2.6.1.7. Обоснуйте выбор параметров полосно-пропускающего фильтра конвертора.

2.6.1.8. Сформулируйте требования к гетеродину конвертора.

2.6.1.9. Обоснуйте выбор параметров усилителя УПЧ конвертора.

2.6.1.10. Приведите структурную схему лабораторной установки, поясните назначение элементов схемы.

2.6.2. Вопросы для подготовки к защите

2.6.2.1. Каким образом могут быть улучшены шумовые свойства антенны приемного устройства системы СТВ?

2.6.2.2. Как влияют поляризационные свойства антенны приемника СТВ на показатели качества принимаемого телевизионного сигнала?

2.6.2.3. Каким образом влияет величина плотности потока мощности на схему построения СВЧ тракта приемного устройства СТВ?

2.6.2.4. Каким образом влияет КИП антенны на добротность приемного устройства СТВ; за счёт каких мер добротность может быть увеличена?

2.6.2.5. Как влияют шумовые свойства МШУ на требования к параметрам антенны приемника системы СТВ?

2.6.2.6. Сравните методы измерения шумовых характеристик СВЧ устройств.

2.6.2.7. Как влияют параметры стабилизированного гетеродина конвертора на качество принимаемого телевизионного изображения?

2.6.2.8. Почему в системах СТВ используется частотная модуляция?

3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЮНЕРА ПРИЕМНОГО УСТРОЙСТВА СИСТЕМЫ СПУТНИКОВОГО ТЕЛЕВИЗИОННОГО ВЕЩАНИЯ

3.1. Цель работы

Целями лабораторной работы являются:

- ознакомление студентов с особенностями построения тюнеров приемных устройств спутникового телевизионного вещания (СТВ);
- изучение методики расчета энергетических параметров систем СТВ;
- освоение методики теоретического и экспериментального исследования основных характеристик тюнера приемного устройства СТВ.

3.2. Теоретический раздел

3.2.1. Особенности построения тюнеров приемных устройств систем спутникового телевизионного вещания

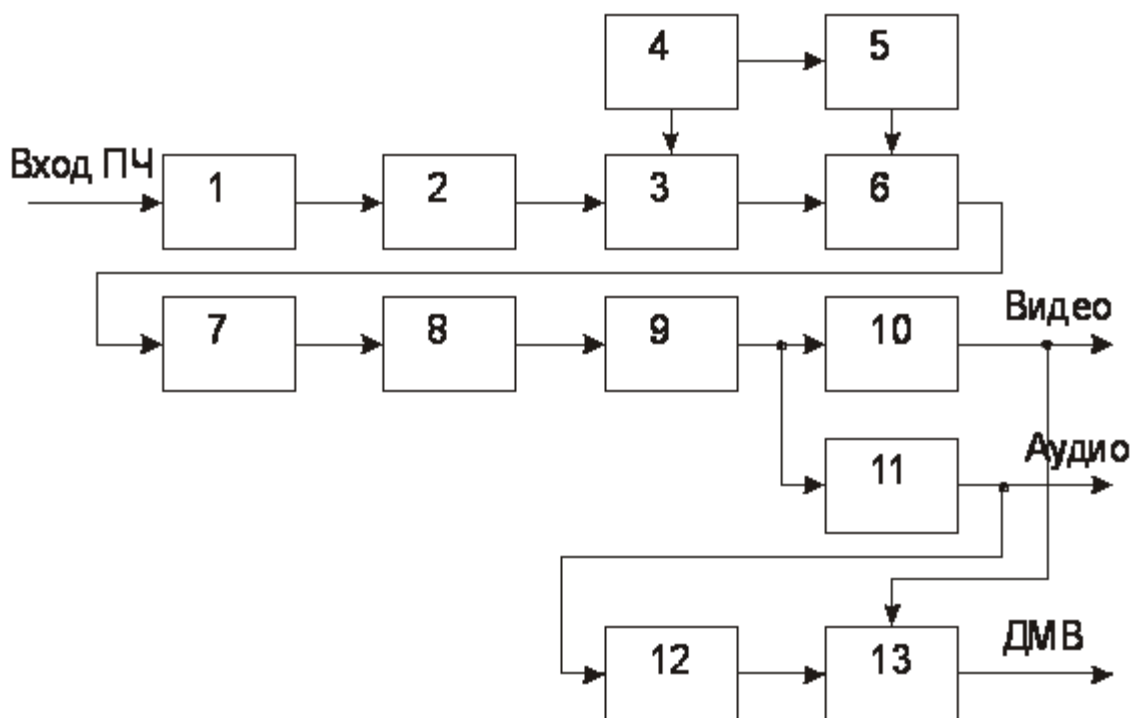
Тюнеры входят в состав систем СТВ и решают следующие задачи:

- выбор телевизионного канала;
- преобразование сигнала на более низкую промежуточную частоту (ПЧ);
- демодуляция с последующей обработкой сигнала.

Известны различные модификации тюнеров, которые сходны между собой на уровне структурных схем. Отличия связаны, например, со способом выбора программы, с использованием того или иного типа ЧМ демодулятора и т.п.

На рис. 3.1 изображена типовая структурная схема тюнера приемника системы СТВ.

Входной полосно-пропускающий фильтр пропускает сигналы в полосе частот (950... 1750) МГц, подавляя при этом помехи за пределами полосы пропускания. Источниками этих помех являются радиолинии дециметрового диапазона, работающие в данной местности, промышленные предприятия и др.



1 — полосно-пропускающий фильтр 950...1750 МГц; 2 — усилитель первой промежуточной частоты; 3 — перестраиваемый полосно-пропускающий фильтр; 4 — устройство выбора программ; 5 — перестраиваемый гетеродин; 6 — смеситель; 7 — полосно-пропускающий фильтр второй промежуточной частоты; 8 — усилитель второй промежуточной частоты; 9 — частотный демодулятор; 10 — видеоусилитель; 11 — демодулятор и усилитель сигналов звукового сопровождения; 12 — ЧМ модулятор сигналов звукового сопровождения; 13 — АМ модулятор сигналов изображения.

Рис. 3.1 — Типовая структурная схема тюнера приемника СТВ

Важно устранить помехи по первой промежуточной частоте. В противном случае помехи попадают на вход смесителя и, накладываясь на сигнал, заметно ухудшают соотношение сигнал-шум.

Усилитель первой промежуточной частоты предназначен для компенсации потерь полосно-пропускающего фильтра 1 и в то же время выполняет роль согласующего устройства между входным полосно-пропускающим фильтром 1 и перестраиваемым полосно-пропускающим фильтром 3.

Перестраиваемый полосно-пропускающий фильтр (ПППФ) предназначен для выбора желаемой программы путем настройки на соответствующую центральную частоту. Он также обеспечивает подавление зеркального канала приема не менее, чем на 30 дБ. Управление центральной частотой ПППФ осу-

ществляется устройством выбора программ, которое обычно выполняют на базе микропроцессора.

Сигнал с выхода ПППФ поступает на смеситель (иногда через буферный каскад усилителя ПЧ). На второй вход смесителя подается сигнал с перестраиваемого по частоте гетеродина (ПГ). Частота ПГ больше частоты сигнала первой ПЧ на величину второй ПЧ, поэтому на выходе смесителя появляется сигнал разностной частоты. Этот сигнал выделяется однокаскадным или двухкаскадный полосно-пропускающим фильтром второй ПЧ.

В усилителе второй ПЧ сигнал дополнительно фильтруется входящим в его состав фильтром сосредоточенной селекции и ограничивается по амплитуде для устранения паразитной амплитудной модуляции.

Ограничение обычно обеспечивают либо путем введения глубокой автоматической регулировки усиления (АРУ), либо с помощью амплитудного ограничителя.

Частотный демодулятор выделяет телевизионный сигнал (видеосигнал и сигнал звукового сопровождения на поднесущей частоте). Если в качестве демодулятора применяется синхронный фазовый детектор (СФД), то в нем осуществляется подавление паразитной амплитудной модуляции, в связи с чем схема усилителя второй ПЧ может быть упрощена.

Видеосигнал усиливается усилителем изображения до уровня, достаточно-го для подачи на видеовход телевизионного приемника. Если стандарт вещания не соответствует возможностям данного телевизионного приемника (*PAL*, *SECAM*, *NTSC*, *D2-MAC*), то применяют дополнительный декодер.

Сигнал звукового сопровождения, передаваемый на поднесущей частоте, детектируется, усиливается и далее его можно подать на аудиовход телевизионного приемника.

В ряде моделей телевизионных приемников отсутствует видеовход. Для использования антенного входа такого приемника в состав тюнеров включают преобразователь, который формирует стандартный телевизионный сигнал на частоте одного из стандартных каналов ДМВ диапазона.

3.2.2. Энергетический баланс систем спутникового телевизионного вещания

В большинстве систем СТВ используются ретрансляторы на ИСЗ, выведенных на геостационарную орбиту (ГО). Геостационарной называют круговую орбиту, расположенную в плоскости экватора, с высотой H над поверхностью Земли ($H = 35786$ км). Располагающийся на такой орбите спутник совершает один оборот вокруг Земли точно за одни сутки, т.е. за то же время, за которое Земля делает оборот вокруг своей оси, поэтому ИСЗ на геостационарной орбите оказывается как бы неподвижно расположенным над некоторой экваториальной точкой поверхности Земли.

Использование ретрансляторов на геостационарных ИСЗ создает ряд преимуществ в организации систем СТВ (в частности, по сравнению с системами, использующими ИСЗ на высокоэллиптических орбитах): отсутствуют перерывы в вещании, которое становится круглосуточным; существенно упрощается наведение антенн приемных устройств на ИСЗ. Как правило, антенны после первоначальной их ориентации на конкретный ИСЗ остаются неподвижными, а изменение наведения требуется, только если необходимо осуществлять прием сигналов от другого ИСЗ. Чаще всего для этого используют автоматизированные устройства ориентации антенн.

Координаты наведения антенны приемного устройства на ИСЗ, занимающий позицию l_0 на ГО, могут быть рассчитаны следующим образом.

Азимут b на спутник от приемного устройства, расположенного севернее ИСЗ, равен:

- $b = p - b'$, если приемное устройство находится западнее позиции ИСЗ;
- $b = p + b'$, если приемное устройство находится восточнее ИСЗ.

Если приемное устройство расположено южнее ИСЗ, то азимут b на спутник равен:

- $b = b'$, если приемное устройство находится западнее позиции ИСЗ;
- $b = 2p - b'$, если приемное устройство находится восточнее ИСЗ.

Угол места Γ можно найти по формуле

$$\gamma = \arctg \left[\frac{\cos \Pi - \frac{R}{R+H}}{\sin \Pi} \right],$$

где R — радиус Земли.

В выражениях для расчета азимута β и угла места Γ использованы следующие обозначения:

$$\beta' = \arccos[\operatorname{tg} \varphi / \operatorname{tg} \Pi];$$

$$\cos \Pi = \cos \varphi \cos \Delta;$$

$$\Delta = |\lambda_{\text{пу}} - \lambda_0|,$$

где $\lambda_{\text{пу}}$ и φ — географические долгота и широта места расположения приемного устройства соответственно.

Качество приема в любой телекоммуникационной системе определяется отношением мощности сигнала (P_c) к мощности шума ($P_{\text{ш}}$) в приемнике. Разработчику спутниковых систем предпочтительнее знать отношения мощности сигнала к мощности шума $\frac{P_c}{P_{\text{ш}}}$ на входе приемника, тогда как для потребителя

системы больший интерес представляет отношение $\frac{P_c}{P_{\text{ш}}}$ на выходе приемника.

Значения этого отношения зависят от плотности потока мощности Π , создаваемой в точке приема на поверхности Земли бортовым передатчиком ИСЗ, а также от параметров приемного устройства.

Плотность потока мощности пропорциональна эквивалентной изотропно излучаемой мощности (ЭИИМ), т.е. произведению мощности бортового передатчика (P_b) на коэффициент усиления бортовой антенны (G_b), и обратно пропорциональна квадрату расстояния L от ИСЗ до точки приема:

$$\Pi = \frac{P_b G_b}{4\pi L^2}.$$

Мощность, подводимая ко входу приемника, пропорциональна плотности потока мощности и эффективной площади приемной антенны $S_{\text{эф}}$:

$$P_{\text{под}} = \Pi S_{\text{эфф}},$$

где $S_{\text{эфф}} = \frac{\lambda^2 G}{4\pi}$; λ — длина волны; G — коэффициент усиления приемной антенны.

Мощность шума на входе приемника пропорциональна шумовой температуре приемной системы $T_{\text{ш}}$ и эквивалентной шумовой полосе приемника Δf :

$$P_{\text{ш}} = k T_{\text{ш}} \Delta f,$$

где $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$ — постоянная Больцмана.

Получаем выражение для отношения сигнал-шум в следующем виде:

$$\left(\frac{P_{\text{с}}}{P_{\text{ш}}} \right)_{\text{вх}} = \frac{\lambda^2 \Pi G}{4\pi k T_{\text{ш}} \Delta f}.$$

Для практического использования иногда удобнее представить полученное выражение в логарифмическом виде:

$$\left(\frac{P_{\text{с}}}{P_{\text{ш}}} \right)_{\text{вх}} = K + \Pi + \frac{G}{T_{\text{ш}}},$$

где $K = 10 \cdot \lg \left(\frac{\lambda^2}{4\pi k \Delta f} \right)$;

$\frac{G}{T_{\text{ш}}}$ — шумовая добротность системы.

При расчете энергетических линии величина отношения $\left(\frac{P_{\text{с}}}{P_{\text{ш}}} \right)_{\text{вх}}$ будет меньше на так называемый коэффициент (поле) допуска B , которым учитываются дополнительные потери, связанные с затуханием в осадках, потери в радиоканале, а также потери, связанные с неточностью ориентации приемной антенны. Величина коэффициента B обычно составляет (2...3) дБ.

Значение $\left(\frac{P_{\text{с}}}{P_{\text{ш}}} \right)$ на выходе приемника по известному отношению $\left(\frac{P_{\text{с}}}{P_{\text{ш}}} \right)$ на

входе приемника находят в два этапа. Первоначально определяют невзвешенный коэффициент отношения мощности сигнала к мощности шума на выходе приемника. Для телевизионного сигнала это фактически отношение мощности яркостного сигнала к невзвешенной мощности шума.

Поскольку в системах СТВ используется частотная модуляция, отношение мощности сигнала к мощности шума на выходе приемника определяется следующим образом:

$$\left(\frac{P_C}{P_{\text{ш}}} \right)_{\text{вых}} = \frac{3}{2} \left(\frac{\Delta f_{\text{д}}}{f_{\text{в}}} \right)^2 \frac{\Delta f}{f_{\text{в}}} \left(\frac{P_C}{P_{\text{ш}}} \right)_{\text{вх}},$$

где $\Delta f_{\text{д}}$ — девиация частоты;

$f_{\text{в}}$ — ширина полосы видеосигнала;

Δf — ширина полосы пропускания усилителя второй промежуточной частоты в приемнике.

Коэффициент $G_{\text{м}}$, равный

$$G_{\text{м}} = \frac{3}{2} \left(\frac{\Delta f_{\text{д}}}{f_{\text{в}}} \right)^2 \frac{\Delta f}{f_{\text{в}}},$$

называется выигрышем модуляции.

Для стандарта *PAL* величина $G_{\text{м}}$ составляет 16,5 дБ. К этой величине следует прибавить около 2 дБ для улучшения отношения сигнал/шум, обусловленного использованием устройства предискажения. В итоге полное улучшение соотношения сигнал/шум для стандарта *PAL* составляет 18,5 дБ, для стандарта *C-MAC* — 16 дБ.

Поскольку спектральная чувствительность зрительной системы неравномерна, невзвешенное отношение мощности сигнала к мощности шума не полностью соответствует впечатлению, которое получает наблюдатель. Для сближения объективного параметра с субъективными оценками качества изображения вводится понятие взвешенного отношения сигнал-шум. Это отношение мощности сигнала к мощности шума, пропущенного через так называемый визиометрический фильтр. Визиометрический коэффициент для стандарта *PAL*

составляет 11 дБ, для стандарта *C-MAC* — 13 дБ. Значение взвешенного отношения мощности сигнала к мощности шума $\left(\frac{P_c}{P_{ш}}\right)$ связано с качеством изображения посредством субъективных оценок качества изображения с участием большого числа наблюдателей. Результаты таких исследований для ТВ стандартов *C-MAC*, *PAL*, *SECAM* представляют шкалу МККР, показанную на рис. 3.2.

Так, для стандарта *C-MAC* с учетом величины G_m , равной 16 дБ, и визиометрического коэффициента, равного 13 дБ, для реализации очень хорошего качества изображения необходимо обеспечить отношение сигнал-шум на входе приемника не менее 17 дБ. Хорошее качество изображения обеспечивается при отношении не менее 11 дБ.

Для значений $\left(\frac{P_c}{P_{ш}}\right)_{вх}$, меньших 11 дБ, резко ухудшается качество изобра-

жения, что связано с порогом работы частотного демодулятора.

Применяя демодуляторы с существенно уменьшенным порогом, можно улучшить примерно на 1 деление по шкале МККР качество принимаемого изображения при меньших значениях отношения сигнал/шум на входе приемника, равных (6...8) дБ.

3.3. Описание лабораторной установки

Структурная схема лабораторной установки для исследования тюнера приемного устройства системы СТВ изображена на рис. 3.3.

В качестве объекта для исследования в состав лабораторной установки входит тюнер спутникового телевидения «Ласпи ТСТ-01», структурная схема которого приведена в Приложении А.

В состав лабораторной установки входят два генератора СВЧ, перекрывающие диапазон значений первой промежуточной частоты (950...1750) МГц, и вольтметр.

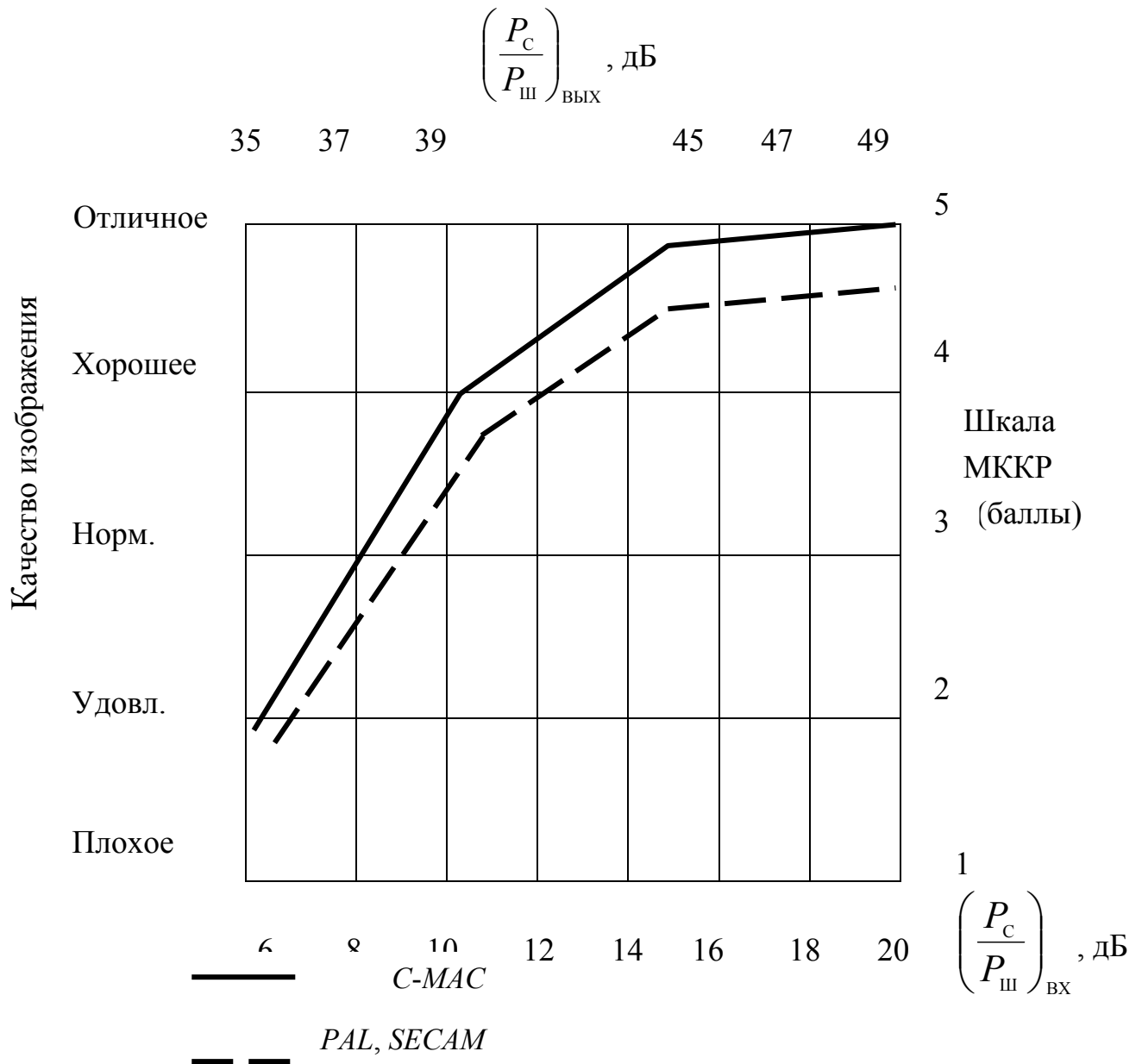


Рис. 3.2 — Зависимость качества изображения от отношения сигнал-шум

3.4. Порядок выполнения теоретических исследований

3.4.1. Рассчитать значения азимутальной и угломестной координат наведения антенны приемного устройства, находящегося в г. Севастополе, на заданные в соответствии с таблицей 3.1. геостационарные ИСЗ (наименования ИСЗ и другие необходимые для выполнения расчетов данные следует выбирать из таблицы 3.1. по предпоследней M и последней N цифрам номера зачетной книжки).

3.4.2. Определить плотность потока мощности в точке приема с помощью программы «*SMW Link*».

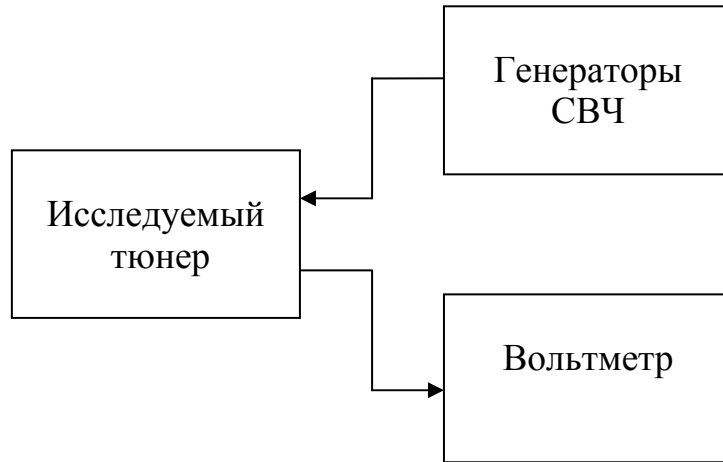


Рис. 3.3 — Структурная схема лабораторной установки

3.4.3. Определить расстояние между ИСЗ и точкой приема с использованием программы «*SMW Link*», описание которой приведено в Приложении Б.

3.4.4. Рассчитать диаметры антенны приемного устройства системы СТВ в случае использования в тюнере двух типов демодуляторов:

а) стандартного частотного детектора (пороговое значение отношения сигнал-шум $\left(\frac{P_c}{P_{ш}}\right)_{пор}$ равно 13 дБ);

б) порогопонижающего демодулятора $\left(\frac{P_c}{P_{ш}}\right)_{пор} = 9$ дБ).

Расчеты выполнить для указанных в таблице 2.1 значений частот и соответствующих значений $K_{ш}$, полученных в ходе выполненных экспериментальных исследований лабораторной работы № 2.

3.4.5. Проверить результаты расчетов, используя программу «*SMW Link*».

3.4.6. Рассчитать мощность сигнала на выходе конвертора приемного устройства с учетом коэффициента усиления конвертора $K_{ук}$.

Таблица 3.1 — Исходные данные для выполнения теоретических расчетов и экспериментальных исследований

M	B , дБ	$K_{\text{ук}}$, дБ	N	ИСЗ
1	1,8	58	1	<i>Amos-1; Eutelsat2 F4 (L.B.)</i>
2	2,0	60	2	<i>Eutelsat2 F3 (L.B.); Hot Bird 1</i>
3	2,3	64	3	<i>Eutelsat2 F3 (L.B.); Intelsat 601e</i>
4	2,5	65	4	<i>Thor; Intelsat 707s1</i>
5	1,8	62	5	<i>Thor; Sirius2-h</i>
6	1,6	50	6	<i>Thor; Sirius2-v</i>
7	2,1	52	7	<i>Amos-1; Turksat</i>
8	2,4	57	8	<i>Eutelsat2 F3 (L.B.); Intelsat 707s2</i>
9	2,2	54	9	<i>Eutelsat2 F3 (L.B.); Intelsat K</i>
0	1,7	53	0	<i>Eutelsat2 F3 (L.B.); Hot Bird 1</i>

3.5. Порядок выполнения экспериментальных исследований

3.5.1. Измерить чувствительность тюнера на заданных частотах.

3.5.2. Измерить избирательность тюнера по соседнему каналу на заданных частотах.

3.5.3. Измерить избирательность тюнера по зеркальному каналу.

3.5.4. Измерить АЧХ тюнера на заданных частотах при крайних положениях регулятора «ПОЛОСА».

3.5.5. Измерить полосу захвата и полосу удержания системы АПЧ тюнера.

3.5.6. Сравнить измеренные значения чувствительности тюнера с рассчитанными значениями мощности на выходе конвертора.

3.5.7. Выполнить анализ результатов исследований; сделать выводы, содержащие оценку полученных результатов.

3.6. Контрольные вопросы

3.6.1. Вопросы для допуска к работе

3.6.1.1. Приведите структурную схему тюнера приемника СТВ.

3.6.1.2. Объясните назначение элемента структурной схемы тюнера.

3.6.1.3. Для чего в тюнерах предусматривается возможность изменения полосы пропускания второй ПЧ?

3.6.1.4. В чем заключаются преимущества использования ИСЗ на геостационарной орбите?

3.6.1.5. Как определяется отношение сигнал/шум на входе приемника?

3.6.1.6. Как определяется отношение мощности сигнала к мощности шума на выходе приемника в случае использования частотной модуляции?

3.6.1.7. Что понимается под визиометрическим коэффициентом?

3.6.1.8. Поясните методику измерения чувствительности тюнера.

3.6.1.9. Поясните методику измерения избирательности тюнера.

3.6.1.10. Приведите основные параметры исследуемого тюнера.

3.6.2. Вопросы для подготовки к защите

3.6.2.1. Сравните структурные схемы типового и исследуемого тюнера.

3.6.2.2. Сделайте оценку полученных значений избирательности тюнера по соседнему каналу.

3.6.2.3. Поясните методику измерения параметров системы АПЧ тюнера.

3.6.2.4. Проанализируйте структурную схему исследуемого тюнера с точки зрения оптимальности выбора промежуточных частот.

3.6.2.5. Проанализируйте полученные значения глубины регулировки АРУ.

3.6.2.6. Поясните методику расчета отношения сигнал-шум на выходе приемника.

3.6.2.7. Из каких соображений выбирается значение второй ПЧ тюнера?

3.6.2.8. Приведите пример частотного демодулятора с пониженным порогом.

4. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПЗС ВИДЕОКАМЕРЫ

4.1. Цель работы

Лабораторная работа выполняется с целью ознакомить студентов с физическими основами и принципами построения фотоэлектрических преобразователей изображения на основе приборов с зарядовой связью (ПЗС) путем теоретического и экспериментального исследования основных характеристик ПЗС видеокамеры.

4.2. Теоретический раздел

4.2.1. Твердотельные фотоэлектрические преобразователи

Микроминиатюризация ТВ передающей аппаратуры тормозилась использованием в ней в качестве преобразователя «свет-сигнал» электровакуумных приборов, обладающих достаточно большими габаритами и сложной системой управления электронным лучом. Развитие твердотельной технологии, технологии тонкопленочных покрытий позволило разработать безвакуумные твердотельные матричные фотоэлектрические преобразователи (ФЭП) изображения, в которых в качестве элементов матрицы использовались фоторезисторы, фотодиоды, фототранзисторы.

Изобретенные в 1969 г. приборы с зарядовой связью (ПЗС) (*CCD — Charge Coupled Device*) позволили создать твердотельные ФЭП с числом элементов разложения, соответствующим стандарту ТВ вещания.

Принцип работы прибора с зарядовой связью. Основным элементом ПЗС является конденсатор МОП (металл-окисел-полупроводник)-структуры, одной из обкладок которого служит металлический электрод, а второй — полупроводниковая подложка (*p*- или *n*-проводимости). Диэлектриком служит окисел беспримесного полупроводника, наносимый в виде тонкого слоя на подложку.

В изображенном на рис. 4.1 МОП-конденсаторе в качестве полупроводника использован кремний дырочного типа проводимости. В качестве диэлектрика

использован слой двуоксида кремния толщиной около 0,1 мкм. В полупроводнике дырочного типа проводимости основными носителями заряда являются дырки. При приложении к металлическому электроду положительного потенциала основные носители (дырки) в слое кремния, прилегающем к границе с окислом, будут «отталкиваться» от электрода и, покинув поверхностный слой, уйдут в толщу полупроводника.

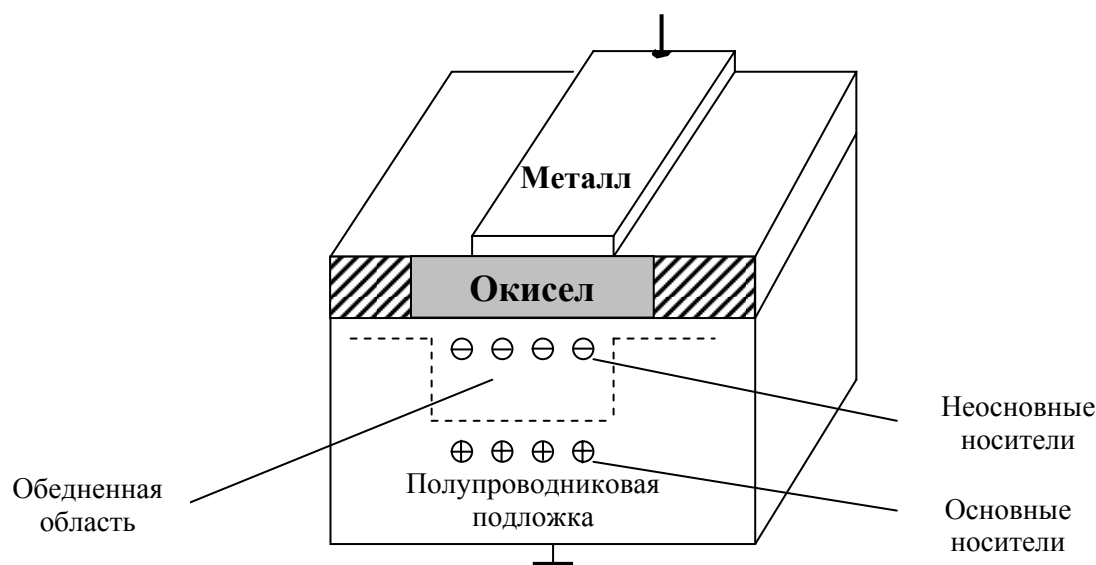


Рис. 4.1 — Конденсатор МОП-структуры

Под электродами образуется область, обедненная основными носителями, — «потенциальная яма», глубина которой зависит от приложенного напряжения U , степени легирования полупроводника, толщины слоя окисла. Таким образом, выбирая значения напряжения затвора, плотность примеси и толщину слоя окисла, можно эффективно управлять глубиной потенциальной ямы. Время жизни потенциальной ямы ограничено паразитным процессом термогенерации неосновных носителей, так как в кремнии при данной температуре всегда генерируются пары «электрон-дырка», которые под действием электрического поля разделяются: основные носители «отгоняются» в толщину, а неосновные — накапливаются, заполняя постепенно потенциальную яму. Накопление в потенциальных ямах термогенерированных носителей является паразитным процессом. Время, необходимое для заполнения потенциальной ямы из-за термогенерации, называется временем релаксации. Следовательно, промежуток времени, существенно меньший по сравнению со временем релаксации, может быть

использован для хранения в потенциальных ямах зарядовых пакетов, несущих информацию о значении полезного сигнала, а МОП-конденсатор может служить элементом, запоминаящим информацию, представленную зарядом потенциальной ямы. Таким образом, максимальное время хранения зарядовой информации $t_{\text{хр max}}$, а следовательно, и минимальная частота работы цифровых и аналоговых устройств на ПЗС определяются процессами накопления паразитного заряда в потенциальной яме.

Зарядовый пакет в ПЗС может быть введен электрическим путем или с помощью световой генерации. При световой генерации фотоэлектрические процессы, возникающие в кремнии, приведут к накоплению неосновных носителей в потенциальных ямах. Накопленный заряд пропорционален освещенности и времени накопления. Направленная передача заряда в ПЗС обеспечивается расположением МОП-конденсаторов на столь близком расстоянии друг от друга, что их обедненные области перекрываются и потенциальные ямы соединяются. При этом подвижный заряд неосновных носителей будет накапливаться в том месте, где глубже потенциальная яма, как это показано на рис. 4.2.

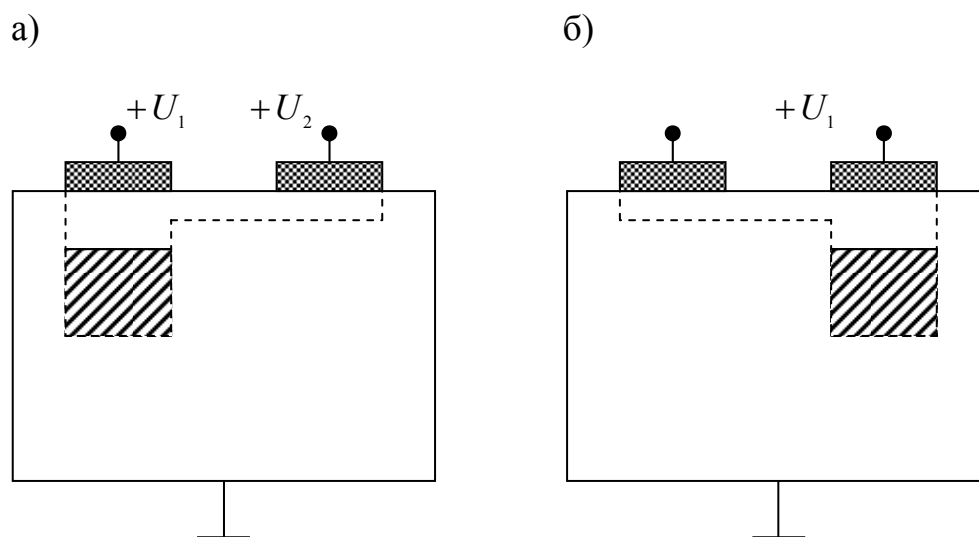


Рис. 4.2 — Перенос зарядовых пакетов путем перемещения потенциалов электродов двух рядом расположенных МОП-конденсаторов

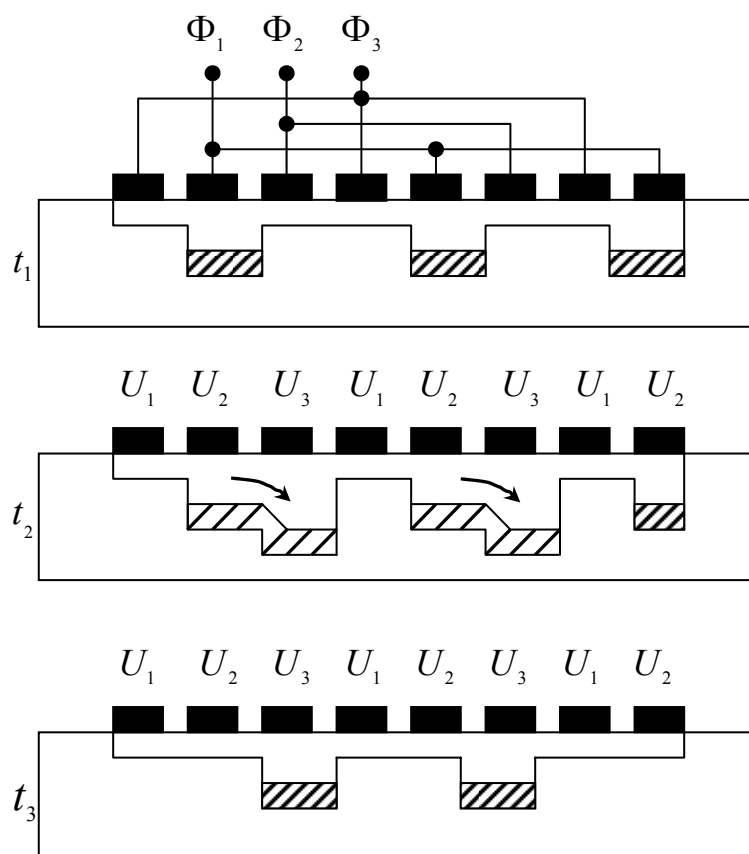
На металлические электроды, расположенных рядом двух конденсаторов поданы положительные потенциалы U_1 и U_2 . В начальный момент потенциал $U_1 > U_2$.

В образовавшуюся глубокую потенциальную яму левого конденсатора может быть помещена зарядовая информация (рис. 4.2,а). Затем потенциал левого электрода уменьшим, а потенциал правого — увеличим. Тогда под правым электродом образуется глубокая потенциальная яма, в которую перетечет зарядовый пакет, помещенный ранее в потенциальную яму левого конденсатора (рис. 4.2,б). Следовательно, изменяя определенным образом потенциалы на электродах близко расположенных конденсаторов, можно направленно перемещать зарядовую информацию. Динамику перемещения зарядовых пакетов можно проследить на примере трехфазного сдвигового регистра — устройства, состоящего из цепочки МОП-конденсаторов. Сдвиговым регистром управляют по трехтактной схеме. Каждый электрод прибора подключен к одной из трех тактовых шин с фазами Φ_1 , Φ_2 , Φ_3 , как показано на рис. 4.3.

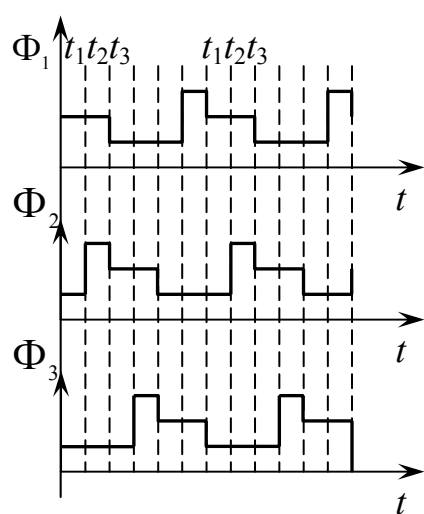
Один элемент сдвигового регистра состоит из трех ячеек МОП-конденсаторов. В течение первого такта работы (момент t_1) на электроды фазы Φ_1 подано положительное напряжение U_2 . Под этими электродами образуются потенциальные ямы, в которых могут накапливаться и храниться заряды, образованные неосновными носителями. Это может происходить как в результате воздействия светового излучения — тогда заряды будут носителями полезной информации, так и вследствие паразитного процесса термогенерации. При этом термогенерированные заряды составляют паразитную добавку к информационному заряду и являются источником темнового тока сигнала изображения. Время хранения зарядов t_{xp} равно времени действия напряжения U_2 , а режим работы ячейки (под электродами фазы Φ) в это время называется режимом хранения.

В момент t_2 (второй такт) на электроды фазы Φ_2 подается напряжение U_3 , значение которого превышает в 1,5...2 раза напряжение U_2 . Это напряжение называется напряжением записи. Оно вызывает появление под электродами фазы более глубоких потенциальных ям, в которые и перетекают электроны из-под электродов фазы Φ_1 . Режим, при котором электроны перетекают из одних потенциальных ям в другие, называется режимом записи.

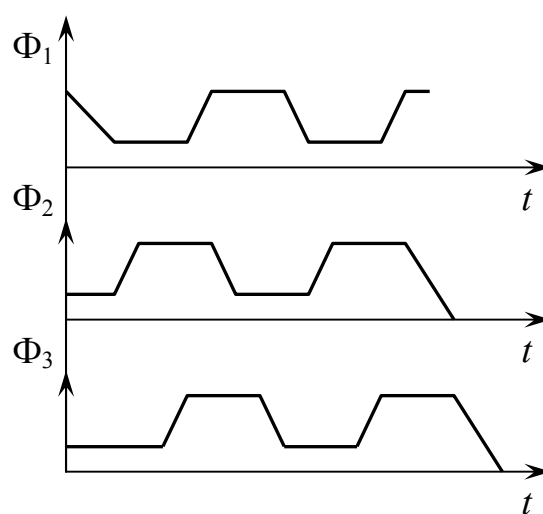
а)



б)



в)



а) — трехфазный регистр;

б) — идеальная тактовая диаграмма;

в) — реальная форма управляющих импульсов

Рис. 4.3 — Перемещение зарядовых пакетов в трехфазном сдвиговом регистре

В момент t_3 (третий такт) напряжение на электродах фазы уменьшится до значения U_2 , соответствующего режиму хранения, а напряжение на электродах фазы Φ_2 уменьшится от значения U_2 до U_1 что предотвращает возврат зарядового пакета под электроды фазы Φ_1 . Из рис. 4.3,а видно, что перенос зарядовых пакетов произойдет слева направо, так под электродами фазы Φ_1 , потенциал остается низким, равным U_1 .

Направленный перенос зарядовых пакетов является одним из достоинств трехтактных регистров. В регистрах, работающих по двухтактной схеме, направленный перенос зарядов приходится обеспечивать путем усложнения структуры ПЗС. Последовательность смены потенциалов на тактовых группах показана на тактовой диаграмме (рис. 4.3,б), на которой форма управляющих напряжений для трехтактной схемы идеальна. Для повышения эффективности переноса зарядов тактовые импульсы, подаваемые на электрод, должны перекрываться и иметь пологий фронт, что задерживает уменьшение глубины потенциальной ямы, поэтому практически для управления используют импульсы трапецеидальной формы (см. рис. 4.3,в). При этом остатки заряда успевают перетечь в соседнюю потенциальную яму и в результате повысится эффективность переноса заряда.

4.2.2. Принципы построения ПЗС матриц

ФЭП изображения на ПЗС делятся на два класса: линейные (одномерные) и матричные (двумерные). В линейных ФЭП фоточувствительные элементы расположены вдоль одной линии, обычно строки, и формируют одномерное изображение объекта. Такие однострочные ФЭП могут быть использованы при контроле за технологическими процессами производства, при специальном анализе и анализе оптической плотности макро- и микрообъектов. Однострочные ФЭП могут быть использованы и для получения двумерного изображения. В этом случае необходимо перемещение ФЭП или объекта в направлении, перпендикулярном направлению строчной развертки.

Твердотельным аналогом передающей трубки с электронным сканирова-

нием по строке и кадру является матричный формирователь сигнала изображения. Он представляет собой двухкоординатный массив светочувствительных элементов, осуществляющих электронное сканирование по обеим координатам.

Существует несколько способов организации считывания матричных формирователей. Наиболее предпочтительна организация с кадровым переносом, схема которой показана на рис. 4.4.

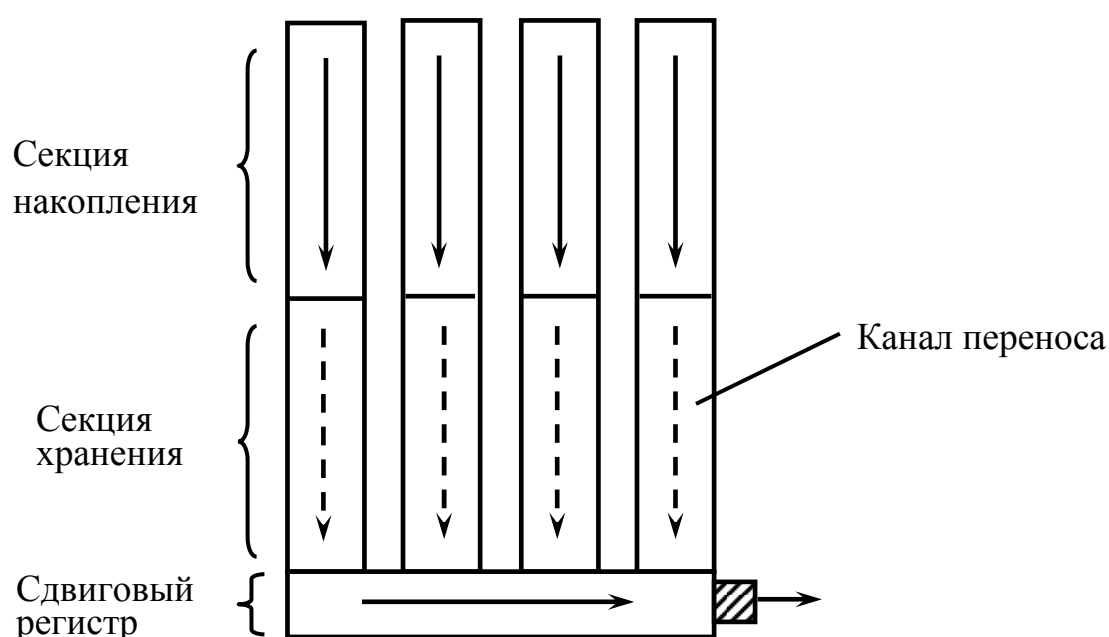


Рис. 4.4 — Способ организации покадрового переноса считывания

Характерной ее особенностью является наличие секции хранения или памяти, которая защищена от света и равна по площади секции накопления — фотоприемной секции. Накопленные заряды фотоприемной секции за время обратного хода по кадру последовательно сдвигаются в секцию хранения.

Во время накопления в фотоприемной секции следующего кадра информация из секции хранения построчно передается в секцию переноса заряда — сдвиговый регистр. Сдвиг строк в секцию переноса осуществляется во время обратного хода горизонтальной развертки. Затем зарядовые пакеты строки поэлементно выводятся сдвиговым регистром к выходному устройству, преобразующему заряды в сигнал изображения. После считывания всей видеoinформации

мации, из секции хранения начинается перенос следующего кадра.

Одним из основных достоинств покадрового считывания является устранение эффекта смазывания изображения, так как зарядовая информация считывается из защищенной от света секции хранения и дополнительной засветки при сканировании не происходит. Принцип покадрового переноса удобен для освещения матрицы со стороны подложек, что позволяет удвоить квантовую эффективность прибора и получить более равномерную характеристику спектральной чувствительности.

В качестве примера на рис. 4.5 показана схема матрицы ПЗС с числом элементов 288×232 , работающей с покадровым переносом накопленной информации и трехтактным регистром управления. Матрица содержит фоточувствительную секцию накопления, состоящую из 144×232 элементов; секцию памяти, состоящую из 144×233 элементов; сдвиговый регистр на 235 элементов и выходное устройство, состоящее из двух транзисторов.

Как видно из рис. 4.5, для усиления сигнала изображения, снятого с матрицы, используется дифференциальное устройство, в котором происходит компенсация тактовых импульсов, поступающих на его входы в противофазе.

Матрица с покадровым переносом позволяет легко реализовать чересстрочное разложение изображения. Для этого в течение длительностей нечетных полей накопление производится под электродами Φ_1 , а в течение длительностей четных полей — под электродами фазы Φ_2 . Во время обратного хода по полям зарядовая информация нечетного поля переносится в секцию хранения (памяти). В период следующего четного поля в режим накопления переводятся электроды фазы Φ_2 , и в секции накопления начинается новый цикл работы.

В то же время из секции хранения последовательно, строка за строкой, переносятся все строки нечетного поля в выходной регистр, который сдвигает элементы строки один за другим к выходному устройству. Перенос зарядов отдельных строк из секции памяти в сдвиговый регистр осуществляется во время обратного хода строчной развертки, а выход зарядов строки из регистра в выходное устройство — во время прямого хода строчной развертки.

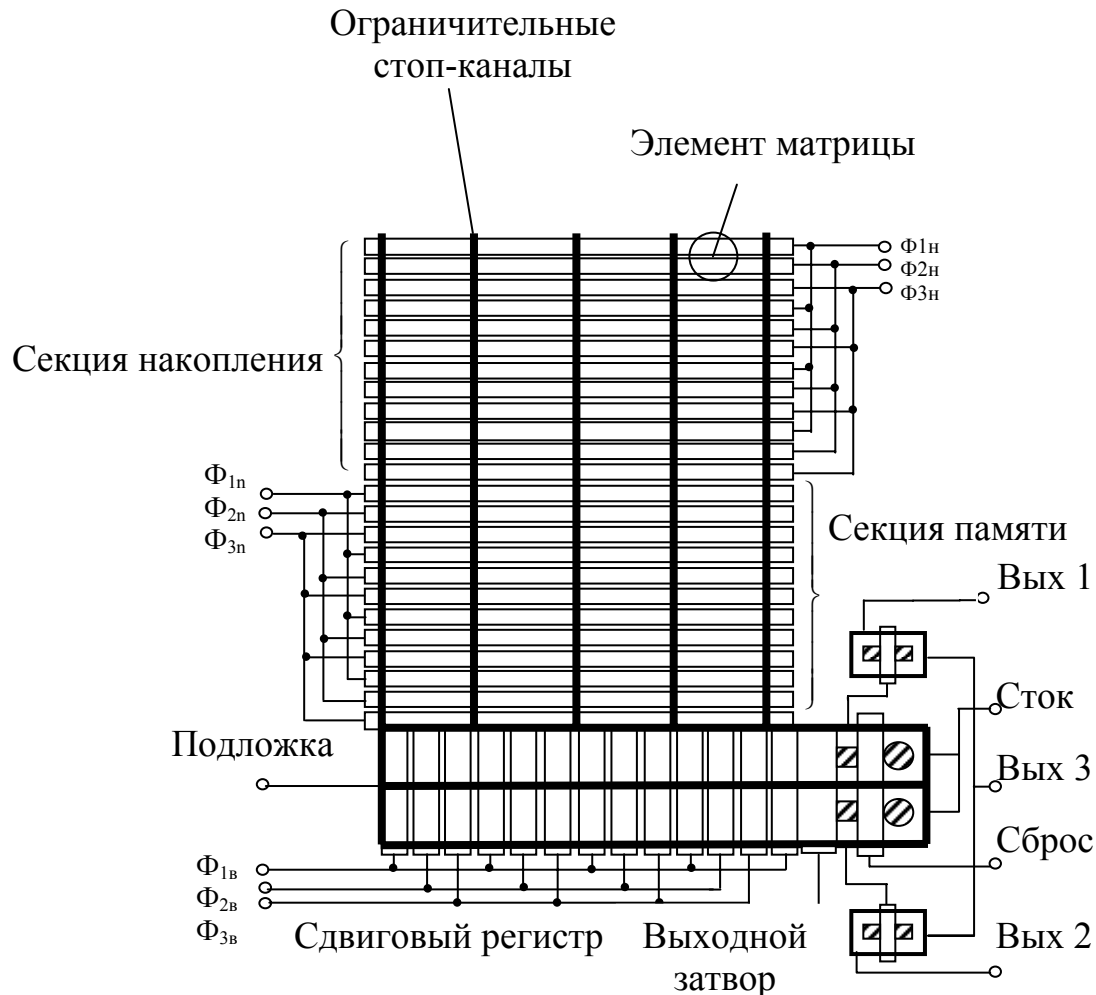


Рис. 4.5 — Схемы матрицы ПЗС

Таким образом, в матрице с построчным считыванием перенос зарядовых пакетов к выходному устройству осуществляется в три приема:

- перенос из секции накопления в секцию памяти;
- перенос из секции памяти в сдвиговой регистр;
- перенос из сдвигового регистра в выходное устройство.

Число переносов для разных элементов кадра будет различным. Максимальным оно будет для первого элемента верхней строки и минимальным — для последнего элемента нижней. Максимальное число переносов для одного зарядового пакета рассчитывается следующим образом.

Для построчной организации считывания по трехтактной схеме сдвига число переносов N_{max} равно

$$N_{max} = 2 \cdot 3z + 2n,$$

где z — число строк; n — число элементов в строке.

В приведенном равенстве первый член учитывает число переносов по кадру, а второй — число переносов вдоль строки.

Для рассмотренной матрицы, получаем

$$N_{max} = 2 \cdot 3 \cdot 144 + 2 \cdot 235 = 1569.$$

Следует отметить, что зарядовые пакеты переносятся не полностью, так как, во-первых, часть заряда теряется в «ловушках», существующих на границе кремния с окислом; а во-вторых, при определенной скорости переноса часть заряда может отстать от пакета и появиться в следующем.

Неэффективность переноса заряда ε (ε — относительная величина) характеризует часть заряда, отставшую от пакета на один перенос. Параметр ε накладывает определенные ограничения на скорость работы ПЗС и полное число переносов, которые можно совершить без существенного разрушения сигнала. Умножив ε на число переносов в приборе N_{max} , получим результирующую неэффективность переноса εN_{max} всего прибора. Приемлемым считается значение $\varepsilon = 1 \cdot 10^{-4} \dots 5 \cdot 10^{-5}$. При числе переносов $N_{max} = 1569$ суммарная эффективность переноса η ($\eta = 1 - \varepsilon$) составит

$$\eta = 1 - \varepsilon N_{max} = 84\%.$$

Таким образом, сам принцип последовательного переноса накладывает ограничение на предельное улучшение качества матрицы. Кроме этого, так как в ПЗС используется последовательное самосканирование, неисправность одного элемента вызывает потерю информации всего передающего столбца или строки.

Световая характеристика ПЗС матрицы в рабочем диапазоне освещенности E практически линейна (рис. 4.6,а; U_c — амплитуда сигнала на выходе матрицы): нижняя точка соответствует выходному сигналу в отсутствие освещения и определяет темновой ток, обусловленный в большой степени термогенерацией неосновных носителей; верхняя точка характеризует режим насыщения элемента матрицы, т.е. полное заполнение потенциальной ямы неоснов-

ными носителями. Глубина потенциальной ямы определяется конструктивными параметрами матрицы и потенциалом накопления, значение которого ограничено напряжением пробоя МОП-конденсатора.

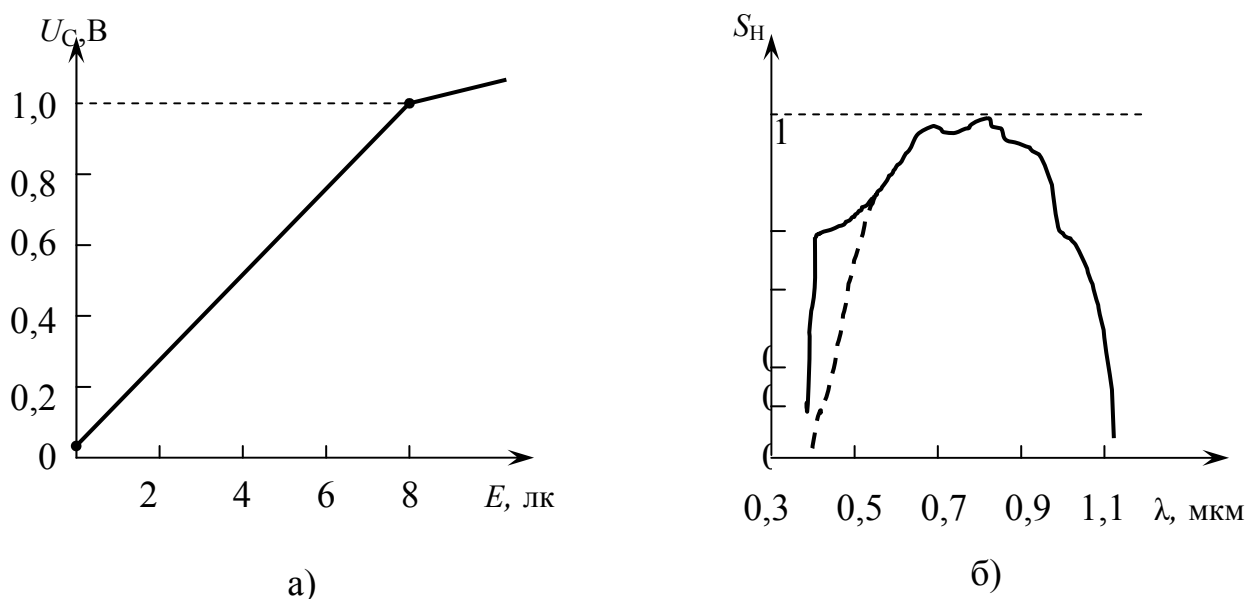


Рис. 4.6 — Характеристики матрицы ПЗС:
а) световая; б) спектральная

Нормированная спектральная чувствительность S_H ($S_H = S(\lambda)/S(\lambda_{max})$, где λ_{max} — длина волны, соответствующая максимуму спектральной чувствительности) матричного формирователя (рис. 4.6,б) имеет подъем в длинноволновой области спектра и спад в области длин волн 0,4...0,5 мкм (пунктир), который обусловлен сильным поглощением на этом участке спектра поликремниевыми электродами, нанесенными на полупроводниковую подложку. В усовершенствованных образцах ПЗС для повышения чувствительности в этой области спектра в поликремниевых электродах выполнены «окна». Площадь окон составляет примерно 15%...20% от площади фоточувствительной поверхности. Благодаря этому чувствительность матрицы на длине волны $\lambda = 0,4$ мкм удалось повысить примерно на 20 % (сплошная линия на рис. 4.6,б), что позволило использовать матрицу в цветном телевидении.

Разрешающая способность видеокамеры на ПЗС определяется числом элементов накопления в матрице ПЗС. Увеличению числа элементов матрицы препятствуют технологические трудности, а также ухудшение параметров

сигнала изображения, связанное со снижением эффективности переноса изображения.

4.2.3. Параметры и характеристики ПЗС видеокамер

Несмотря на большое разнообразие типов телевизионных камер, выпускаемых в настоящее время, они базируются на ограниченном наборе матриц ПЗС, так как серийное производство этих электронных изделий осуществляется всего несколькими компаниями: *SONY*, *Panasonic*, *Samsung*, *Philips*, *Hitachi*, *Kodak*.

Основными параметрами ПЗС матриц для видеокамер являются:

- размерность в пикселях;
- физический размер в дюймах ($2/3$, $1/2$, $1/3$ и т. д. — эти числа не определяют точный размер чувствительной области, а, скорее, определяют класс прибора);
- чувствительность.

Разрешающая способность и формат ПЗС камер. Разрешающая способность ПЗС камер в основном определяется размерностью ПЗС матрицы в пикселях и качеством объектива. В некоторых случаях для улучшения видимого разрешения в камерах устанавливаются высокочастотные пространственные фильтры. В этом случае изображение объекта, полученное камерой с ПЗС меньшей размерности, может выглядеть даже более резким, чем изображение этого же объекта, полученное камерой более высокого класса.

В настоящее время широко применяются ПЗС матрицы с размерностью до 3000×3000 (в сообщении о матрице с размерностью 10000×10000 отмечались проблемы хранения, обработки и передачи полученных изображений).

ПЗС матрицы, ориентированные на телевизионный стандарт, используются, в основном, двух форматов: 512×576 и 768×576 ; при этом матрицы 512×576 обычно используются в простых и недорогих системах видеонаблюдения. Матрицы 768×576 позволяют получить максимальное разрешение для стандартного телевизионного сигнала. При этом, в отличие от матриц формата 512×576 , они имеют близкую к квадрату сетку расположения светочувствительных элемен-

тов, а, значит, практически одинаковую разрешающую способность по горизонтали и по вертикали.

Часто компании-изготовители телекамер указывают разрешающую способность (РС) в телевизионных линиях N . Это означает, что камера позволяет разглядеть $N/2$ темных вертикальных штрихов на светлом фоне, уложенных во вписанный в поле изображения квадрат.

Применительно к телевизионным испытательным таблицам определение РС предполагает следующие действия: подбирая расстояние и фокусируя изображение таблицы необходимо добиться того, чтобы верхний и нижний край изображения таблицы на мониторе совпали с внешним контуром таблицы, отмечаемым вершинами черных и белых призм. Затем считывается число в том месте вертикального клина, где вертикальные штрихи в первый раз перестают разрешаться, т.е. зрительно сливаются. На изображении тестовых полей таблицы, имеющих 600 и более штрихов, видны перемежающиеся полосы, которые являются муаром, образованным биением пространственных частот штрихов таблицы и сетки чувствительных элементов ПЗС матрицы. Этот эффект проявляется в камерах с высокочастотными пространственными фильтрами.

Физический размер ПЗС ячеек является основным параметром, определяющим требование к разрешающей способности объектива.

Например, для 1/2 дюймовой матрицы *SONY ICX039* размер пикселя составляет $(8,6 \times 8,3)$ мкм, следовательно, объектив должен иметь разрешение лучше, чем $1/8,3 \cdot 10^{-3} = 120$ линий/мм (т.е. 60 пар линий на миллиметр).

Под разрешающей способностью контроллеров ввода изображений понимают частоту преобразования аналогово-цифрового преобразователя (АЦП) контроллера, данные с выхода которого затем записываются в память контроллера. ПЗС матрицы имеют дискретную топологию, поэтому оптимальная частота АЦП для них определяется частотой сдвига выходного регистра матрицы. При этом важно, чтобы АЦП контроллера работал синхронно с выходным регистром ПЗС матрицы. Только в этом случае может быть достигнуто наилучшее качество преобразования как с точки зрения обеспечения «жесткой» геометрии получаемых изображений, так и с точки зрения минимизации шумов от такто-

вых импульсов и переходных процессов.

Чувствительность ПЗС видеокамер I зависит от числа зарядов, вызванных падающими на её поверхность фотонами, а также шума считывания этих зарядов. Величина I обратно пропорциональна квадрату требуемого отношения сигнал/шум.

Число накопленных зарядов зависит от площади светочувствительного элемента и квантовой эффективности ПЗС матрицы. Шум считывания для современных матриц составляет величину в пределах 10...30 электронов и даже менее.

Квантовая эффективность (насколько в среднем изменяется заряд чувствительной ячейки в электронах при падении на её поверхность одного фотона) у современных матриц равна 0,4...0,6 (у отдельных матриц она достигает 0,85).

Чувствительность современных ПЗС камер, отнесенная к определенному значению сигнал/шум, вплотную подошла к физическому пределу.

Типичные значения чувствительности камер общего применения при величине сигнал/шум, равной 46, находятся в диапазоне (0,15...0,25) лк освещенности на объекте при светосиле объектива 1:1,4.

Для цветных ТВ камер важным фактором является спектральная чувствительность ПЗС матриц. На рис. 4.7 изображены спектральные характеристики различных ПЗС матриц ведущих мировых производителей.

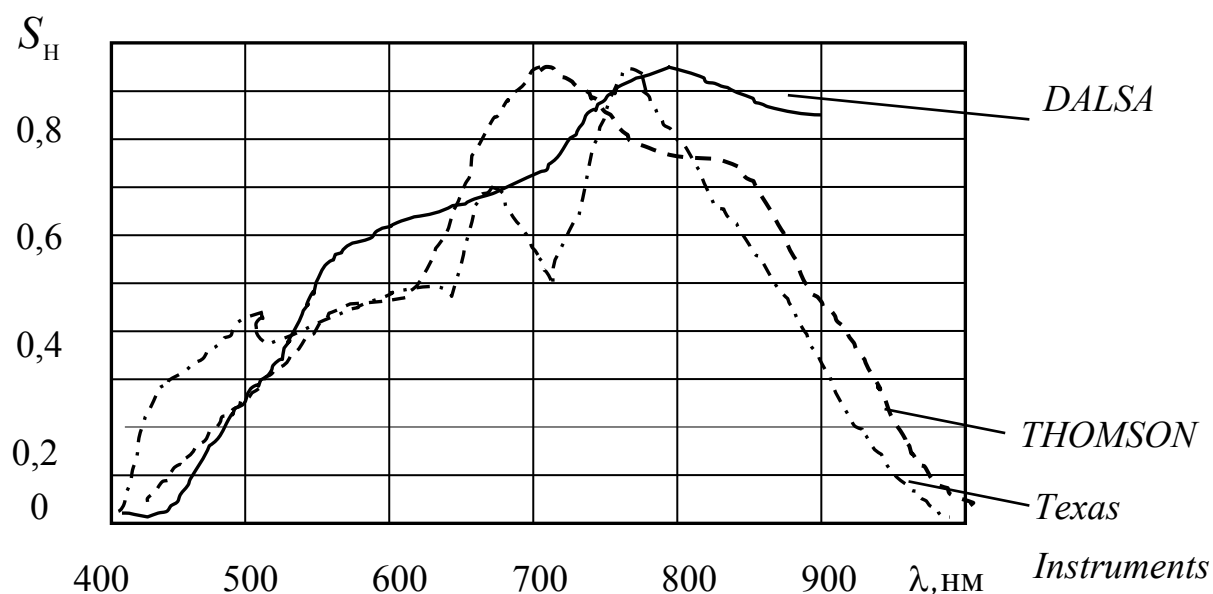


Рис. 4.7 — Спектральные характеристики ПЗС матриц

Видно, что ПЗС матрицы обладают максимумом чувствительности в красном и ближнем инфракрасном (ИК) диапазоне и практически ничего не «видят» в сине-фиолетовой части спектра. Такие ПЗС матрицы используются в системах скрытного наблюдения с подсветкой ИК источниками света и при измерении тепловых полей объектов. Компания *SONY* все черно-белые матрицы выпускает с максимумом спектральной характеристики в синей области спектра. Для различных специальных целей разрабатываются матрицы, чувствительные в ультрафиолетовом и даже рентгеновском диапазонах.

Развертка в ПЗС матрицах. Стандартный телевизионный сигнал системы вещательного телевидения имеет с точки зрения современных систем ввода и обработки изображения один большой недостаток. Из 625 строк (из них около 576 с видеoinформацией) каждого кадра показываются последовательно 2 полукадра (поля), состоящие из четных строк (четный полукадр) и нечетных строк (нечетный полукадр). Таким образом, разрешение по вертикали ограничивается числом строк в одном полукадре (288).

Когда изображение визуализируется на компьютерном мониторе, который имеет прогрессивную развертку, изображение, введенное с чересстрочной телекамеры, при движении объекта наблюдения вызывает неприятный визуальный эффект раздвоения. Известные методы борьбы с этим недостатком приводят к ухудшению разрешения по вертикали. Единственная возможность добиться разрешения, соответствующего разрешению ПЗС матрицы, состоит в переходе на прогрессивную развертку в ПЗС.

Цветные телекамеры на ПЗС матрицах. Распространены два способа формирования сигнала цветности:

- с использованием одноматричной камеры со светофильтрами;
- с использованием системы из трех ПЗС матриц с цветоделительной головкой для получения R , G , B компонентов сигнала цветности.

Второй путь обеспечивает наилучшее качество, однако камеры, работающие на этом принципе, относительно более дороги.

В большинстве случаев используются одноматричные ПЗС камеры, в которых перед каждым элементом ПЗС матрицы устанавливается светофильтр.

При этом общее число элементов матрицы остается прежним. Существуют несколько схем «раскраски» матриц. На рис. 4.8 показана схема с 4 светофильтрами. Для формирования сигнала цветности производятся следующие операции. Суммированием сигналов 4-х соседних пикселей получают яркостный сигнал Y :

$$Y = (C_y + G) + (Y_e + M_g).$$

В строке $A1$ получают «красный» цветоразностный сигнал как результат следующей операции:

$$R - Y = (M_g + Y_e) - (G + C_y),$$

а в строке $A2$ получают «синий» цветоразностный сигнал:

$$B - Y = (G + Y_e) - (M_g + C_y).$$

Пространственное разрешение цветной ПЗС матрицы по сравнению с такой же черно-белой обычно в (1,3...1,5) раза хуже по горизонтали и по вертикали.

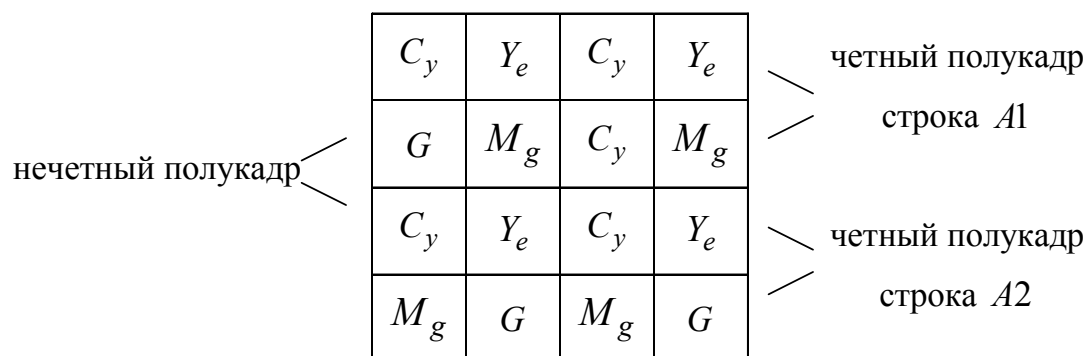


Рис. 4.8 Ъ Распределение светофильтров на элементах ПЗС матрицы

За счет применения светофильтров чувствительность цветной ПЗС матрицы также хуже, чем черно-белой. Таким образом, для матрицы 1000x800 реально можно получить разрешение около 700x550 пикселей по яркостному сигналу и 500x400 — по сигналу цветности. О пространственном разрешении цветового сигнала можно сказать, что оно как минимум в 2 раза хуже, чем разреше-

ние по черно-белому сигналу. Кроме того, «вычисленный» цвет выходного пиксела не есть цвет соответствующего элемента исходного изображения, а лишь результат обработки яркостей различных элементов исходной картинки. В случае резкого различия яркостей соседних элементов объекта может быть вычислен цвет, который не соответствует реальному, при этом незначительное смещение камеры может привести к резкому изменению вычисленного цвета. Например, граница темного и светлого поля серого цвета будет выглядеть состоящей из разноцветных квадратиков.

Видеосигнал на выходе цветных камер представляется в одном из стандартных форматов: чаще всего *PAL*, *NTSC*, реже *S-video*.

КМОП матрицы. Современный уровень технологии производства ПЗС матриц с точки зрения чувствительности и шумов весьма близок к физическим пределам. В качестве перспективных в настоящее время следует рассматривать КМОП (*CMOS—Complementary Metal Oxide Semiconductor*) телевизионные матрицы.

Использование *CMOS* технологии дает несколько очевидных преимуществ:

- технология *CMOS* хорошо освоена и позволяет выпускать элементы с приемлемым процентом брака;
- технология *CMOS* позволяет разместить на матрице, кроме светочувствительной области, и необходимые дополнительные устройства (вплоть до АЦП), которые раньше устанавливались «снаружи», тем самым создавать телекамеры с цифровым выходом «на одном кристалле».

4.3. Описание лабораторной установки

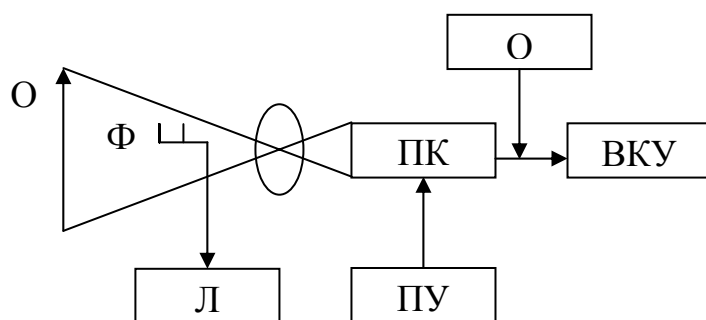
Структурная схема лабораторной установки для исследования характеристик ПЗС видеокамеры показана на рис. 4.9.

Объектом передачи являются сменные испытательные таблицы:

- стандартная телевизионная испытательная таблица ИТ-72 (служит для настройки аппаратуры) — таблица 1;
- таблица, содержащая набор из пяти градационных полос различной яр-

кости (служит для определения коэффициентов нелинейных искажений амплитудных характеристик ПЗС видеокамеры и всего телевизионного тракта) — таблица 2;

— таблица, содержащая набор из групп полосок с различной шириной и интервалами (служит для определения разрешающей способности передающей камеры) — таблица 3.



О — объект передачи; ПК — передающая ПЗС видеокамера;
 ПУ — пульт управления; ВКУ — видеоконтрольное устройство;
 Л — люксметр; Ф — фотоэлемент люксметра; О — осциллограф

Рис. 4.9 — Структурная схема лабораторной установки

Для определения яркостей элементов объекта и ТВ изображения служит люксметр с селеновым фотоэлементом (Л). Поднося фотоэлемент к соответствующему элементу (для таблицы 2 — к соответствующей градационной полосе) объекта (таблица) или изображения (экран ВКУ), можно измерить ее яркость.

При помощи пульта управления ПУ изменяется электронным способом диафрагма ПЗС видеокамеры (номер диафрагмы выбирается студентом в соответствии с таблицей 4.1 по последней цифре номера зачетной книжки)

В исследуемой ПЗС видеокамере формируется полный телевизионный сигнал, который подается на вход ВКУ.

Осциллограф, подключаемый к выходу исследуемой ПЗС видеокамеры, позволяет исследовать параметры полного телевизионного сигнала.

4.4. Порядок выполнения экспериментальных исследований

4.4.1. Снять и построить амплитудную характеристику ПЗС видеокамеры

$U_c = f(B_{об})$, последовательно измеряя яркость $B_{об}$ каждой из пяти градационных полос на таблице 2 и измеряя амплитуду сигнала U_c на выходе ПЗС видеокамеры для соответствующей полосы. Для U_c привести осциллограмму.

4.4.2. Снять и построить амплитудную характеристику всего телевизионного тракта $B_{из} = f(B_{об})$, последовательно измеряя яркость $B_{об}$ каждой из пяти градационных полос на испытательной таблице 2 и измеряя яркость $B_{из}$ на экране ВКУ для соответствующей полосы.

4.4.3. По амплитудным характеристикам оценить величину нелинейных искажений, вносимых исследуемой ПЗС видеокамерой и ВКУ.

4.4.4. Используя испытательную таблицу 3, снять зависимость $U_c = f(q)$, где q — число вертикальных полосок, приходящееся на 1 метр таблицы 3 (значения q приведены на таблице). Для U_c привести осциллограмму. Оценить разрешающую способность ПЗС видеокамеры по критерию уменьшения амплитуды сигнала, соответствующего мелким деталям, по отношению к амплитуде сигнала для крупных деталей ($q = 100$), в два раза.

4.4.5. С помощью испытательной таблицы 1 измерить разрешающую способность всего ТВ тракта в центре и по краям экрана ВКУ, по вертикали и по горизонтали.

4.4.6. Рассчитать значения верхней частоты в спектре ТВ сигнала, соответствующие полученным в пунктах 4.4.4 и 4.4.5 оценкам разрешающей способности ПЗС видеокамеры и телевизионного тракта.

4.4.7. Выполнить анализ результатов экспериментальных исследований и сформулировать выводы, содержащие сравнение и оценку полученных результатов.

Таблица 4.1 — Задание на установку диафрагмы при выполнении экспериментальных исследований лабораторной работы

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Диафрагма	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5

4.5. Контрольные вопросы

4.5.1. Вопросы для допуска к работе

4.5.1.1. В чем заключается принцип работы приборов с зарядовой связью?

4.5.1.2. Как осуществляется перенос зарядов в приборах с зарядовой связью?

4.5.1.3. Назовите способы считывания в матричных формирователях.

4.5.1.4. Поясните назначение элементов схемы матрицы ПЗС.

4.5.1.5. В чем заключаются основные этапы переноса зарядовых пакетов в матрице с покадровым считыванием?

4.5.1.6. Что понимается под неэффективностью переноса заряда?

4.5.1.7. Перечислите основные параметры ПЗС матриц.

4.5.1.8. Каким образом оценивается чувствительность ПЗС видеокамер?

4.5.1.9. Как определяется разрешающая способность ПЗС видеокамер?

4.5.1.10. Какие основные отличия цветных ПЗС видеокамер от черно-белых?

4.5.1.11. Сформулируйте цель работы и содержание экспериментов.

4.5.2. Вопросы для подготовки к защите

4.5.2.1. Чем ограничивается разрешающая способность ПЗС видеокамер?

4.5.2.2. Чем ограничивается чувствительность ПЗС видеокамер?

4.5.2.3. Сделайте сравнительный анализ качественных показателей черно-белых и цветных ПЗС видеокамер.

4.5.2.4. Каким образом осуществляется формирование цветов в цветных ПЗС видеокамерах?

4.5.2.5. Объясните принципы развертки в ПЗС матрицах.

4.5.2.6. Сделайте обоснование методики определения чувствительности ПЗС видеокамеры.

4.5.2.7. Сравните разрешающую способность исследуемой камеры по вертикали и по горизонтали. Поясните различия.

4.5.2.8. Проанализируйте полученные результаты по оценке нелинейных искажений элементов ТВ системы.

4.5.2.9. Сравните амплитудные характеристики ПЗС и приемной трубки видеоконтрольного устройства.

4.5.2.10. Проанализируйте полученные значения полосы пропускания видеотракта ТВ системы.

4.5.2.11. Выполните сравнительный анализ результатов измерений разрешающей способности при использовании двух типов испытательных таблиц.

5. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИГНАЛОВ

5.1. Цель работы

Целью лабораторной работы является ознакомление студентов с методами теоретического и экспериментального исследования особенностей спектра телевизионных сигналов.

5.2. Теоретический раздел

Рассмотрим ситуацию, в которой датчик ТВ сигнала должен преобразовывать движущееся изображение в последовательность кадров, причем время передачи одного кадра должно быть равно фиксированной величине T_k . Введем понятие производительности датчика ТВ сигнала $R_{q\max}$ следующим образом:

$$R_{q\max} = \frac{NC_{\text{э}}}{T_k} = nN\log_2 m,$$

где $n = \frac{1}{T_k}$ — число кадров, передаваемых в секунду; m — число различных градаций ТВ сигнала; $C_{\text{э}} = \log_2 m$ — информационная емкость элемента разложения; N — число элементов разложения в кадре.

Максимальное количество информации $I_{T\max}$, которое способен произвести за некоторое время T телевизионный датчик, равно

$$I_{T\max} = TR_{q\max} = TnN\log_2 m.$$

Примем в дальнейшем, что производительность канала связи $R_{\text{КС}}$ равна производительности датчика ТВ сигнала $R_{q\max}$.

Пропускная способность канала связи I определяется по формуле Шеннона

$$I = \Delta f T \log_2 \left(1 + \frac{P_c}{P_{\text{ш}}} \right), \quad (5.1)$$

где Δf — полоса пропускания канала связи; T — время передачи сообщения; P_c — мощность сигнала; $P_{ш}$ — мощность шума.

С учетом приведенных выражений выразим полосу пропускания канала связи

$$\Delta f = \frac{nN \log_2 m}{\log_2 \left(1 + \frac{P_c}{P_{ш}} \right)}. \quad (5.2)$$

Обычно полагают, что число различных градаций ТВ сигнала m определяется отношением эффективных значений напряжений сигнала U_c и шума $U_{ш}$.

Включая в число градаций и нулевой уровень, получаем

$$m = \frac{U_c}{U_{ш}} + 1. \quad (5.3)$$

Возводя соотношение (5.3) в квадрат, будем иметь

$$m^2 = \left(\frac{U_c}{U_{ш}} \right)^2 + 2 \cdot \left(\frac{U_c}{U_{ш}} \right) + 1. \quad (5.4)$$

Поскольку

$$\frac{P_c}{P_{ш}} = \left(\frac{U_c}{U_{ш}} \right)^2, \quad (5.5)$$

то с учетом (5.4) получаем:

$$\frac{P_c}{P_{ш}} + 1 = \left(\frac{U_c}{U_{ш}} \right)^2 + 1 = m^2 - 2 \left(\frac{U_c}{U_{ш}} \right) = m^2 - 2(m-1).$$

Тогда выражение (5.2) для полосы пропускания Δf можно привести к виду

$$\Delta f = \alpha \frac{nN}{2},$$

где коэффициент α определяется соотношением

$$\alpha = \frac{2 \log_2 m}{\log_2 [m^2 - 2(m-1)]}.$$

С увеличением m значение α стремится к единице (см. табл. 5.1).

Таблица 5.1 — Зависимость параметра α от числа градаций m

m	2	4	8	16	32	64
α	2	1,204	1,06	1,025	1,01	1,004

В вещательных ТВ системах $m \gg 1$, поэтому для них можно получить

$$\Delta f = \frac{nN}{2}.$$

Для обычного стандарта вещания ($n = 25 \text{ с}^{-1}$) при числе элементов разложения в кадре $N = 500000$ получаем следующую оценку полосы пропускания

$$\Delta f = \frac{nN}{2} = \frac{25 \cdot 5 \cdot 10^5}{2} = \frac{12,5 \cdot 10^6}{2} = 6,25 \text{ МГц.}$$

Этот результат получен нами из условия равенства производительности датчика ТВ сигнала и пропускной способности канала связи, определяемой формулой Шеннона (5.1). Формула Шеннона предполагает, что помехи в канале связи представляют собой белый шум, а сигнал имеет такую же статистическую структуру. Это теоретически возможно лишь в том случае, если корреляционные связи между кадрами и элементами изображения отсутствуют. В этом случае энтропия ТВ сообщений максимальна. Энтропия реальных ТВ сообщений из-за сильной корреляционной связи гораздо меньше максимальной.

Исследования показали, что реально изображения соседних ТВ кадров отличаются незначительно, следовательно, ТВ сигнал должен быть квазипериодическим, в связи с чем не может иметь вид белого шума.

Рассмотрим структуру спектра ТВ сигнала при линейной развертке. Функция B_{xy} распределения яркости в поле плоского изображения (см. рис. 5.1) может быть разложена по пространственным координатам (x, y) в двойной ряд Фурье.

В телевидении пространственные координаты x и y благодаря развертке преобразовываются во временные координаты с периодичностью строчной T_z

и кадровой T_k разверток:

$$x = \xi_1\left(\frac{t}{T_z}\right); y = \xi_2\left(\frac{t}{T_k}\right).$$

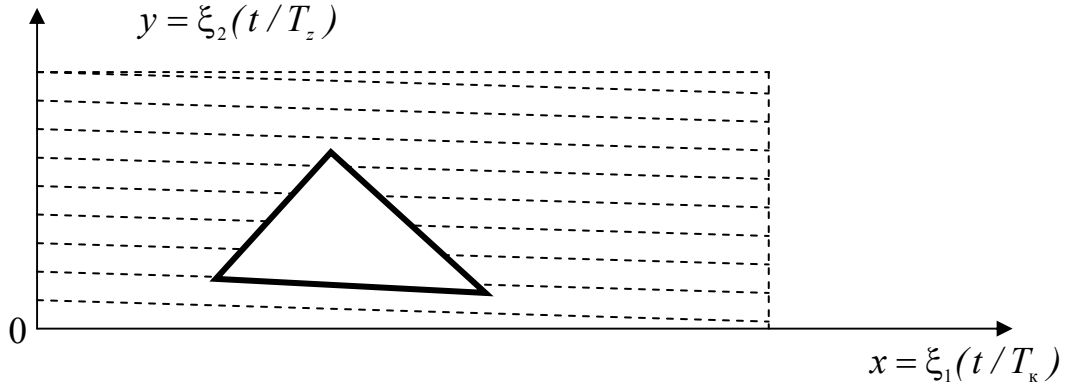


Рис. 5.1 — Плоское изображение

Яркость B_{xy} преобразовывается в уровень $u(t)$ сигнала изображения, который оказывается квазипериодической функцией строчной и кадровой частот:

$$u(t) = \xi\left(\frac{t}{T_z}, \frac{t}{T_k}\right),$$

или периодической функцией (по крайней мере для неподвижных изображений). Тогда сигнал изображения разлагается в двойной ряд Фурье по периодам T_z и T_k :

$$\begin{aligned} u\left(\frac{t}{T_z}, \frac{t}{T_k}\right) &= \sum_{\ell=0}^{\infty} \sum_{r=0}^{\infty} U_{\ell r} \cos\left(\frac{2\pi\ell t}{T_z} + \varphi_{\ell}\right) \cos\left(\frac{2\pi r t}{T_k} + \varphi_r\right) = \\ &= \sum_{\ell=0}^{\infty} \sum_{r=0}^{\infty} \frac{U_{\ell r}}{2} \{ \cos[2\pi(\ell f_z + r f_k)t + (\varphi_{\ell} + \varphi_r)] + \cos[2\pi(\ell f_z - r f_k)t + (\varphi_{\ell} - \varphi_r)] \} = \\ &= \sum_{\ell=0}^{\infty} \sum_{r=-\infty}^{\infty} \frac{U_{\ell r}}{2} \cos[2\pi(\ell f_z + r f_k)t + (\varphi_{\ell} + \varphi_r)]. \end{aligned}$$

Видно, что частотный спектр ТВ сигнала дискретен и содержит спектральные составляющие с частотами

$$f_{\ell r} = \ell \cdot f_z \pm r \cdot f_k.$$

Амплитуды составляющих спектра $U_{\ell r}$ для реальных сигналов с увеличением порядковых номеров ℓ и r быстро убывают.

Таким образом, спектр ТВ сигнала содержит постоянную составляющую, которая соответствует средней яркости изображения, и спектральные линии, образованные гармониками строчной частоты с боковыми полосами по обе стороны от этих линий, образованными гармониками кадровой частоты (рис. 5.2). При этом в районе частот, кратных нечетному числу полупериодов строчной частоты, в спектре ТВ сигнала наблюдаются глубокие «провалы».

При передаче подвижных изображений спектр линий будет смещаться;

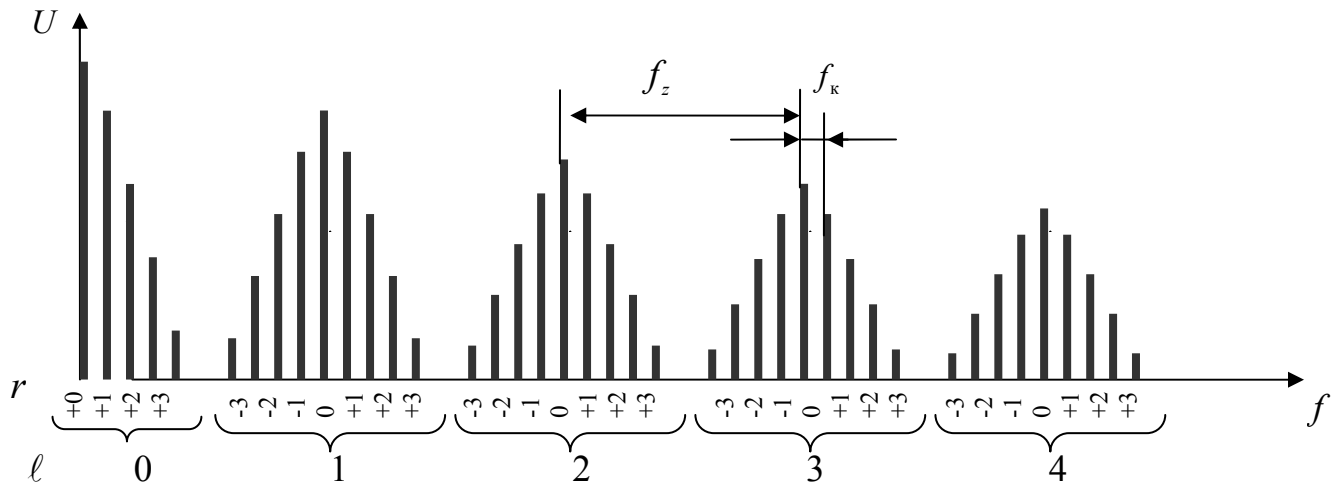


Рис. 5.2 — Спектрограмма амплитуд ТВ сигнала

оценим величину этого смещения.

Пусть изображение перемещается в направлении кадровой развертки со скоростью V . Тогда частота f'_k возвращения развертывающего элемента к данной точке изображения окажется меньше кадровой частоты f_k и будет равна:

$$f'_k = f_k \cdot \left(1 - \frac{V}{V_k}\right),$$

где V_k — скорость развертки по кадру.

Соответствующее этой скорости отклонение частоты ΔF_k равно

$$\Delta F_{\kappa} = f_{\kappa} \cdot \frac{V}{V_{\kappa}}.$$

При построчной развертке ее скорость равна:

$$V_{\kappa} = n \cdot h = f_{\kappa} \cdot h,$$

где h — высота кадра.

В результате для отклонения частоты ΔF_{κ} будем иметь

$$\Delta F_{\kappa} = V/h.$$

Если, например, изображение перемещается за одну секунду на высоту кадра, то $\Delta F_{\kappa} = 1$ Гц, т.е. вокруг каждой составляющей спектра имеются боковые полосы.

Таким образом, спектр ТВ сигнала содержит всплеск в районе постоянной составляющей (шириной до нескольких герц). Однако тракт усиления не пропускает низкие частоты (прежде всего постоянную составляющую), поэтому необходимы специальные устройства фиксации среднего уровня.

Далее в спектре имеется «провал» до частоты f_{κ} , а участок спектра от f_{κ} до верхней частоты в спектре $f_{\text{в}}$ содержит максимумы на частотах ℓf_z и минимумы («провалы») на частотах

$$\frac{1}{2} f_z (2L + 1),$$

где $L = 0, 1, 2, 3, \dots$

«Провалы» в спектре монохромного ТВ сигнала свидетельствуют о том, что канал связи при передаче этого сигнала работает с недогрузкой, а значит, его можно уплотнить, что и реализуется в совместимых системах цветного телевидения.

5.3. Описание лабораторной установки

Структурная схема лабораторной установки показана на рис. 5.3.

Лабораторная установка включает в себя объект передачи (О), передающую телевизионную камеру (ПК), видеоусилитель (ВУ), пульт управления

(ПУ), переключатель «камера-генератор» (ПКГ), видеоконтрольное устройство (ВКУ), синхрогенератор (СГ), генератор видеосигналов (ГВС) и генератор тестовых телевизионных сигналов (ГТС). Исследование параметров электрических сигналов производят при помощи осциллографа (О) и анализатора спектра (АС).

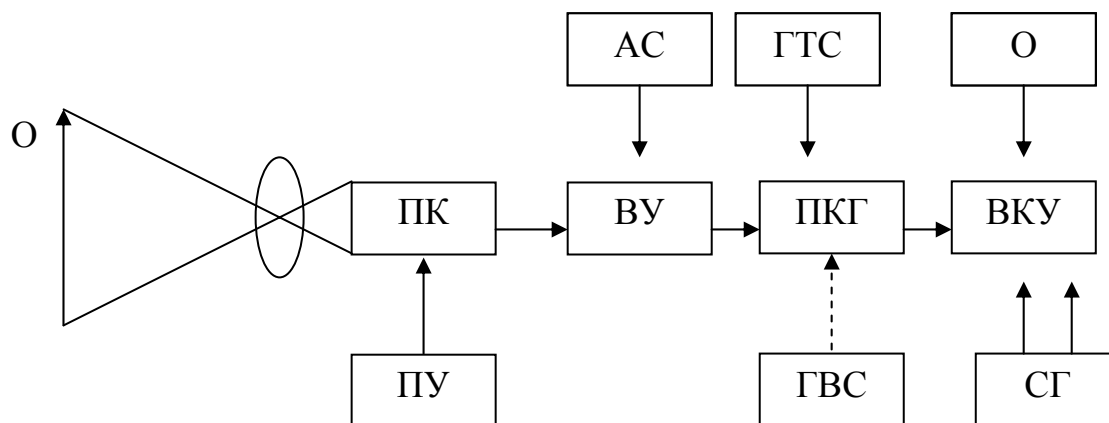


Рис. 5.3 — Структурная схема лабораторной установки

Объектами передачи являются сменные таблицы:

- объект 1 — стандартная телевизионная испытательная таблица ИТ-72;
- объект 2 — таблица, содержащая набор из пяти градационных полос различной яркости;
- объект 3 — таблица, содержащая набор из групп полосок с различной шириной и интервалами.

В передающей камере формируется полный телевизионный сигнал. В видеоусилителе этот сигнал усиливается и через переключатель «камера-генератор», выведенный на лицевую панель лабораторной установки, подается на видеоконтрольное устройство.

Синхрогенератор вырабатывает синхронизирующие и гасящие импульсы, необходимые для работы развертывающих устройств передающей и приемной трубки.

Генератор видеосигналов позволяет формировать на экране ВКУ, минуя передающую камеру, изображение в виде горизонтальных полос.

Генератор тестовых телевизионных сигналов служит для формирования

полного цветового телевизионного сигнала стандарта «СЕКАМ». В данной работе используется стандартный тестовый сигнал «вертикальные цветные полосы».

С помощью пульта управления осуществляется включение лабораторной установки и ее настройка.

Осциллограф служит для контроля формы исследуемых сигналов.

Анализатор спектра служит для измерения спектральных характеристик исследуемых сигналов.

5.4. Порядок выполнения теоретических исследований

5.4.1. Записать выражение для спектра телевизионного сигнала при заданных числе строк z и числе кадров в секунду n (см. таблицу 5.2) при чересстрочном разложении для следующих условий:

- время обратного хода по строке и по кадру составляет 10% от соответствующего периода следования импульсов;
- телевизионная система — монохромная;
- элемент изображения движется в вертикальном направлении с постоянной скоростью V .

5.4.2. Построить графики спектра ТВ сигнала в полосе частот, равной трем частотам строчной развертки.

5.4.3. Оценить полосу, занимаемую в полосе частот от 0 до 6 МГц спектральными составляющими сигнала движущегося изображения.

Исходные данные для выполнения теоретических и экспериментальных исследований приведены в таблице 5.2, где M и N — предпоследняя и последняя цифры номера зачетной книжки соответственно.

5.5. Порядок выполнения экспериментальных исследований

5.5.1. С помощью генератора видеосигналов сформировать на экране ВКУ изображение сначала в виде заданного количества горизонтальных полос А, затем для заданного количества вертикальных полос Б.

5.5.2. Измерить спектры видеосигналов изображений в виде вертикальных

и горизонтальных полос. Снять осциллограммы соответствующих сигналов.

5.5.3. Подключить в качестве источника видеосигнала телевизионную камеру и измерить спектры видеосигналов тестовых изображений объектов 1, 2, 3 на ее видеовыходе.

5.5.4. Подключить в качестве источника видеосигнала генератор тестовых телевизионных сигналов ГТС и измерить спектр тестового сигнала «вертикальные цветные полосы».

Таблица 5.2 — Исходные данные для выполнения теоретических и экспериментальных исследований

M	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
n	50	25	30	35	40	25	30	35	40	45
A	1	2	3	4	5	6	5	4	3	2
V	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	0,9	1,2	1,5	1,7	1,8
N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
B	6	5	4	3	2	1	6	5	3	4
z	441	729	1029	735	405	625	375	525	875	567

Примечание. Скорость V задана в долях высоты экрана за секунду.

5.6. Контрольные вопросы

5.6.1. Вопросы для допуска к работе

5.6.1.1. В чем отличие спектра видеосигнала при построчной и чересстрочной развертке?

5.6.1.2. Чем определяется верхняя граничная частота спектра ТВ сигнала?

5.6.1.3. Чем отличаются спектр видеосигнала, полученного от неподвижного объекта и от подвижного объекта?

5.6.1.4. Каковы характерные особенности спектра ТВ сигнала?

5.6.1.5. От чего зависит нижняя граничная частота спектра ТВ сигнала?

5.6.1.6. Поясните методику определения разрешающей способности передающей телевизионной камеры?

5.6.1.7. Как влияет на спектр ТВ сигнала частота строчной развертки?

5.6.1.8. Как влияет на спектр ТВ сигнала число элементов разложения в строке?

5.6.2. Вопросы для подготовки к защите

5.6.2.1. Поясните результаты исследования спектральных характеристик сигналов вертикальных полос.

5.6.2.2. Поясните результаты исследования спектральных характеристик сигналов горизонтальных полос.

5.6.2.3. Сравните результаты исследований спектральных характеристик сигналов вертикальных и горизонтальных полос.

5.6.2.4. Поясните результаты исследований спектральных характеристик сигналов тестовых изображений.

5.6.2.5. Поясните результаты исследования спектральных характеристик сигналов генератора тестовых телевизионных сигналов.

5.6.2.6. Сравните результаты исследования спектральных характеристик сигналов вертикальных полос и вертикальных цветных полос.

5.6.2.7. Какие особенности спектра телевизионного сигнала используются при передаче сигналов цветности?

5.6.2.8. Каким образом влияет количество вертикальных полос на спектральные характеристики сигналов?

5.6.2.9. Каковы особенности спектра телевизионного сигнала?

5.6.2.10. Проанализируйте спектр телевизионного сигнала для изображения заданного вида.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лукьянчук А.Г. Спутниковые системы связи, вещания и навигации: Учеб. пособ./А.Г. Лукьянчук, Ю.П. Михайлюк, А.А. Савочкин; Под ред. А.Г. Лукьянчука. — Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2002. — 335 с.
2. Приемные системы спутникового телевидения/ И.П. Бушминский, Д.И. Кузнецов, А.А. Романов, М.Ф. Тюхтин; Ред. М.Ф. Тюхтин. — 2 - е изд., перераб. и доп. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. — 318 с.
3. Мамаев Н.С. Цифровое телевидение/ Н.С. Мамаев, Ю.Н. Мамаев, Б.Г. Теряев; Под ред. Н.С.Мамаева. — М.: Горячая линия - Телеком, 2001. — 177 с.
4. Микроволновые технологии в телекоммуникационных системах/Т.Н. Нарытник, В.П. Бабак, М.Е. Ильченко, Кравчук С.А. — К.: Тэхніка, 2000. — 304 с.
5. Кривошеев М.И. Интерактивное телевидение/ М.И. Кривошеев, В.Г. Федунин . — М.: Радио и связь, 2000. — 341 с.
6. Телевидение: Учеб. для вузов/ В.Е. Джакония, А.А. Гоголь, Я.В. Друзин и др.; Под ред. В. Е. Джаконии. — М.: Радио и связь, 1997. — 640 с.
7. Прием телевидения и радиовещания со спутников /Д.Ю. Бэм, М.Е. Ильченко, А.П. Живков, Л.Г. Гассанов. — К.: Тэхніка, 1992. — 176 с.
8. Домбругов Р.М. Телевидение / Р. М. Домбругов. — К.: Вища шк., 1988. — 215 с.
9. Хохлов Б.Н. Декодирующие устройства цветных телевизоров/ Б.Н. Хохлов. — М.: Радио и связь, 1987. — 288 с.
10. Телевидение: Учеб. для вузов / В.Е. Джакония, А. А. Гоголь, Н.А. Ерганжиев и др.; Под ред. В. Е. Джаконии. — 5-е изд., перераб. и доп. — М.: Радио и связь, 1986. — 456 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Структурная схема тюнера спутникового телевидения

«Ласпи ТСТ-01»

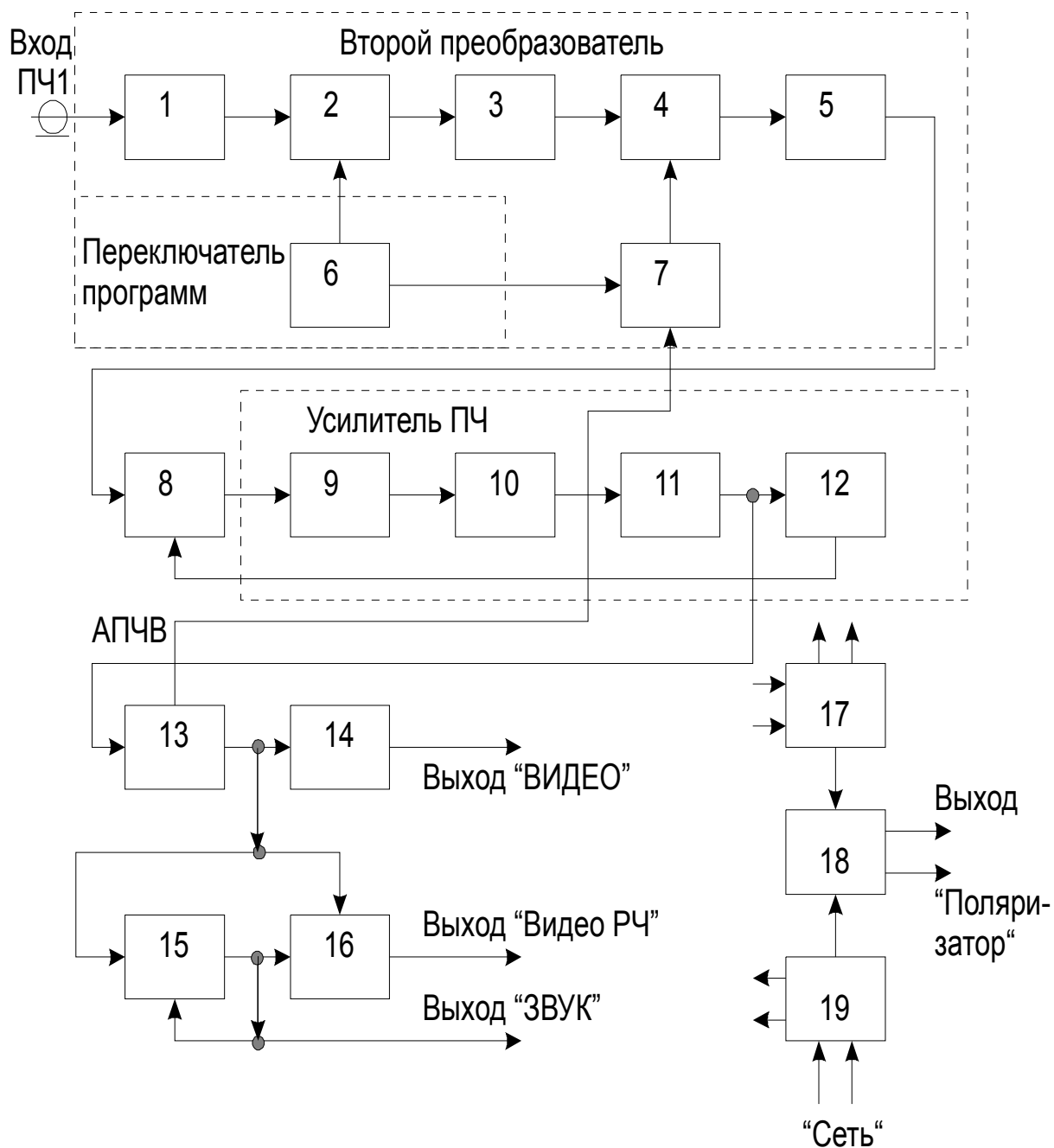


Рис. А.1 — Структурная схема тюнера спутникового телевидения
«Ласпи ТСТ-01»

1 — усилитель ПЧ-1; 2 — перестраиваемый фильтр (950...1750) МГц; 3 — апериодический усилитель ПЧ-1; 4 — второй смеситель; 5 — одноконтурный фильтр ПЧ-2 ($f_0=200$ МГц, $\Delta f=30$ МГц); 6 — переключатель программ (с модулем фиксированной настройки и блоком индикации); 7 — перестраиваемый гетеродин (1150...1959) МГц; 8 — аттенуатор управляемый; 9 — апериодический усилитель ПЧ-2; 10 — полосовой фильтр ПЧ-2 (185...215) МГц; 11 — апериодический выходной усилитель ПЧ-2; 12 — детектор АРУ; 13 — синхронно-фазовый демодулятор (СФД); 14 — модуль видеовыхода; 15 — детектор звукового сигнала с системой АПЧЗ; 16 — блок демодулятора; 17 — модуль индикации; 18 — модуль управления поляризатором; 19 — блок питания.

Рис. А.1 — Структурная схема тюнера спутникового телевидения
«Ласпи ТСТ-01» (продолжение)

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Краткое описание программа *SMW Link*

Программа *SMW Link* шведской фирмы *Schwedishe Microwave* позволяет осуществлять упрощенный расчет основных параметров систем СТВ.

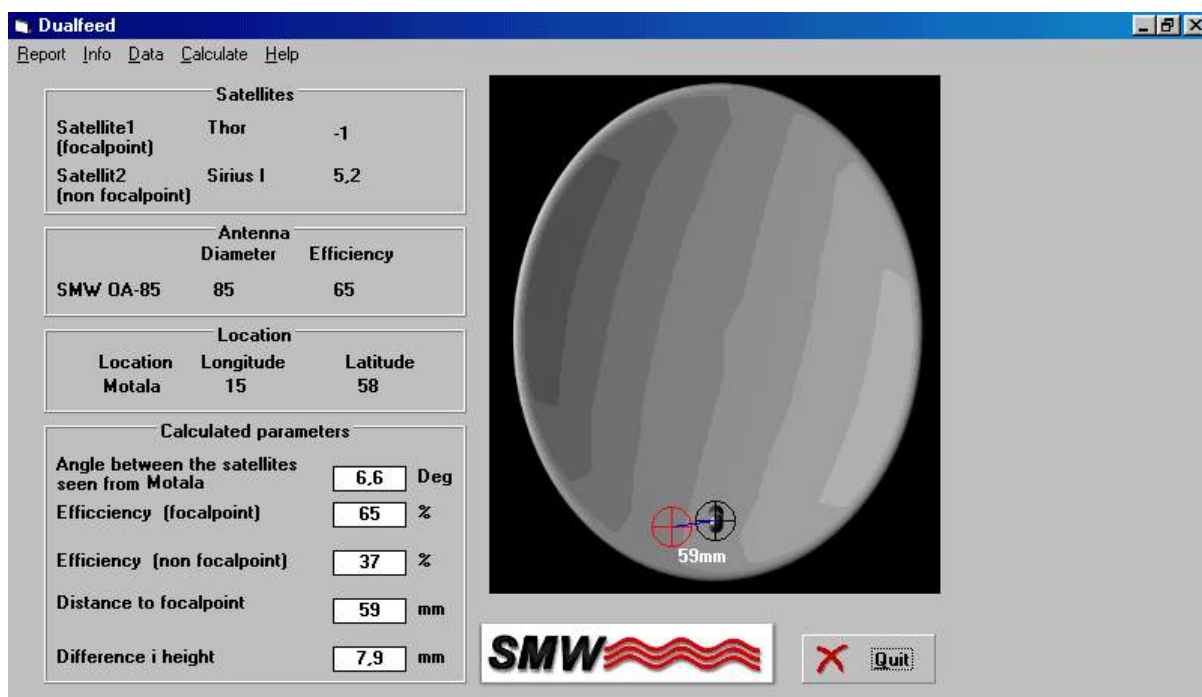
При запуске программы первое окно (см. рис. Б.1) позволяет выбрать одно из следующих дальнейших действий:



Рис. Б.1 — Главное окно программы

- **Dual Feed** — расчет положения двух облучателей зеркальной антенны, необходимого для приема сигналов с двух ИСЗ без изменения положения антенны;
- **Footprints** — вызов карт зон обслуживания ИСЗ;
- **Database** — вызов базы данных по антеннам, городам и ИСЗ;
- **Antenna alignment** — расчета дальности до ИСЗ, азимута и угла места на ИСЗ;
- **Link budget** — расчет энергетических параметров линии;
- **Quit** — выход из программы.

Окно **Dual Feed** (см. рис. Б.2) позволяет вычислить местоположение второго облучателя (для приема сигнала от второго ИСЗ) по отношению к облучателю, расположенному в фокусе.

Рис. Б.2 — Окно *Dual Feed*

Окно содержит следующие команды выпадающего меню.

1. Report

- **Print** — печать результатов расчета;
- **Quit** — выход из программы.

2. Info

- **Dual Feed** — краткая информация о назначении второго облучателя;
- (SMW OA1600) — краткая информация о характеристиках выбранной из базы данных антенны, например, SMW OA1600.

3. Data

- **Satellite 1** — выбор из базы данных спутника для первого облучателя, расположенного в фокусе антенны;
- **Satellite 2** — выбор из базы данных спутника для второго облучателя, расположенного не в фокусе антенны;
- **Antenna** — выбор антенны из базы данных;
- **Location** — выбор местоположения точки приема из базы данных.

4. Calculate

- **Link budget** — переход к окну расчет энергетических параметров линии;
- **Antenna alignment** — переход к окну расчета дальности до ИСЗ,

азимута и угла места на ИСЗ.

5. **Help** — вызов краткой справки.

В поле **Satellites** представлены координаты выбранных спутников. В поле **Antenna** представлены параметры выбранной антенны. В поле **Location** представлены координаты точки приема. В поле **Calculated parameters** представлены результаты расчета:

- **Angle between the satellites seen from (Location)** — угол между спутниками, видимый из точки приема;
- **Efficiency (focalpoint)** — КИП антенны для фокального облучателя;
- **Efficiency (non focalpoint)** — КИП антенны для внефокального облучателя;
- **Distance to focalpoint** — расстояние между облучателями по горизонтали;
- **Difference i height** — расстояние между облучателями по вертикали.

Направления смещения внефокального облучателя по отношению к фокальному определяются по изображению, показанному в правой части окна **Dual Feed**. Окно **Footprints** (см. рис. Б.3) позволяет пользователю определить уровень ЭИИМ (*EIRP*) в точке приема для выбранного из списка ИСЗ по

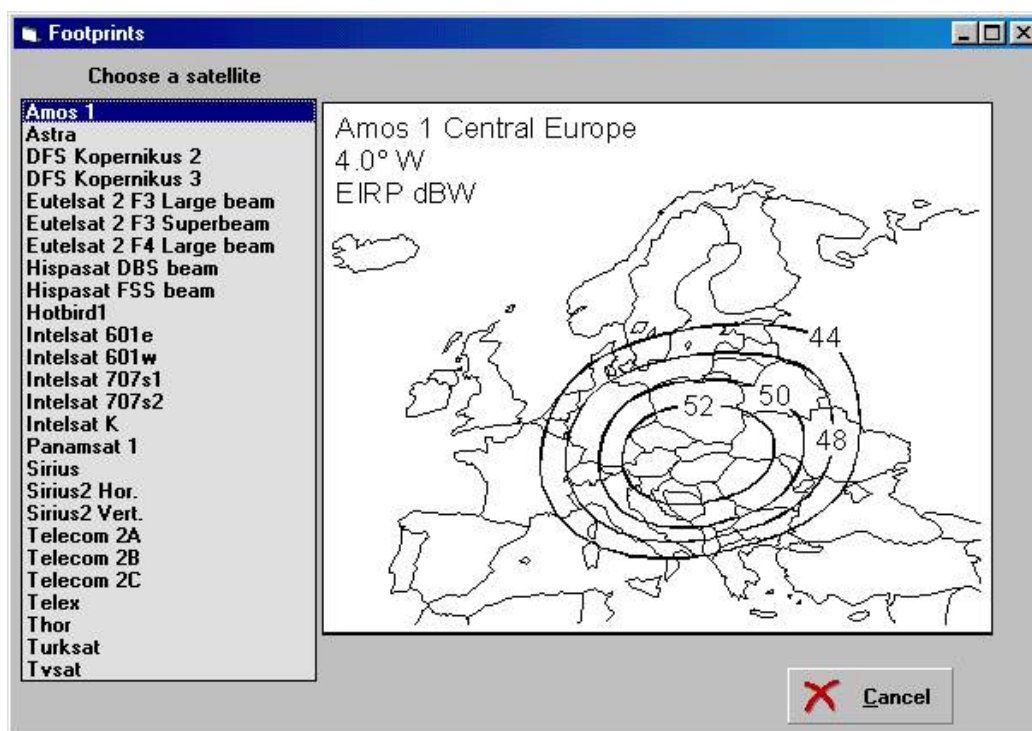


Рис. Б.3 — Окно **Footprints**

отображаемой карте зоны обслуживания ИСЗ.

При вызове окна базы данных *Database* появляется вспомогательное окно для выбора базы по антеннам (кнопка *Antennas*), спутникам (кнопка *Satellites*) или точкам приема (кнопка *Locations*) (см. рис. Б.4).

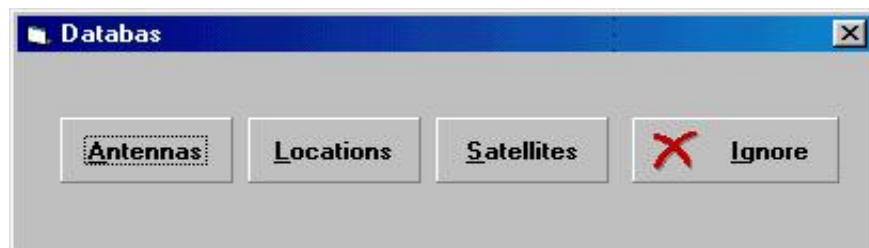


Рис. Б.4 — Окно выбора баз данных

При выборе базы данных по антеннам *Antennas* на экран выводится окно, показанное на рис. Б.5. Для антенн выводятся следующие данные (в названиях некоторых окон ошибки перевода с шведского на английский или непереведенные шведские термины):

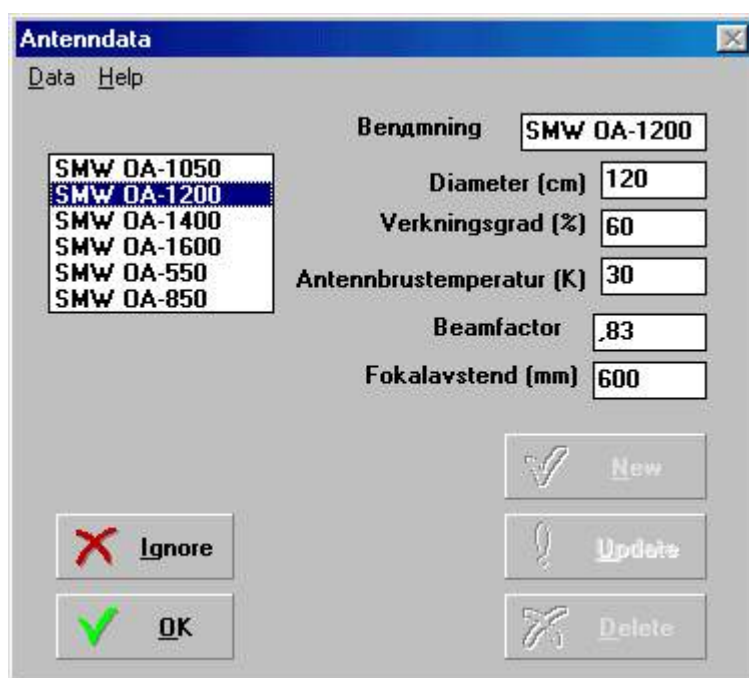


Рис. Б.5 — Окно работы с базой данных по антеннам

- *Bendmning* — название антенны;
- *Diameter* — диаметр антенны;
- *Verkningsgrad* — КИП;
- *Antennbrustemperatur* — шумовая температура антенны;
- *Beamfactor* — ширина диаграммы направленности (в градусах);

— *Fokalavstend (mm)* — фокусное расстояние.

Режим редактирования параметров антенн в базе данных недоступен.

При выборе базы данных по точкам приема «*Location*» (см. рис. Б.6) на экран выводится окно, в котором для выбранного города указываются его географические координаты: широта (для южной широты значения со знаком минус) и долгота (для западной долготы значения со знаком минус).



Рис. Б.6 — Окно работы с базой данных по городам

При выборе базы данных по спутникам *Satellites* (см. рис. Б.7) на экран

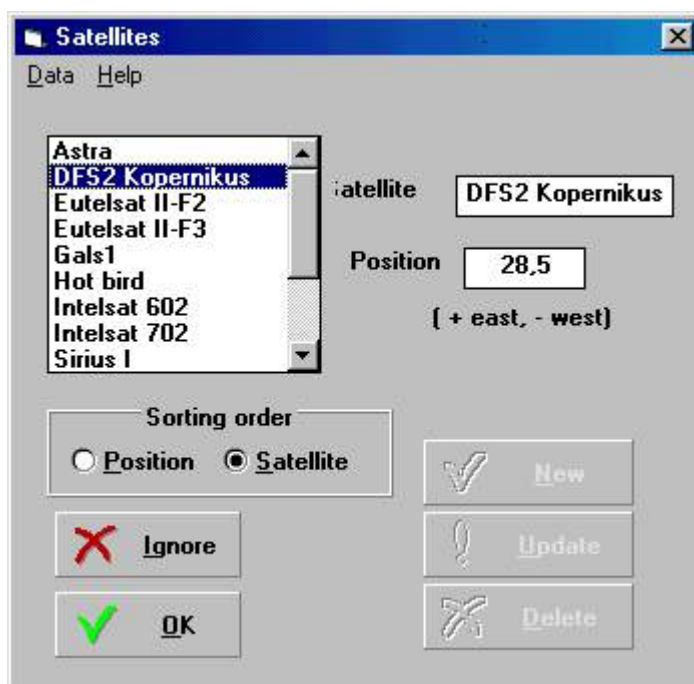


Рис. Б.7 — Окно работы с базой данных по спутникам

выводится окно, в котором для выбранного спутника указываются его положение на геостационарной орбите (для западной долготы значения указаны со знаком минус). Можно выбрать вид сортировки данных в базе: по названиям ИСЗ или по позициям на орбите.

В окне *Antenna alignment* (см. рис. Б.8) представлены результаты расчета углов наведения антенны в выбранной точке приема на выбранный спутник, а также расстояния между ИСЗ и точкой приема и угла наклона плоскости поляризации электромагнитной волны в точке приема.

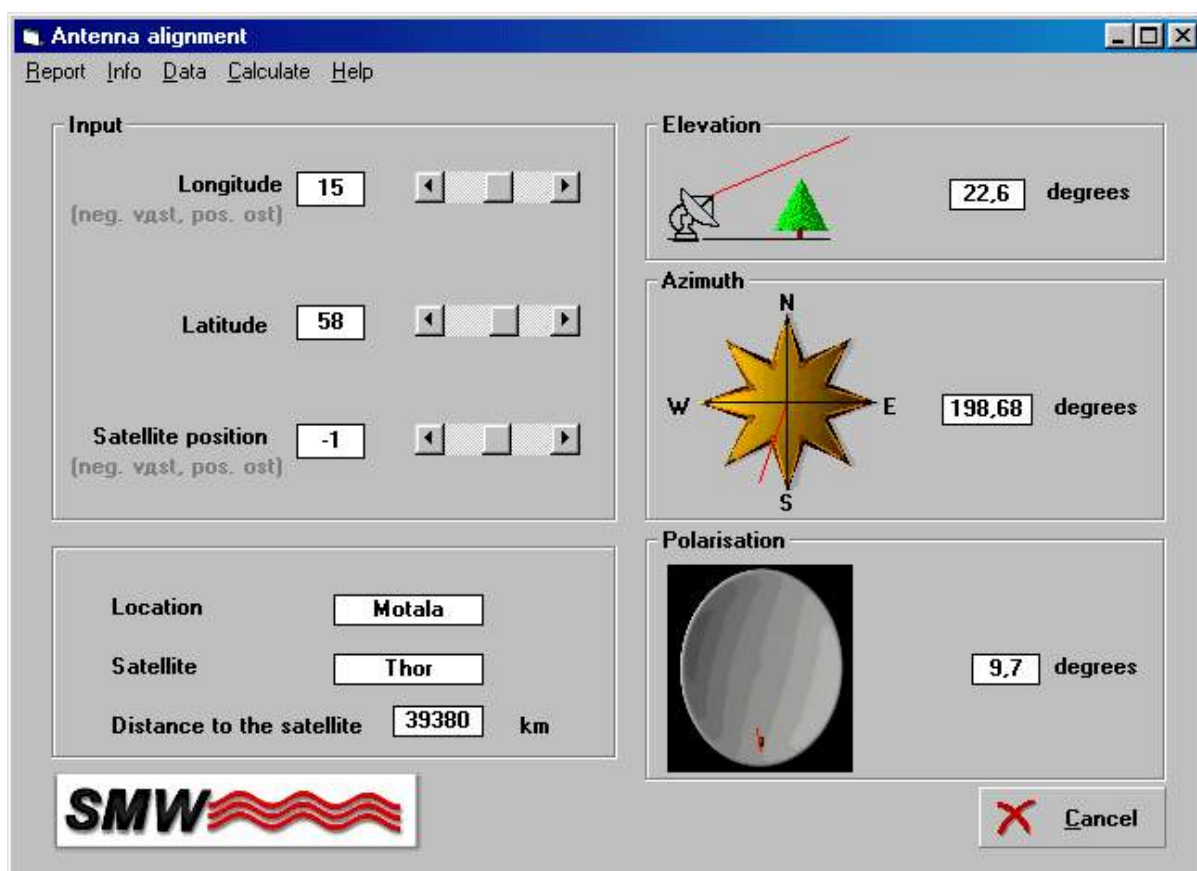


Рис. Б.8 — Окно *Antenna alignment*

В окне *Link budget* (см. рис. Б.9) представлены результаты расчета основных энергетических параметров линии ИСЗ — точка приема. На основе выбираемых пользователем входных параметров: ЭИИМ ($EIRP$, dBW), диаметра антенны ($Antenna\ diameter$, cm), КПД антенны ($Efficiency$, %), шумовой температуры антенны ($Antenna\ noise$, K), коэффициента шума ($Noise\ figure$, dB) или шумовой температуры ($Noise\ temperature$, K) LNB (выбор того или иного из шумовых параметров LNB осуществляется пользователем на основании приводимых паспортных данных конкретной модели LNB), ширина полосы пропус-

кания тракта последней промежуточной частоты тюнера (*Bandwidth, MHz*) (выбирается пользователем из паспортных данных конкретной модели тюнера), а также рассчитанных в окне *Antenna alignment* (см. рис. Б.8) угла возвышения (*Elevation*) и расстояния от точки приема до ИСЗ (*Distance to the satellite, km*), рассчитывается величина отношения сигнал-шум (*Carrier/Noise, dB*).

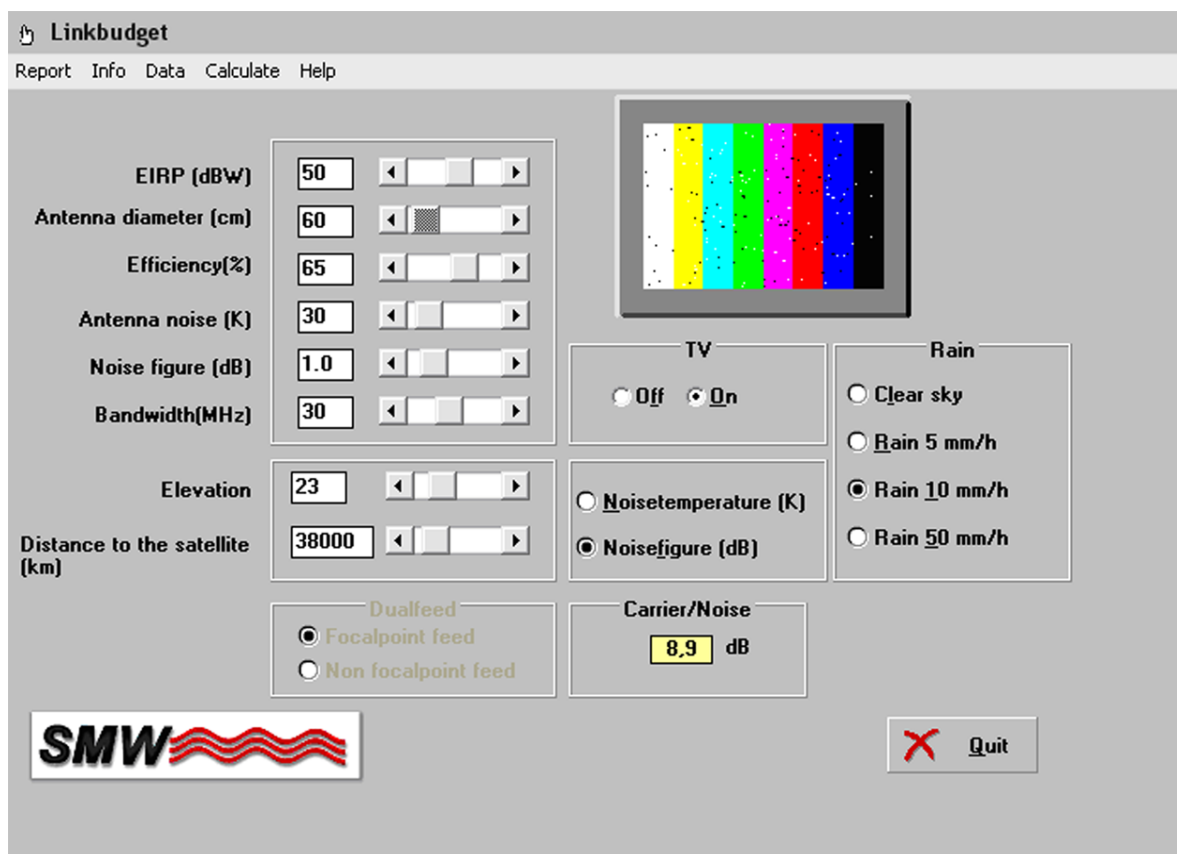


Рис. Б.9 — Окно *Link budget*

Возможно оценить изменение величины отношения сигнал-шум при изменении метеоусловий на трассе, используя для этого опцию «Дождь» (*Rain*) и выбирая интенсивность дождя в мм/час. (*mm/h*). При этом имеется режим анализа, соответствующий отсутствию осадков (*Clear sky* — «чистое небо»). Качественно результаты расчета отображаются на экране телевизионного приемника (*TV*) для случая передачи тестового изображения в виде восьми вертикальных цветных полос, которые на черно-белом рис. Б.9 показаны как градации серого. Для параметров линии, соответствующих показанным на рис. Б.9, и выбранном значении интенсивности дождя 10 мм/час на тестовом изображении наблюдаются искажения в виде черно-белых точек и штрихов.

Заказ № _____ от « ____ » _____ 200 ____ . Тираж _____ экз.

Изд-во СевНТУ