

|||||

ВОПРОСЫ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

|||||

Серия

ТЕХНИКА ТЕЛЕВИДЕНИЯ (ТТ)

Выпуск 2

1967

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
И. Л. Валик и Т. А. Бялковская. Расчет нелинейного элемента, согласующего динамические характеристики источника сигнала и канала связи	3
И. Н. Пустынский и В. М. Хоршав. Генератор пилообразного напряжения с произвольной нелинейностью	16
С. П. Пивоваров, А. В. Лозинский, В. Ш. Ашканизи, Ф. Н. Коннова и В. Ф. Давыскиба. Усилитель-регенератор на транзисторах	26
Б. М. Рабин и М. И. Резник. Оценка разрешающей способности электроннолучевых трубок для фотографирования	35
Б. Э. Бонштедт и М. Г. Маркович. О геометрических искажениях изображения (типа «ромб» и «параллелограмм») в передающих телевизионных трубках	46
К. С. Глиненко, З. Д. Грицик и А. Д. Педан. О расчете положения фокусирующей катушки в приемных электроннолучевых трубках	59
И. И. Лившиц. Триггеры с встроенным эмиттерными повторителями	67
А. И. Кулагин. Система синхронизации видеомагнитофона для комбинированных телевизионных передач	76
Г. К. Куприянова. Активная схема фазового звена	87
И. Н. Гулин. Синтез сложных геометрических фигур на телевизионном растре методом математической логики	91
Н. Д. Галинский. К вопросу о чувствительности телевизионной камеры на суперортиконе, сопряженной с электронно-оптическим преобразователем	97
В. В. Буриус и П. П. Кузнецов. Коаксиальный диодный коммутатор дециметрового диапазона	100
Б. Ш. Кац. Реализация некоторых последовательностных логических функций на тиристорах	109
Р. М. Басс и Б. П. Иванов. Устройство для наблюдения одиночного кадра телевизионного изображения и некоторые возможности его применения	109

Научно-технический сборник
ВОПРОСЫ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ
Серия
Техника телевидения
Выпуск 2
1967

УДК 621.397.335.29 : 621.397.34 : 621.397.36

Инженер А. И. Кулыгин

СИСТЕМА СИНХРОНИЗАЦИИ ВИДЕОМАГНИТОФОНА ДЛЯ КОМБИНИРОВАННЫХ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ПЕРЕДАЧ

Рассмотрено построение системы синхронизации видеомагнитофона при использовании его в комбинированных телевизионных передачах. Определены допуски на электрические параметры сигналов синхронизации видеомагнитофона. Рассмотрены взаимосвязи между отдельными узлами системы синхронизации.

Значительное место в электронной аппаратуре студийного видеомагнитофона занимает система синхронизации, обеспечивающая синхронную и синфазную работу различных механических и электрических устройств видеомагнитофона (здесь и ниже под системой синхронизации будем понимать совокупность собственно синхрогенератора и устройств автоматического регулирования).

До сих пор система синхронизации строилась таким образом, что видеомагнитофон представлял собой самостоятельный источник программы, частоты разложения видеосигнала которого были не равны частотам разложения видеосигнала телецентра, обслуживаемого видеомагнитофоном [1]. В этом случае исключалась возможность участия видеомагнитофона в комбинированных передачах, так как невозможно было осуществить плавное микширование сигналов телецентра и видеомагнитофона без постановки синхрогенератора телецентра в ведомый режим от сигнала видеомагнитофона, что крайне нежелательно. Поэтому при передаче в эфир программы, записанной на видеомагнитофон, считанный с ленты видеосигнал, минуя микшерное устройство, поступал на линейный усилитель и затем в тракт передатчика. Такое положение сильно сужало возможности использования видеозаписи. Поэтому одной из задач, которые должны быть решены в области видеозаписи, является создание видеомагнитофона, который можно использовать на телецентре на правах обычного камерного канала.

Первой попыткой решить эту задачу было создание видеомагнитофона КМЗИ-12 с устройствами авторегулирования повышенной точности, который позволил осуществить электронный монтаж телевизионного изображения.

Еще один шаг вперед делается при создании видеомагнитофона для нового общесоюзного телецентра. Рассмотрим построение системы синхро-

низации этого видеомагнитофона, взаимосвязи между ее отдельными узлами и определим основные электрические параметры собственно синхрогенератора.

Система синхронизации видеомагнитофона для комбинированных передач

Подлежащий записи видеосигнал программы поступает в канал записи и в блок программного селектора синхроимпульсов (рис. 1). Из канала записи обработанный необходимым образом видеосигнал через электронный переключатель подводится к четырем магнитным головкам, укрепленным на диске, который вращается с помощью скоростного двигателя.

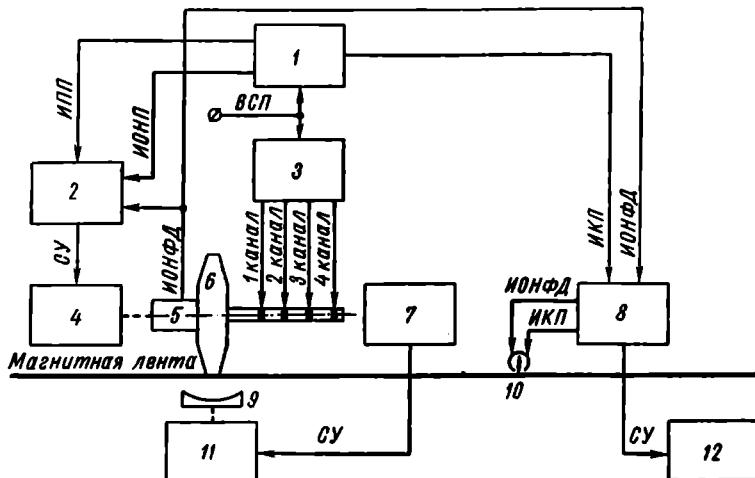


Рис. 1. Блок-схема системы синхронизации видеомагнитофона в режиме записи.

1 — программный селектор синхропульсов, 2 — система авторегулирования скоростного двигателя, 3 — канал записи, 4 — скоростной двигатель, 5 — фотодатчик, 6 — диск с головками, 7 — система авторегулирования направляющей, 8 — система авторегулирования ведущего двигателя, 9 — направляющая, 10 — универсальная головка управления, 11 — исполнительный механизм, 12 — ведущий двигатель; ВСП — видеосигнал программы, ИПП — импульсы полей программы, ИКП — импульсы кадров программы, ИОНП — импульсы опорного напряжения программы, ИОНФД — импульсы опорного напряжения фотодатчика, СУ — сигнал управления

Скорость и фаза вращения этого двигателя поддерживаются постоянными и синхронными с частотой и фазой сигнала синхронизации, присутствующего в записываемом видеосигнале, при помощи системы автоматического регулирования скоростного двигателя (САРСД). Для этой цели на САРСД из программного селектора поступают импульсы частоты полей, выделенные из видеосигнала программы, и импульсы опорного напряжения частоты 250 гц, синхронные с частотой строчных синхронизирующих импульсов видеосигнала программы. В качестве сигнала обратной связи в САРСД используются импульсы опорного напряжения частоты 250 гц, поступающие от фотодатчика, укрепленного на одном валу с диском магнитных головок.

Для стабилизации скорости вращения ведущего двигателя видеомагнитофона, осуществляющего протяжку магнитной ленты, используется система автоматического регулирования ведущего двигателя (САРВД). С этой целью на САРВД подаются импульсы частоты кадров, выделенные из видеосигнала программы, и импульсы опорного напряжения частоты 250 гц от фотодатчика. Эти сигналы помимо стабилизации скорости вращения ведущего двигателя специальной универсальной магнитной головки

кой управления записываются на магнитную ленту (необходимость этого будет ясна из дальнейшего).

Во время работы видеомагнитофона положение магнитной ленты относительно диска с магнитными головками может изменяться, в основном из-за стирания магнитных головок. В результате возникают так называемые «зубчиковые» искажения растра, вызванные тем, что при воспроизведении начало строки сдвигается во времени по сравнению с тем положением, которое оно имело при записи. Кроме того, этот сдвиг изменяется

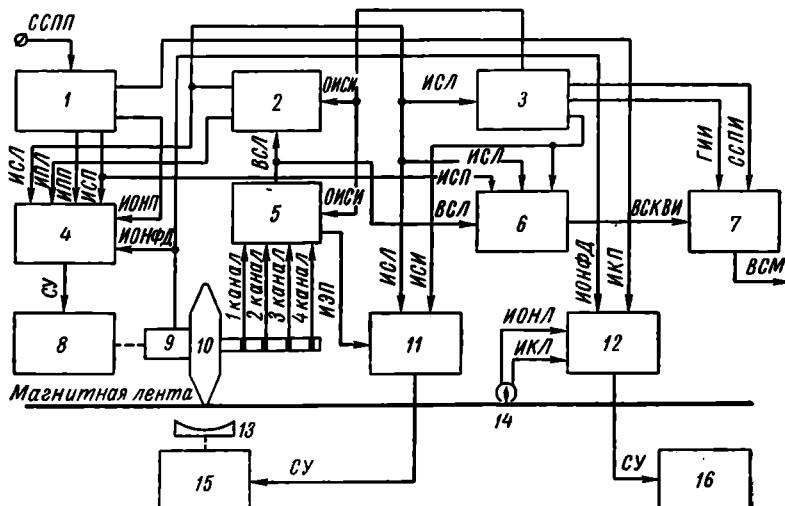


Рис. 2. Блок-схема системы синхронизации видеомагнитофона в режиме воспроизведения

1 — программный селектор синхроимпульсов, 2 — селектор синхроимпульсов воспроизведения, 3 — синхрогенератор, 4 — система авторегулирования скоростного двигателя, 5 — канал воспроизведения, 6 — компенсатор временных искажений, 7 — усилитель-формирователь, 8 — скоростной двигатель, 9 — фотодатчик, 10 — диск с головками, 11 — система авторегулирования направляющей, 12 — система авторегулирования ведущего двигателя, 13 — направляющая, 14 — универсальная головка управления, 15 — исполнительный механизм, 16 — ведущий двигатель; ВСЛ — видеосигнал ленты, ИСЛ — импульсы строк ленты, ИПЛ — импульсы полей ленты, ИКЛ — импульсы кадров ленты, ИОНЛ — импульсы опорного напряжения ленты, ССПП — сигнал синхронизации приемников программы, ИПП — импульсы полей программы, ИКП — импульсы кадров программы, ИСП — импульсы строк программы, ИОНП — импульсы опорного напряжения программы, ИСИ — импульсы строк инерционные, ОИСИ — опережающие импульсы строк инерционные, ССИ — сигнал синхронизации приемников инерционные, ГИИ — гасящие импульсы инерционные, ИОНФ — импульсы опорного напряжения фотодатчика, ИЭП — импульсы электронного переключателя, ВСКВИ — видеосигнал компенсатора временных искажений, ВСМ — видеосигнал магнитофона, СУ — сигнал управления

от верхнего края ленты к нижнему. Для устранения таких искажений в видеомагнитофоне введена система авторегулирования положения направляющей магнитной ленты (САРН).

Более сложное построение системы синхронизации видеомагнитофона получается при работе его в режиме воспроизведения (рис. 2). Сигнал, считываемый магнитными головками с ленты, через электронный переключатель и канал воспроизведения после необходимой обработки в форме видеосигнала поступает в блок селектора синхроимпульсов воспроизведения. Программный селектор синхроимпульсов в этом режиме работает от сигнала синхронизации приемников телекоммуникаций. Для того чтобы сигнал, считываемый с ленты, был синхронен и синфазен с видеосигналом программы, скорость вращения диска с магнитными головками непрерывно регулируется необходимым образом при помощи САРСД. С этой целью на САРСД подаются импульсы строк программы и ленты, импульсы полей программы и ленты и импульсы опорного напряжения 250 Гц программы и фотодатчика. Таким образом САРСД оказывается охваченной тремя

кольцами обратной связи на различных частотах, что позволяет после перехода видеомагнитофона в режим воспроизведения последовательно достичь необходимой точности синхронности и синфазности сигнала программы и сигнала, считываемого с ленты.

Чтобы протягивание магнитной ленты в режиме воспроизведения осуществлялось с той же скоростью, что и в режиме записи, скорость ведущего двигателя непрерывно регулируется необходимым образом с помощью САРВД. С этой целью на САРВД поступают импульсы кадров программы и импульсы опорного напряжения 250 гц фотодатчика, а также импульсы кадров и опорного напряжения, считываемые с ленты при помощи универсальной магнитной головки управления. Таким образом САРВД оказывается охваченной двумя кольцами обратной связи на различных частотах, что позволяет поддерживать скорость вращения ведущего двигателя с необходимой точностью.

Положение направляющей магнитной ленты относительно диска с магнитными головками в режиме воспроизведения регулируется посредством САРН. С этой целью на САРН подаются импульсы строк ленты и инерционные импульсы строк от синхрогенератора видеомагнитофона, работающего в ведомом режиме от сигнала, считываемого с ленты, а также импульсы частоты 1000 гц от электронного переключателя в канале воспроизведения. В САРН выделяется сигнал ошибки, определяемый фазовыми соотношениями между импульсами строк ленты и инерционными импульсами строк синхрогенератора и имеющий частоту повторения 1000 гц. Затем этот сигнал ошибки сравнивается с импульсами 1000 гц электронного переключателя, в результате чего вырабатывается сигнал управления, который через исполнительный механизм изменяет положение направляющей таким образом, чтобы сигнал ошибки был минимальным.

Синхрогенератор видеомагнитофона в режиме воспроизведения, как указывалось выше, работает в ведомом режиме от синхросигнала, считываемого с ленты. Он формирует гасящие импульсы и сигнал синхронизации приемников, которые подаются в усилитель-формирователь для заимствования их в видеосигнал, получаемый из сигнала, считываемого с ленты, вместо гасящих импульсов и сигнала синхронизации приемников, присутствующих в этом сигнале, но имеющих параметры, не соответствующие требованиям ГОСТ 7845-55 из-за наличия всевозможных искажений сигнала после прохождения его по тракту «запись — воспроизведение». Так как системы автоматического регулирования обеспечивают синхронность и синфазность сигнала, считываемого с ленты, с сигналом телеконцерта, то сигналы синхронизации на выходе синхрогенератора оказываются синхронными и синфазными с сигналами синхронизации телеконцерта и поэтому видеосигнал магнитофона может быть использован на правах камерного сигнала для всевозможных комбинированных передач.

Однако сигнал, считываемый с ленты, имеет специфические искажения, связанные с отклонениями геометрических параметров видеоблока от номинальных и нестабильностями в системах авторегулирования. Поэтому при считывании сигнала с ленты в момент перехода с одной головки на другую появляется скачок во временном положении группы строк, считываемой одной головкой, по отношению к предыдущей и последующей группам. При рассмотрении такого сигнала на экране видеоконтрольного устройства (ВКУ), синхронизируемого импульсами строк телеконцерта, край раstra будет представлять собой ломаную линию. Такие искажения видеосигнала получили название временных искажений.

Для устранения временных искажений в видеомагнитофоне предусмотрено специальное устройство — компенсатор временных искаже-

ний (КВИ). Этот компенсатор представляет собой широкополосный фазовращатель, управляемый сигналом ошибки, вырабатываемым при сравнении временного положения безынерционных импульсов строк с программными или с инерционными строчными импульсами синхрогенератора видеомагнитофона. Подобный фазовращатель может быть выполнен в виде линии задержки, имеющей полосу пропускания, равную полосе видеосигнала, и изменяющей свою задержку под действием управляющего сигнала ошибки. На выходе КВИ получается видеосигнал, свободный от временных искажений, который и подается в усилитель-формирователь видеомагнитофона.

Для правильной работы КВИ необходимо, чтобы переключение магнитных головок происходило перед строчным синхронизирующим импульсом в видеосигнале, так как этот импульс несет в себе информацию о том, на сколько необходимо изменить задержку видеосигнала следующей за ним строки. С этой целью в канал воспроизведения для работы электронного переключателя подаются опережающие импульсы частоты строк от синхрогенератора. При этом в видеосигнале, поступающем на селектор синхроимпульсов воспроизведения, перед строчным синхроимпульсом существует паразитный импульс переключения, который направлен в ту же сторону, что и строчный синхронизирующий импульс, и может нарушать синхронную работу остальной электронной аппаратуры и блоков автоматики. Для предотвращения этого явления в селекторе синхроимпульсов воспроизведения осуществляется стробирование видеосигнала опережающими импульсами строк.

Основные параметры системы синхронизации

а) Синхрогенератор

На синхрогенератор в режиме воспроизведения поступает сигнал строчной частоты, в спектре которого помимо гармоник основной частоты присутствуют различные помехи. Не проводя подробного анализа спектра входного сигнала, на основании изложенного выше можно сделать вывод, что наиболее опасной является помеха с частотой 250 гц и ее гармоники. Поэтому задачей синхрогенератора должно быть формирование сигналов синхронизации, свободных от помехи 250 гц.

Считается, что наличие сдвига строк на 0,05 мксек не заметно для глаза на экране ВКУ. Величина временных ошибок в воспроизводимом сигнале имеет величину порядка 1 мксек. Таким образом, система автоматической подстройки частоты синхрогенератора должна быть построена так, чтобы ослабить эту помеху в 20 раз. Это можно сделать, выбрав достаточно узкополосный фильтр в системе АПЧ. Однако такое решение не представляется возможным, так как полоса схватывания системы АПЧ синхрогенератора должна составлять примерно 1,2 кгц, что определяется возможными относительными уходами частот задающих генераторов синхрогенератора видеомагнитофона и синхрогенератора программного телеконцерта, который может работать в режиме привязки к частоте питающей сети.

При таком подходе система АПЧ синхрогенератора должна быть выполнена на основе двухрежимной ФАПЧ (рис. 3), т. е. такой системы ФАПЧ, у которой схватывание происходит при широкой полосе пропускания фильтра низкой частоты, а после того как система вошла в синхронизм, специальная схема автоматики подключает в кольцо обратной связи дополнительный фильтр низкой частоты, имеющий достаточно узкую полосу пропускания, чтобы отфильтровать помеху частоты 250 гц с нужной степенью точности.

Для того чтобы не уменьшить существенно диапазон коррекции, осуществляемой в КВИ, который составляет 1 мксек, синхрогенератор должен формировать сигналы синхронизации, временное положение которых отличалось бы от усредненного временного положения сигналов синхронизации, считываемых с ленты, не более чем на $\pm 0,05$ мксек во всем диапазоне полосы схватывания системы АПЧ. Такая точность подстройки фазы и определяет необходимый коэффициент регулирования в кольце обратной связи ФАПЧ синхрогенератора видеомагнитофона.

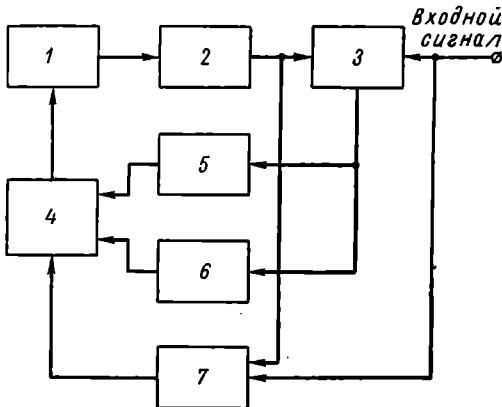


Рис. 3. Блок-схема двухрежимной ФАПЧ

1 — управляющий элемент; 2 — задающий генератор; 3 — фазовый детектор; 4 — схема коммутации фильтров; 5 — фильтр низкой частоты I; 6 — фильтр низкой частоты II; 7 — система автоматического управления

схема привязки видеосигнала по уровню «черного» и схема автоматической регулировки усиления (рис. 4).

Фазоразличающие устройства систем автоматического регулирования видеомагнитофона обладают чувствительностью, позволяющей фиксировать смещение сравниваемых сигналов на 0,05 мкеск. Поэтому временная

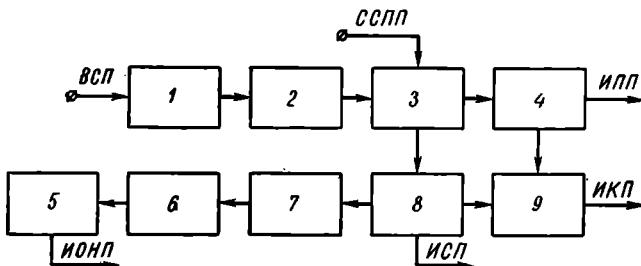


Рис. 4. Блок-схема программного селектора синхроимпульсов

1 — схема автоматической регулировки усиления; 2 — схема привязки видеосигнала; 3 — селектор сигнала синхронизации приемников; 4 — селектор импульсов частоты полей; 5 — делитель частоты на 125; 6 — резонансный усилитель; 7 — схема двухполупериодного выпрямления напряжения частоты строк; 8 — селектор импульсов частоты строк; 9 — селектор импульсов частоты кадров

модуляция выходных сигналов ПСС относительно входных синхроимпульсов не должна превышать, по крайней мере, эту величину.

В существующих видеомагнитофонах опорное напряжение частоты 250 Гц формируется путем умножения частоты полей в 5 раз с помощью резонансного *RC*-усилителя [2]. При этом паразитная временная модуляция импульсов опорного напряжения имеет величину 10—15 мксек, что недопустимо для рассматриваемой модели видеомагнитофона.

Поэтому формирование опорного напряжения в ПСС осуществляется иначе. Напряжение строчной частоты, выделенное из внешнего сигнала,

поступает на схему двухполупериодного выпрямления, на выходе которой присутствуют лишь четные гармоники входной частоты [3]. Это позволяет получить напряжение двойной строчной частоты с очень малым коэффициентом нелинейных искажений, которое преобразуется при помощи деления на 125 в импульсное напряжение частоты 250 Гц с паразитной временной модуляцией, не превышающей 0,03 мксек.

в) Селектор синхроимпульсов воспроизведения (ССВ)

Поскольку ССВ (рис. 5), как и ПСС, обслуживает системы автоматического регулирования видеомагнитофона в режиме воспроизведения, то все требования, предъявляемые к ПСС, относятся и к ССВ. Однако, как указывалось выше, на ССВ поступает видеосигнал, в котором перед строчным синхроимпульсом присутствует импульс помехи от переключения головок. Поэтому ССВ должен работать в режиме стробирования.

Так как максимальный временной сдвиг группы строк в сигнале, считанном с ленты, составляет 1 мксек, а синхрогенератор формирует строчные синхроимпульсы сигнала синхронизации приемников, совпадающие примерно с серединой этого диапазона, то для того чтобы передний фронт импульсов строк во входном сигнале, несущий информацию для правильной работы КВИ, не срезался стробирующими импульсами, последние должны опережать строчные синхроимпульсы в сигнале синхронизации приемников, формируемом синхрогенератором, на 0,6—0,7 мксек. Следовательно, операющие строчные импульсы, поступающие на электронный переключатель, с учетом запаздывания его переключения должны опережать строчные синхроимпульсы в сигнале синхронизации приемников, формируемом синхрогенератором, на 0,9—1,2 мксек.

г) Компенсатор временных искажений (КВИ)

Задачей КВИ является изменение задержки каждой строки видеосигнала на величину временной ошибки между строчным импульсом в сигнале, считанном с ленты, и эталонным строчным импульсом, в качестве которого может быть использован или строчный импульс программы, или инерционный строчный импульс синхрогенератора видеомагнитофона. Таким образом, КВИ должен состоять из двух основных устройств: линии задержки, способной изменять свою электрическую длину под действием внешнего сигнала и обладающей полосой пропускания, необходимой для прохождения видеосигнала (полоса пропускания линии должна составлять величину около 7,5 Мгц), и схемы управления. Известные схемы построения КВИ можно разделить на две группы — плавного регулирования и дискретного регулирования.

Схема КВИ плавного регулирования (рис. 6) включает в себя управляемую линию задержки и схему управления. Наиболее распространенным способом изменения электрической длины линии является изменение емкости $p-n$ -переходов полупроводниковых приборов, включаемых в качестве реактивных элементов линии. Из-за нелинейности изменения емкости $p-n$ -перехода под действием приложенного напряжения характе-

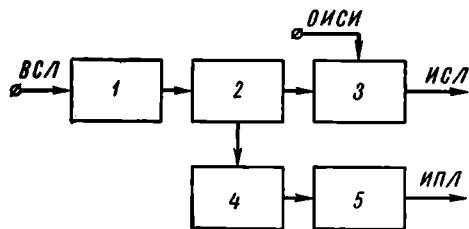


Рис. 5. Блок-схема селектора синхроимпульсов воспроизведения

1 — схема автоматической регулировки усиления, 2 — схема привязки видеосигнала, 3 — селектор импульсов частоты строк, 4 — селектор сигнала синхронизации приемников, 5 — селектор импульсов частоты полей

ристика управления такой линии имеет нелинейный характер (рис. 7). Поэтому в канале управления после детектора сигнала ошибки, имеющего линейную характеристику, включается γ -корректор, имеющий характеристику, обратную характеристики линии.

Чтобы управляющий сигнал не накладывался на проходящий через линию задержки видеосигнал, первый подводится к управляющим элементам линии в противофазе. С этой целью выходной усилитель канала

управления должен быть выполнен по парофазной схеме. Все переходные

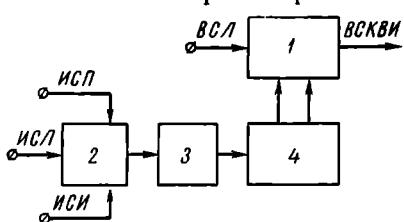


Рис. 6. Блок-схема КВИ плавного регулирования

1 — управляемая линия задержки, 2 — детектор сигнала ошибки, 3 — γ -корректор, 4 — усилитель сигнала управления

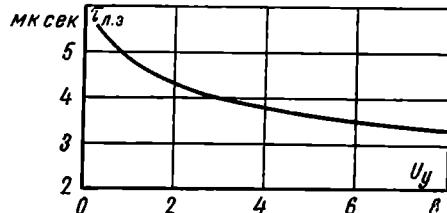


Рис. 7. Характеристика управления линии задержки

процессы в линии задержки, вызываемые сигналом управления, должны заканчиваться примерно за 6 мксек, чтобы на гасящем импульсе частоты строк осталась неискаженная площадка, по которой можно было бы осуществить привязку видеосигнала в усилителе-формирователе. Это заставляет выполнять выходные каскады усилителя управления с очень малым выходным сопротивлением, что значительно повышает мощность, потребляемую этими каскадами.

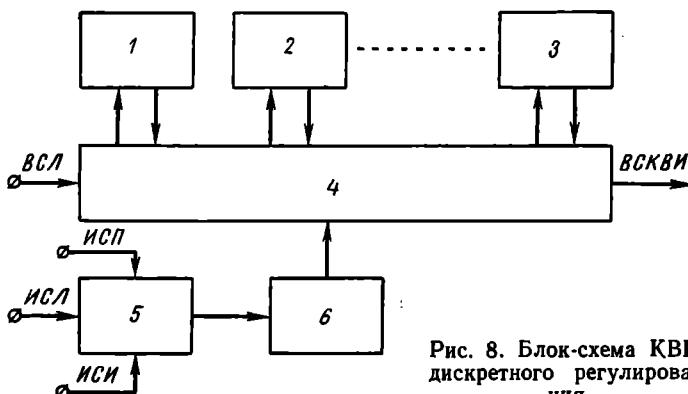


Рис. 8. Блок-схема КВИ дискретного регулирования

1 — линия задержки I; 2 — линия задержки II; 3 — линия задержки n; 4 — схема коммутации; 5 — детектор сигнала ошибки; 6 — логическая схема управления

В состав схемы КВИ дискретного регулирования (рис. 8) входит набор линий задержки различной электрической длины и логическая схема управления, которая подключает в канал видеосигнала необходимое число линий задержки. Наименьшая электрическая длина линии задержки в этой системе должна равняться заданной величине остаточной ошибки коррекции Δt_k . Вторая линия должна иметь задержку $2\Delta t_k$, третья — $2 \cdot 2\Delta t_k$ и т. д. Сумма задержек всех линий S_n должна равняться заданному диапазону коррекции КВИ t_k . Таким образом, последовательность времен задержек линий образует геометрическую прогрессию с знаменателем 2.

тегом $q = 2$, у которой первый член $a_1 = \Delta t_k$, а сумма n членов $S_n = a_1 \frac{(q^n - 1)}{q - 1}$. Отсюда можно определить необходимое число линий задержки:

$$t_k = \Delta t_k \frac{2^n - 1}{2 - 1},$$

$$\frac{t_k}{\Delta t_k} = 2^n - 1,$$

$$n = \frac{\ln \left(\frac{t_k}{\Delta t_k} + 1 \right)}{\ln 2}.$$

Если $t_k = 1$ мксек, а $\Delta t_k = 0,03$ мксек, то $n = \frac{\ln 34}{\ln 2} = 5$, и линии должны обладать задержками: $\tau_1 = 0,03$ мксек, $\tau_2 = 0,06$ мксек, $\tau_3 = 0,12$ мксек, $\tau_4 = 0,24$ мксек, $\tau_5 = 0,48$ мксек.

Опыт, имеющийся в нашей стране, не позволяет пока отдать предпочтение какой-либо из этих схем построения КВИ.

Заключение

Выше были рассмотрены основные принципы построения системы синхронизации видеомагнитофона для комбинированных телевизионных передач. При разработке конкретных устройств, входящих в систему синхронизации, может возникнуть ряд дополнительных требований и решений, которые должны быть рассмотрены самостоятельно.

При записи и воспроизведении цветных телевизионных программ схема синхронизации видеомагнитофона не должна претерпеть сколько-нибудь значительных изменений, особенно если сигналы цветности получены по системе SECAM, так как в этой системе требования к всевозможным фазовым нестабильностям значительно ниже, чем в системах цветного телевидения NTSC и PAL.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хавкин В. Л. Построение системы синхронизации видеомагнитофонов. «Техника кино и телевидения», 1963, № 1, стр. 24.
2. Кулагин А. И. Об умножении низкой частоты с помощью избирательного RC-усилителя. «Вопросы радиоэлектроники». Сер. IX «Техника телевидения», 1964, вып. 4, стр. 18.
3. Харкевич А. А. Основы радиотехники. М., Связьиздат, 1962.

Статья поступила 12 мая 1966 г.