

Министерство образования и науки Украины  
Государственный Университет Телекоммуникаций  
Кафедра радиотехнологий

## **Практическая работа 6**

по дисциплине: “Основы телевидения”

на тему: “Формирование телевизионного сигнала”

Доцент Пархоменко В.Л.

Киев- 2014

## **Вихідні дані практичної роботи**

### **2. Контрольные вопросы**

#### **2.1. Объясните осциллограмму полного телевизионного сигнала на строчном интервале**

В интервале времени  $T_{z1}$ , соответствующем прямом ходу строчной развертки, передается видеосигнал, представляющий собой совокупность электрических импульсов, пропорциональных яркости переданных элементов изображения. Уровень видеосигнала, соответствующий минимальному значению яркости, называется уровнем черного, а уровень, соответствующий максимальному значению яркости - уровнем белого. Между этими уровнями располагаются все другие значения видеосигнала, соответствующие промежуточным значениям яркости.

#### **2.2. Дайте количественную оценку параметров основных составляющих полного телевизионного сигнала**

Размер полного ТВ сигнала определяется его размахом, то есть разницей между максимальным и минимальным значениями напряжения ( $U_{\max}$ ) и выражается в вольтах.

Частота повторения ССИ соответствует частоте строк  $f_z$ , а продолжительность равна 4,7 мкс, частота следования КСИ равна 50 Гц, при продолжительности 160 мкс.

#### **2.3. Проанализируйте форму ТВ сигнала на кадровом интервале**

Строки кадра нумеруются последовательно цифрами от 1 до 625, начиная от передачи фронта КСИ в первом поле. Первым считается то поле, у которого фронта КСИ и ССИ совпадают. При чересстрочной передаче первое поле включает строки с 1 по 312 и половину строки 313, а второе поле включает вторую половину строки 313 и строки с 314 по 625. Для исключения нарушений строчной синхронизации ССИ следует передавать и во время КГИ и КСИ. ССИ при передаче КСИ помещаются внутри него в виде врезок, из которых в телевизорах формируются обычные ССИ. Перед КСИ размещена первая ( $1 = 2,5T_7$ ), а после него вторая ( $n = 2,5T_z$ ) последовательности приравнивая импульсов. Необходимость приравнивая импульсов, а

также врезок в КСИ, следующих с двойной строчной частотой  $2f_z = 31250$  Гц, вызвана особенностью построения схем синхронизации блоков развертки в ТВ приемниках.

**2.4. Каким способом осуществляется разделение сигналов синхронизации строк и полей?** Разделение сигналов синхронизации строк и полей (кадров) в телевизионном приемнике после отделения их с помощью амплитудного селектора с целью направления в соответствующие генераторов разверток осуществляется с помощью дифференцирующего и интегрирующего цепей.

**2.5. Назовите основные особенности сигналов синхронизации при чересстрочной развертке.**

При чересстрочной развертке (число строк  $n$  в кадре всегда нечетное) структуры сигнала синхронизации первого и второго полей каждого кадра одинаковые, но есть и различия. Она заключается в том, что начала разверток по строкам смещены в соседних полях на  $0,5H$ , где  $H$  - условное обозначение периода строчной развертки, равное 64 мкс. По этой причине интервал между последним ССИ и началом импульса синхронизации одного поля равен  $3H$ , а для другого поля  $3,5H$ .

Это обуславливает и соответствующий временной сдвиг строчных врезок по фронта КСИ. В результате форма сигнала синхросуммиши четных и нечетных полей оказывается неодинаковой.

**2.6. Предельные частоты телевизионного сигнала**

Нижняя граница 1.5МГц, а верхняя-6.5 МГц

**2.7. Охарактеризуйте структуру спектра телевизионного сигнала.**

Его спектр имеет линейчатый дискретный характер и состоит из частоты полей  $f_p$  и ее гармоник, частоты строк  $f_z$  и ее гармоник, а также боковых компонент, расположенных по обе стороны от каждой из гармоник частоты строк.

**2.8. Сформулируйте основные принципы построения совместных систем цветного телевидения**

1. возможность приема цветных передач в черно-белом виде на существующие черно-белые телевизоры (прямая совместимость);
2. прием сигналов черно-белого ТВ на цветные телевизоры (обратная совместимость);
3. передачу сигналов цветного и черно-белого ТВ по одному и тому же каналу связи (в полосе частот черно-белого ТВ).

#### 2.9. Формирующейся в видео усиливая тракте?

В видеоподсилующему тракте (камерном канале) телевизионной системы формируется полный телевизионный сигнал цветного изображения путем усиления, коррекции и преобразования исходных сигналов основных цветов ER, EG и эв, а также составление их с импульсами тушения и синхронизации.

#### **2.10. Каким способом производится коррекция апертурных искажений видеосигналов?**

Самым простым способом апертурной коррекции (коррекции четкости изображения) является поднятие верхних частот спектра путем пропускания сигнала через фильтр верхних частот (ФВЧ) и добавления полученного сигнала с начальным в соответствующем соотношении. Это соотношение определяет, насколько повышается относительный контраст малых деталей результирующего изображения по сравнению с начальным контрастом, полученным на выходе преобразователя светового сигнала.

#### **2.11 С какой целью видеосигналы телевизионной камеры подвергаются электронной коррекции?**

Спектральные характеристики передающей камеры цветного телевидения должны строго соответствовать основным реальным цветам приемника  $R_n$ ,  $G_n$ ,  $B_n$ . В этом случае они называются идеальными и обеспечивают отсутствие искажений цветовой передачи в изображениях на экране телевизора.

#### **2.12. Объясните необходимость коррекции нелинейных искажений видеосигналов.**

В цветном телевидении гамма-корректор исправляет искажения цветового тона и насыщенности цвета, вызваны не линейностью амплитудной характеристики тракта от света к свету. Требуется высокая идентичность амплитудных характеристик гамма-корректоров в трех цветовых каналах. Несоответствие амплитудных

характеристик гамма-корректоров цветных каналов на 1 ... 2% приводит к значительным искажениям цветности изображения.

2.13. Как осуществляется гамма-коррекция в современных телевизионных системах?

В современной телевизионной аппаратуре широкое применение получили цифровые гамма-корректоры на базе запоминающих устройств (ЗУ), в которых для каждого уровня входного сигнала сохраняется информация о нужном уровне выходного сигнала.

**2.14 Расскажите о необходимости восстановления средней составляющей телевизионного сигнала.**

Средняя (постоянная) составляющая телевизионного сигнала характеризует среднюю яркость изображения наблюдаемого объекта.

Для неискаженного воспроизведения градаций яркости необходимо, чтобы независимо от величины средней составляющей уровень черного или белого в телевизионном сигнале занимал фиксированное положение по световой характеристике кинескопа. Это обеспечивается привязкой вершин гася импульсов до определенного уровня.

При проходе телевизионного сигнала через межкаскадные переходные конденсаторы средняя составляющая встречается. Если такой сигнал подать в цепь модулятора кинескопа, то возникнут специфические искривления. Телевизионный сигнал с утраченной средней составляющей занимает почти вдвое больше динамический диапазон в сравнении с сигналом, имеющим постоянную складову. При этом нарушается соотношение между значениями яркости и уровнями сигнала.

Для неискаженного воспроизведения градаций яркости необходимо, чтобы независимо от величины средней составляющей уровень черного или белого в телевизионном сигнале занимал фиксированное положение по световой характеристике кинескопа. Это обеспечивается привязкой вершин гася импульсов до определенного уровня. Чтобы этого не происходило и нужно восстанавливать среднюю составляющую.

**2.15. Какими способами можно реализовать схемы восстановления средней составляющей телевизионного сигнала?**

На практике применяются как неуправляемые, так и управляемые схемы восстановления средней составляющей. К недостаткам неуправляемых схем следует отнести значительную инерционность при резком уменьшении размаха телевизионного сигнала, неравномерность воспроизводимой яркости вдоль строк. Более высокая точность достигается управляемыми схемами фиксации, в которых для управления используются специальные импульсы, формируемые из синхронизирующих или гася сигналов.

## **2.16. В чем заключаются трудности подавления шумов в телевизионном сигнале?**

Временные нерекурсивные гребенчатые фильтры (с прямыми связями) первого и второго порядков содержат оперативные запоминающие устройства (ОЗУ) для задержки входного сигнала на время  $T_0$  и сумматор с множителями для взвешенного добавления входящего и задержанного сигналов. При этом гребенчатая форма амплитудно-частотной характеристики подобных фильтров представляет периодическую функцию с периодом, равным времени задержки в ОЗУ, то есть  $T_0 = 2\pi / \omega_0$ .

В то же время длительность фронта переходной характеристики таких фильтров оценивается числом интервалов  $n\phi$  времени задержки  $T_0$ .

Практически в нерекурсивных фильтрах нельзя получить достаточно узкие максимумы АЧХ. Поэтому из-за сравнительно малой эффективности подавления флуктуационных помех они чаще используются в сочетании с рекурсивными в так называемых канонических фильтрах с прямыми и обратными независимыми связями.

## **2.17. Объясните основные принципы работы шумоподавителя, используемых в телевизионных системах.**

Принцип действия этих фильтров заключается во взвешенном составлении телевизионных сигналов от соседних кадров или строк, а возможность их применения - на использовании высокой кадровой и строчной корреляции телевизионных изображений.

## **2.18. Перечислите особенности построения системы цифрового телевидения.**

Системы цифрового телевидения могут быть двух типов. В системах первого типа, полностью цифровых, преобразования исходного изображения в цифровой сигнал и обратное преобразование цифрового сигнала в изображение на телевизионном экране осуществляются непосредственно в преобразователях свет-сигнал и сигнал-свет. Во всех звеньях тракта передачи изображения информация передается в цифровой форме. В цифровых телевизионных системах второго типа аналоговый телевизионный

сигнал, получаемый с датчиков, преобразуется в цифровую форму, подвергается всей необходимой обработке, передаче или консервации, а затем снова приобретает аналоговую форму. При этом используются существующие датчики аналоговых телевизионных сигналов и преобразователи свет-сигнал в телевизионных приемниках. В этих системах на вход тракта цифрового телевидения поступает аналоговый телевизионный сигнал, затем он кодируется, то есть превращается в цифровую форму.

### **2.19. Как проводится дискретизация телевизионных сигналов?**

Дискретизация представляет собой замену непрерывного аналогового сигнала  $U(t)$  последовательностью отдельных во времени отсчетов этого сигнала. Частота дискретизации  $f_d$  равна:  $f_d = 2 f_v$ , где  $f_v$  - верхняя частота спектра телевизионного сигнала. (Для отечественного вещательного телевизионного стандарта  $f_v \sim 6,25$  МГц.) В системах цифрового телевидения с ИКМ частоту дискретизации  $f_d$  выбирают чуть выше минимально допустимой, определяемой теоремой Найквиста-Котельникова. Связано это с условием отсутствия перекрытия побочных спектров в диапазоне дискретизированного сигнала обеспечивает гарантированную исходное качество сигнала при его обратном преобразовании в аналоговую форму с помощью низкочастотной фильтрации. Поэтому при верхней граничной частоте  $f_v \sim 6,25$  МГц  $f_d$  должна выбираться не менее 12,5 МГц.

Выбор частоты дискретизации  $f_d$  во многом зависит от вида структуры отсчетов, то есть от их относительного положения на телевизионном экране, которая может быть фиксированной (отсчеты располагаются на одних и тех же позициях в соседних кадрах) или подвижной (отсчеты меняют свое положение).

### **2.20. Каким способом производится квантования телевизионных сигналов?**

Квантования заключается в округлении полученных после дискретизации мгновенных значений отсчетов в ближайших из набора отдельных фиксированных уровней.

Квантования представляет собой дискретизацию телевизионного сигнала во времени, а по уровню сигнала  $U(t)$ .

Нефиксированные уровни, к которым «привязываются» отсчеты, называют уровнями квантования. Разбивая динамический диапазон изменения сигнала  $U(t)$  уровнями квантования на отдельные области значений, называемые шагами квантования, образуют шкалу квантования. Следствием этого становится появление в сигнале специфических шумов, называемых шумами квантования. Ошибки квантования или шумы квантования на картинке могут проявляться по-разному, в зависимости от свойств кодированного сигнала. Если собственные шумы аналогового сигнала небольшие по сравнению с шагом квантования, то шумы квантования проявляются на

картинке в виде ложных контуров. В этом случае плавные яркостные переходы превращаются в ступенчатые, и качество изображения ухудшается. Наиболее заметные ложные контуры на изображениях с большими планами. Этот эффект усиливается на подвижных изображениях. Когда собственные шумы аналогового сигнала превышают шаг квантования, искажения квантования проявляются уже не как ложные контуры, а как шумы, равномерно распределены по спектру. Флуктуационные помехи выходного сигнала как бы подчеркиваются, изображение в целом начинает казаться более зашумленным.

Основные параметры цифрового кодирования телевизионного сигнала

### **2.21. Дайте краткую характеристику международным стандартам цифрового телевидения.**

Результаты проведенных исследований по цифровому преобразованию телевизионных сигналов вошли в Рекомендации Международного консультативного комитета по радио (МККР) 11/601, разработанную в 1982 г. для цифрового телевидения, в которой приводятся значения основных параметров цифрового кодирования телевизионного сигнала аппаратно-студийного комплекса (АСК) телецентров, работающих со стандартами разложения как на 625, так и на 525. После вхождения МККР в состав Международного союза электросвязи (МСЭ) данная рекомендация получила обозначение МСЭ-Р601. В дальнейшем была разработана рекомендация Международного союза электросвязи МСЭ-Р ВТ.601-5, учитывающий воспроизведения телевизионных изображений как обычного формата, так и широкоэкранных. Данный документ обобщил результаты работы различных исследовательских групп, на основании которых



сформулированы принципы преобразования аналогового телевизионного сигнала в цифровую форму, используемые всеми производителями современного телевизионного оборудования. Рекомендация МСЭ-Р ВТ.601-5 описывает аналого-цифровое преобразование телевизионного сигнала компонентного типа, то есть предлагает осуществлять раздельное кодирование яркостного ( $E_y \rightarrow Y$ ) и цветоразностных ( $E_R - Y \rightarrow C_t$ ) ( $E_B - Y \rightarrow C_b$ ) сигналов. При этом в данной Рекомендации нормируются основные параметры отдельных операций аналого-цифрового преобразования компонент телевизионного сигнала, обеспечивают языковую качество формируемого цифрового телевизионного сигнала.

Также MPEG-2 и др.

## **2.22. Сформулируйте основные положения стандарта MPEG-2.**

Стандарт MPEG-2 (также известный как ISO / IEC-13818) был специально разработан для кодирования телевизионных сигналов вещательного телевидения. Он позволяет получить полную четкость декодированного телевизионного изображения. (При скорости передачи видеоданных 14 Мбит / с качество телевизионного изображения отвечает студийном, а для вещания с качеством одной телевизионной программы необходимо передавать цифровой поток со скоростью 5 ... 8 Мбит / с). Пакет стандартов MPEG предусматривает возможность перехода к ТВЧ.

## **2.23. Расскажите об особенностях компрессии видеоданных.**

В общем случае большая часть изображения любого телевизионного кадра обычно приходится на участки, имеющие постоянную или мало меняющуюся в пространстве яркость, а резкие световые переходы и детали малых размеров занимают небольшую долю площади изображения. Коэффициент корреляции соседних элементов изображения, описывает статистическую связь между яркостями этих элементов, близкий к 1. Зная яркость одного элемента, можно с высокой степенью вероятности предсказать яркость соседнего.

## **2.24. Назовите типы кодированных кадров в стандарте MPEG-2 и дайте им краткую характеристику.**

Формат видеoinформации в стандарте MPEG-2 содержит три типа кадров (I, P, B). Основные, так называемые I-кадры (IntraFrames) обрабатываются только с применением внутренне кадрового предсказания. Они кодируются независимо от других кадров, так как обрабатываются с

использованием собственной информации, то есть по принципу случайного доступа к сжатым видеоданным. Зато при восстановлении телевизионного изображения по I-кадрам оно меньше деградирует и зависит от ошибок кодирования и передачи видеоданных по каналу связи. I-кадры служат опорными при межкадрового предвидении P и B кадров.

P-кадры (Predicted Frames). Кодирование осуществляется с учетом ближайших предыдущих I или P-кадров. Этот способ называется с предсказанием вперед. В P-кадрах, если сравнивать их с I-кадрами, в три раза выше достижимая степень сжатия видеоданных. P-кадры являются опорными для последующих P или B-кадров.

B-кадры (Bi-Directional Frames), то есть кадры с двунаправленным предсказанием. Для формирования B-кадров также используется «разностная» схема сжатия аналогично P-кадрам, однако, в качестве «базовых» кадров используются оба соседние кадры: предварительный и последующий. Этот способ называется двунаправленным предсказанием.

## **2.25. Объясните компенсации движения в стандарте кодирования MPEG-2**

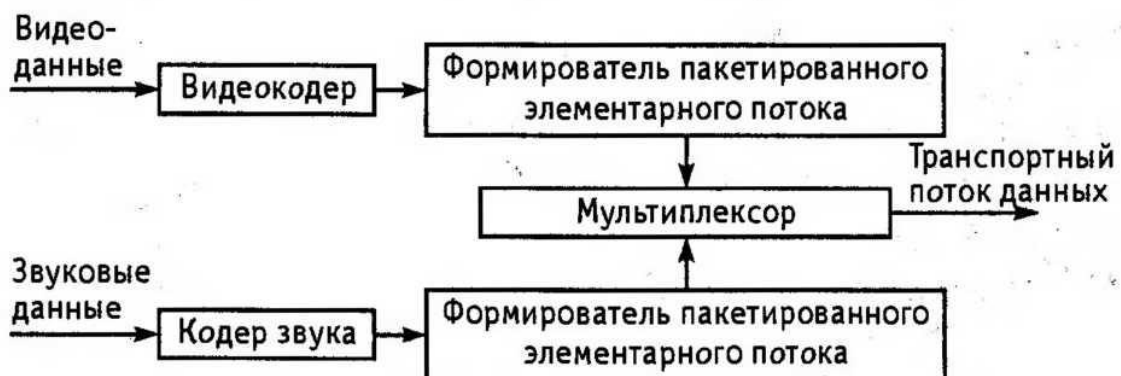
В стандарте MPEG-2 используется метод компенсации движения, основанный на макроблоки. Два смежных кадры, содержащие только активные строки сигнала яркости (576 активных строк), разбиваются на макроблоки и большие зоны поиска. Размеры макроблока должны быть согласованы со структурой дискретизации кадра телевизионного изображения.

В стандарте MPEG-2 телевизионный кадр разбивается на целое число зон. По вертикали (576 активных строк / 16) - это 36 зон, по горизонтали (704 активных отсчетов / 16) - 44 зоны.

## **2.26. Объясните принципы использования ГКП в стандарте кодирования MPEG-2**

ГКП сокращает избыточность и высокочастотную информацию в пределах кадра. Это позволяет получить высокое качество кодированных изображений с сжатием. ГКП выполняется поблочно, для чего телевизионное изображение разбивается на блоки. При этом в телевизионном кадре создается:  $576/8 = 72$  зоны по вертикали и  $704/8 = 88$  зон по горизонтали, в общей сложности дает  $72 \times 88 = 6336$  блоков, которые подлежат ГКП в реальном масштабе времени. В результате ГКП исходная сигнальная матрица  $8 \times 8 = 64$  телевизионных отсчетов превращается в матрицу частотных коэффициентов ДКП такого же размера  $8 \times 8 = 64$ . Каждый коэффициент характеризует амплитуду определенной частотной составляющей кадра, причем коэффициенты в матрице располагаются по росту частот в вертикальном и горизонтальном направлениях.

## 2.27. Как формируется транспортный поток данных в устройствах кодирования MPEG-2



## **2. Завдання практичної роботи.**

2.1. Вивчити матеріал лекції із даної теми.

2.2. Виконати дослідження на відповідність сформованих питань та відповідей використовуючи отримані лекційні знання і дані інших джерел в тому числі науково практичні роботи рекомендовані в списку літератури.

2.3. За результатами виконаної роботи розробити реферат і доповіді його зміст на практичному занятті (до обговорення поставлених питань залучаються присутні).

## **3. Оформлення результатів практичної роботи та оцінювання.**

3.1. Після обговорення результатів роботи з теми присутні формують звіт де фіксують отримані результати.

3.2. Отримані результати записуються у лаконічній формі бажано у табличній.

3.3. Звіти перевіряються викладачем та оцінюються отримані результати.

## **Список літератури**

### **1.Основна**

1. Телебачення / Під ред. В.Е. Джаконії. – М.: Радіо та зв'язок , 1986.
2. Домбругов Р.М. Телебачення. – Київ : Вища школа , 1988.
3. Проектування та технічна експлуатація телевізійної апаратури / Під ред. С.В. Новаковського. – М : Радіо та зв'язок , 1989.
4. Ю.Б. Зубарьов , Г.Л. Глоріозов . Передача зображень – М. : Радіо та зв'язок , 1989.
5. А.В. Виходець , В.І. Коваленко , М.Т. Кохно – Звукове та телевізійне мовлення ; - М. : Радіо та зв'язок , 1987.
6. Цифрове телебачення / Під ред. М.І. Кривошеєва. - М. : Радіо та зв'язок , 1980.
7. Певзнер Б.М. Якість кольорових ТВ зображень : видання друге ; М. : Радіо та зв'язок , 1988.
8. Радіорелейні та супутникові системи передачі : Підручник для вузів / Під ред. А.С. Немировського . - М. : Радіо та зв'язок , 1986. – 392 с
9. Системи радіозв'язку : Підручник для вузів / Під ред Л.Я. Калашникова - М. : Радіо та зв'язок , 1987. – 352 с
- 10.Посібник по радіорелейному зв'язку / Під ред С.В. Бородича - М. : Радіо та зв'язок , 1981. – 416 с
- 11.Супутниковий зв'язок та мовлення. Посібник / Під ред. Л.Я. Кантора - М. : Радіо та зв'язок , 1988. – 344 с

12. Системи космічного зв'язку. Посібник під ред. Б.В. Одинцова , Е. А. Сукачова; Одеса 1989.
13. Сучасні системи радіозв'язку в прикладах та задачах. Посібник під ред. Б.В. Одинцова , Е. А. Сукачова; Одеса 1990.
14. Мамчев Г.В. «Основы радиосвязи и телевидения», 2007 год;
15. Джакония В.Е., Гоголь В.А., Друзин Я.В. «Телевидение (4-е издание), 2007
16. Локшин Б.А. «Телевизионное вещание. От студии к телезрителю», 2001
17. Кириллов В.И., Ткаченко А.П. «Телевидение и передача изображения», 1988
18. Самойлов В.Ф., Хромой Б.П. «Основы цветного телевидения», 1982
19. Ельяшкевич С.А., Юкер А.М. «Усовершенствование телевизоров ЗУСЦТ и 4УСЦТ», 1994
20. Быков Р.Е., Сигалов В.М., Эйсенгардт Г.А. «Телевидение», 1988
21. Ельяшкевич С.А. «Справочное пособие. Цветные телевизоры ЗУСЦТ», 1990
22. Зубарев Е.Б., Кривошеев М.И., Красносельский И.Н. «Цифровое телевизионное вещание. Основы и методы», 2001
23. Корытов В.И «Телевизоры ЗУСЦТ. Ремонт и настройка», 1999
24. Смирнов А.В. «Основы цифрового телевиденья», 2001
25. Ельяшкевич С.А., Песков А.Е. «Телевизоры ЗУСЦТ, 4УСЦТ, 5УСЦТ. Устройство, регулировки, ремонт»
26. Шумихин Ю.А. «Телевизионный сигнал», 1968
27. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 1 Принципи радіозв'язку, 2014
28. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 2 Радіопередавальні пристрої, 2014
29. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 3 Радиоприёмные устройства, 2014
30. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 4 Физические основы телевидения, 2014
31. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 5 Основные принципы функционирования телевизионных систем, 2014
32. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 6 Формирование телевизионного сигнала, 2014
33. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 7 Конструктивні особливості телевізійної апаратури, 2014

34. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 8  
Особенности построения телевизионных систем, 2014
35. Пархоменко В.Л. Лекція, Практичне і Лабораторне заняття 9 Сети  
телевизионного вещания, 2014

## 2.Додаткова

1. Мордуховіч Л.Г., Степанов А.П. Системи радіозв'язку. Курсове проектування. - М. : Радіо та зв'язок , 1987. – 192 с
2. Спілкер Дж. Цифровий супутниковий зв'язок / пер. з англ. ; Під ред. В.В. Маркова - М. : Зв'язок , 1979. – 592 с
3. Одинцов Б.В., Сукачов Е.А. , Гуцаюк А.К. Цифрові системи радіозв'язку : Навчальний посібник / ОЕІС ім. А.С. Попова – Одеса , 1988. – 56 с.
4. Одинцов Б.В., Сукачов Е.А. , Гуцаюк А.К. Космічний зв'язок : Навчальний посібник / ОЕІС ім. А.С. Попова – Одеса , 1989. – 56 с.
5. Новаковський С.В. Колір в кольоровому телебаченні - М. : Радіо та зв'язок, 1988.
6. Кривошеєв М.І. Основи телевізійних вимірювань. : видання 3 – е. - М. : Радіо та зв'язок , 1989.
7. ГОСТ 7845 – 79. Система мовленнєвого телебачення. Основні параметри , методи вимірювань.
8. Прийом телебачення та радіомовлення з супутників / Д.Ю. Бем , М.Є. Ільченко , А.П. Житков, Л.Г. Гассанов. – К.: Техніка , 1992. – 176 с.
9. Довідник. Індивідуальні відео – засоби. С.А. Сєдов – Київ 1990.
10. В.Бондарьов , Г.Трьостер , В. Чернега. Цифрова обробка сигналів : методи та засоби. Навчальний посібник для вузів. Харків 2001.

