

ТЕЛЕВИДЕНИЕ*

B. K. Зворыкин

Разработанная В. К. Зворыкиным новая система „катодной“ приемной и передающей телевизионной аппаратуры открыла перспективы, о которых механическое телевидение не могло и мечтать. Лучшим свидетельством о преимуществах этой системы служит то обстоятельство, что в Америке уже два года назад механическое телевидение оказалось совершенно вытесненным катодным.

Достоинства новой системы и ее значение получили должную оценку и у нас. В настоящее время над проблемой катодного телевидения работает целый ряд исследовательских лабораторий Союза. Мы можем отметить уже целый ряд достижений, как, например, разработку телевизионного приемника „кинескона“ в лаборатории завода „Светлана“.

Несмотря, однако, на то большое значение, к которое имеет проблема катодного телевидения, информация по этому вопросу на русском языке весьма с узма. За исключением доклада Зворыкина, прочитанного им в Научно-техническом обществе электриков (Ленинград) во время пребывания в СССР летом 1933 г., изданного в очень малом тираже, и короткой статьи в „Радиофронте“ до сих пор ничего не печатано не было.

Ввиду этого редакция нашла целесообразным поместить в журнале печатаемый ниже перевод статьи Зворыкина из январской книжки *Journal of the Franklin Institut*, посвященной основам катодного телевидения. Эта статья, охватывающая вопрос не только шире и глубже, чем это было сделано Зворыкиным в его докладе, содержит, кроме того, значительное количество иллюстраций, благодаря чему получается весьма полное представление о системе катодного телевидения и ее достоинствах.

Редакция

Краткое содержание. Настоящая статья дает очерк новой системы телевизионной аппаратуры, разработанной в лабораториях R. C. A. Victor Co.

Система является целиком электрической. В ней используются лишь электронные приборы и совершенно отсутствуют какие бы то ни было движущиеся механические части.

Передача изображений осуществляется при помощи особой электронной трубки, называемой икон скопом. Эта трубка представляет собой настоящий электрический глаз и состоит из светочувствительной мозаики, соответствующей ретине человеческого глаза и электронного пучка, играющего роль глазного нерва. Изображение передаваемого объекта оптически проектируется на мозаику и обращается иконоскопом в ряд электрических импульсов, соответствующих яркости отдельных точек объекта.

Воспроизведение изображения производится при помощи другой вакуумной трубки, кинескопа, превращающего электрические импульсы обратно в изображение яркости света, посредством бомбадировки флуоресцирующего экрана электронным пучком переменной интенсивности.

Движение электронного пучка в обеих трубках таково, что благодаря

* Перевод Н. С. Хлебникова.

ему изображение разделяется на ряд параллельных линий. Эти движения синхронизованы, так что мгновенные положения обоих пучков относительно точек картины во-гда одинаковы. Синхронизирующие сигналы передаются одновременно с передачей изображения. Таким образом приемник работает вполне автоматически.

Чувствительность иконоскопа в настоящее время приблизительно равна чувствительности кинопленки и позволяет с успехом передавать изображения при естественном освещении. Разрешающая способность иконоскопа весьма велика, больше, чем необходимо для получения телевизионного изображения самого высокого качества.

Настоящая статья дает теорию этой новой системы телевидения, и описывает ее свойства. Приводятся фотографии изображений, получаемых на флуоресцирующем экране приемника.

В В Е Д Е Н И Е

Слово „телевидение“ за последнее время сделалось привычным словом и вызывает у нас представление об искусственном воспроизведении быстро меняющихся картин. Поскольку оно искусственно,

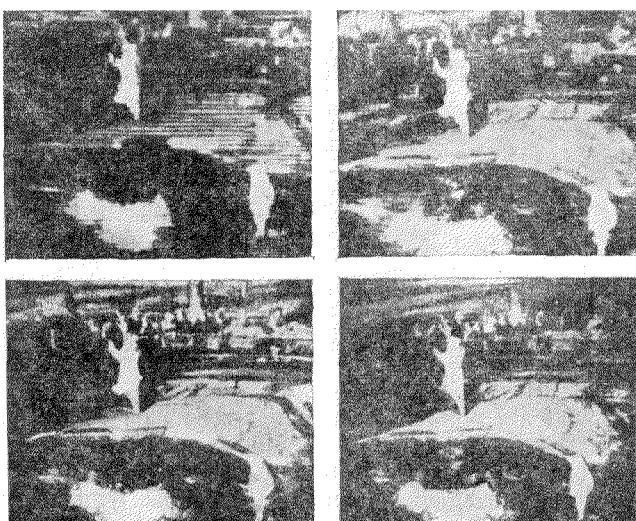


Рис. 1. Резкость изображения в зависимости от числа линий для картины с большим количеством деталей.

мы не можем ожидать абсолютно точного воспроизведения оригинала и потому слово „телевидение“ для характеристики степени совершенства воспроизведения нуждается в добавочном прилагательном.

При изготовлении репродукций в печатных изданиях принято характеризовать четкость рисунка числом точек, приходящихся на единицу площади. Обычный рисунок содержит около 700 элементов на 1 см² или приблизительно 26 линий на 1 см. Для более тонких работ пользуются большим числом элементов. В телевиде-

ния необходимость пользоваться одним проводящим каналом заставляет разлагать изображение на элементы, передаваемые последовательно. Вследствие того, что эти элементы располагаются в виде ряда параллельных линий, вошло в обиход характеризовать изображение числом линий, приходящихся на единицу длины. Так, мы говорим о 30-, 60 или 120-линейном телевидении, что означает, что все воспроизведенное изображение состоит из 30, 60 или 120 параллельных линий, плотность которых меняется по их длине.

Чем больше элементов содержит изображение, тем труднее проблема телевидения. Чрезвычайно важно поэтому установить,



Рис. 2. Резкость изображения в зависимости от числа линий для картины с меньшим количеством деталей.

как далеко следует идти в направлении увеличения числа элементов, или, иными словами, каково то минимальное число линий, при котором можно считать изображение удовлетворительным.

Значительное количество превосходных работ как экспериментальных, так и теоретических было уже опубликовано по этому вопросу. Результаты этих работ вполне точно согласуются друг с другом и указывают, что увеличение числа линий сначала ведет к сильному увеличению резкости изображения, затем скорость этого увеличения замедляется и, наконец, резкость достигает некоторого предельного значения, после чего дальнейшее увеличение числа линий дает лишь ничтожное увеличение резкости.

Для того чтобы дать лучшее представление об этом соотношении, на рис. 1 приведены репродукции с одной и той же картины, переданной 60, 120, 180 и 240 линиями соответственно. Эти картины не передавались при помощи телевизионного передатчика, но были

случае, как и в кино, мы имеем в каждую секунду передачу многих изображений, благодаря чему недостающие детали одного могут быть воспроизведены в других, в то время как глаз воспринимает их все как принадлежащие одному и тому же изображению.

Практические трудности при конструировании телевизионной системы возрастают пропорционально количеству материала, подлежащего передаче, а потому растут с увеличением числа элементов картины. Эти трудности заключаются не только в разделении картины на элементы. Они обусловлены также ограниченностью числа

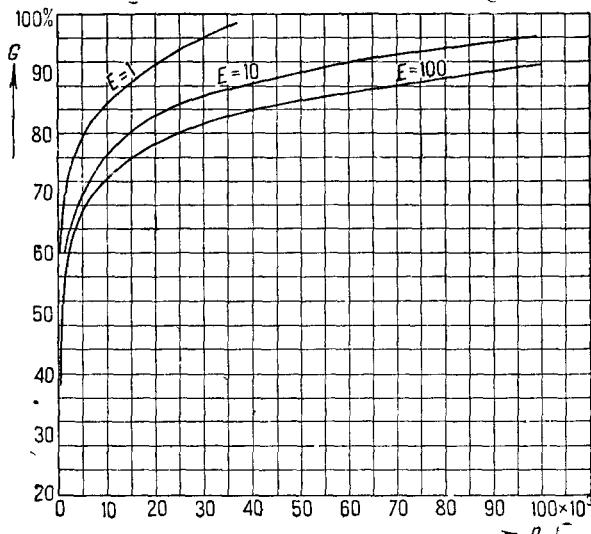


Рис. 4. Возрастание резкости изображения с увеличением числа линий при различных освещенностях.

электрических каналов, могущих быть примененными при передаче, требованиями, предъявляемыми к электрическим контурам, а также световым режимом, необходимым для передачи и приема.

Следующая табл. 1 иллюстрирует соотношения между числом элементов изображения и максимальной частотой изменения света, могущей иметь место при передаче картины, считая отношение длины к ширине последней лежащим между 3 и 4, при 24 повторениях в секунду.

Ширина полосы несущих частот, необходимых для передачи изображений с числом линий больше 100, делает невозможным применение радиопередатчиков с частотами, используемыми для звукового широковещания. Единственным решением вопроса является передача на ультравысоких частотах. Вопросы радиотехнического характера выходят, однако, из рамок настоящей статьи. Здесь также не будет рассматриваться история развития телевиде-

получены специальным оптическим методом, и потому не подвергалисьискажениям, могущим иметь место при различных процессах в передатчике и приемнике. Они должны считаться поэтому телевизионными изображениями идеального качества. Приведенный ряд рисунков показывает, что для картины с большим количеством деталей мы должны рассматривать 240 линий как минимум. При меньшем количестве деталей число линий может быть несколько меньше, что легко видеть из рис. 2. Оба приведенные примера

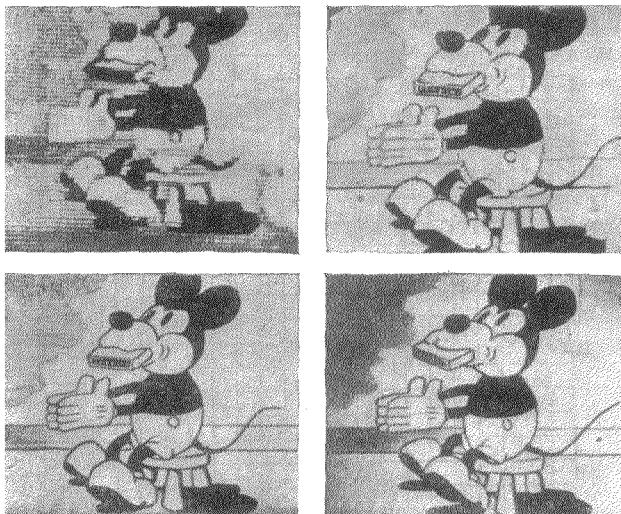


Рис. 3. Резкость изображения в зависимости от числа линий для черно-белого рисунка.

относятся к изображениям с полутенями. Черно-белые рисунки требуют примерно того же числа линий, в чем можно убедиться из рис. 3.

Упомянутое соотношение между числом линий и резкостью изображения иллюстрируется также кривой рис. 4*. Эта кривая была получена путем вычислений, исходя из разрешающей способности человеческого глаза. Она может быть выражена уравнением:

$$G = \rho \lg n,$$

где G — резкость изображения, n — число элементов изображения и ρ — коэффициент, зависящий от величины изображения и угла зрения. Три кривые рис. 4 относятся к трем различным освещенностям: в 1, 10 и 100 люменов.

Все приведенные данные относятся к передаче изображений неподвижных объектов. Телевизионные изображения движущихся предметов имеют большую резкость, вследствие того, что в этом

* Я. А. Рифтин, Z. S. f. Techn. Phys., B. III, N. 2—3, 1933.

ТАБЛИЦА 1

Число линий развертки	Число элементов картины	Максимальная возможная частота колебания силы света	Максимальная несущая частота, необходимая для передачи
60	4 798	63 970*	127 000
120	19 200	256 000	512 000
180	43 190	576 000	1 152 000
240	76 780	1 024 000	2 048 000

ния. Достаточно сказать только, что практически вся работа до сего времени велась с механическими методами разложения изображения на элементы. Точно так же, механические методы применялись и для воссоздания изображения в приемнике. Благодаря этому возникали чисто механические затруднения при конструировании развертывающих приспособлений и трудности в связи с увеличением числа элементов изображения, особенно в отношении светового режима.

Положение со светом оказалось поистине каменной стеной, в которую уперлись все попытки повышения разрешающей способности, — что необходимо для получения изображения высокого качества, — и сделало практически недостижимой истинную цель телевидения — передачу изображений при естественном освещении.

Чтобы понять причину этих трудностей, мы должны помнить, что картина передается точка за точкой, так что при механическом телевидении фотоэлемент находится под действием света от каждой точки картины лишь в течение весьма короткого промежутка времени, равного длительности экспозиции элемента. Допустим, что для получения изображения хорошего качества необходимо 240 линий или 76 000 элементов. При 24 повторениях в секунду это означает, что время передачи элемента составит $1/1824000$ долю секунды. Отдача фотоэлемента пропорциональна интенсивности света и промежутку времени, в течение которого свет действует на фотоэлемент. Простые вычисления показывают, насколько ничтожна будет отдача фотоэлемента при указанном числе элементов картины. Если взять средний фотоаппарат со светосилой 1 : 4, 5, полный световой поток, падающий на пластинку при съемке яркой картины на открытом воздухе, составит около 0,1 люмена. Заменяя пластинку диском на 76 000 элементов и пользуясь фотоэлементом чувствительностью в $10 \mu\text{A}$ на люмен, мы получаем, что сила тока, получаемая за счет одного элемента картины, будет равна:

$$I_e = \frac{I \cdot 10^{-5}}{10 \cdot 76000} = 1,3 \cdot 10^{-11} \text{ A.}$$

* 100% накинуто на потери времени для передачи синхронизирующих сигналов.

Заряд, создаваемый этим током за время прохождения одного элемента, будет:

$$Q = I_e t = \frac{1,3 \cdot 10^{-11}}{1824 \cdot 10^6} = 7 \cdot 10^{-17} \text{ С.}$$

Сравнивая эту величину с зарядом электрона ($e = 1,59 \cdot 10^{-19}$ С), мы видим, что только 44 электрона соответствуют одному элементу картины. Усиление столь ничтожных импульсов представляет на практике неопреодолимые трудности.

Если сравнить эти условия с теми, в которых работает фотографическая пластиинка, мы увидим, что последние несравненно более благоприятны, поскольку все ее точки подвергаются действию света в течение всей экспозиции. При съемке в помещении это время измеряется секундами, для сцен на открытом воздухе оно порядка 1/100 сек., т. е. во много тысяч раз больше, чем время прохождения одного элемента картины. Человеческий глаз, который мы рассматриваем как идеал чувствительности, работает в столь же благоприятных условиях.

Если бы телевизионный передатчик мог быть сконструирован по принципу человеческого глаза, каждая точка картины воздействовала бы на светочувствительную поверхность в течение промежутка времени, приходящегося на передачу всей картины. Тогда, в условиях нашего примера, отдача фотоэлемента за счет отдельного элемента картины оказалась бы в 76 000 раз больше, чем при передаче обычным способом. Поскольку развертывание картины необходимо, дабы иметь возможность пользоваться только одним проводящим каналом, для осуществления указанной цели необходимо иметь то или иное приспособление для накопления зарядов в промежутке между двумя последовательными передачами одной и той же точки.

Требования, предъявляемые к световому режиму, и необходимость обойтись без механических движущихся частей привели к разработке целиком - электрической системы телевидения, в которой для передачи и приема применяются специальные электронные приборы.

Иконоскоп

Передающее приспособление приняло вид искусственного глаза. Оно получило название „иконоскоп“, образованное из двух греческих слов и в буквальном переводе означающее „наблюдатель изображений“. Фотография этого прибора приведена на рис. 5, а.

Иконоскоп состоит из двух частей, заключенных в общую эвакуированную стеклянную колбу. Одна часть представляет собой светочувствительную мозаику и состоит из металлической пластины, покрытой большим числом мельчайших светочувствительных точек, изолированных как друг от друга, так и от пластины. Каждая такая точка представляет собой катод отдельного фотоэлемента; все фотоэлементы имеют один общий анод. Назначение этой мозаики то же,

что и ретины человеческого глаза. Она преобразует световую энергию, получаемую от спроектированной на нее картины, в энергию электрических зарядов, накапливающихся на ней до тех пор, пока они не будут сняты один за другим, давая при этом начало электрическим импульсам, которыми и модулируется передатчик. Снятие зарядов с элементов мозаики осуществляется при помощи движущегося электронного пучка, играющего роль нерва этого электрического глаза. Для того чтобы сделать аналогию между глазом и иконоскопом еще более полной, отметим, что этот прибор обладает „электрической памятью“, так как при наличии хорошего диэлектрика заряды на мозаике могут сохраняться в течение значительного промежутка времени.

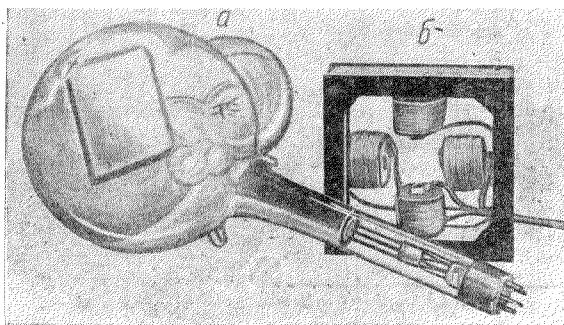


Рис. 5. Общий вид иконоскопа.

Для уяснения принципа действия иконоскопа лучше всего будет рассмотреть контур отдельного элемента мозаики, схематически изображенный на рис. 6. Здесь P представляет собой такой элемент, C — его емкость по отношению к пластине, общей для всех элементов, которую мы будем называть „сигнальной пластиной“. Весь контур можно проследить, начиная от катода P_c к C , затем к сопротивлению R , батарее B и обратно — к аноду P_a . Когда свет от проектируемого изображения падает на мозаику, каждый ее элемент P_c испускает электроны. Таким образом под действием света элементарный конденсатор C заряжается. Величина этого заряда является функцией интенсивности освещения. Когда развертывающий электронный пучок попадает на положительно заряженный элемент $P_c C$, этот элемент пополняет свой запас электронов и может быть назван разряженным.

Если построить кривую изменения заряда элемента $P_c C$ в зависимости от времени, как это сделано на рис. 7, мы увидим, что за счет световой энергии, получаемой от картины, потенциал элемента мозаики будет возрастать. Скорость этого возрастания $\frac{dV}{dt}$ зависит только от яркости части картины, спроектированной

на данный элемент. Иначе говоря, при неизменной интенсивности освещения потенциал будет линейно возрастать со временем. Эта линейность будет сохраняться лишь до наступления насыщения емкости C . Величина последней выбрана, однако, с тем расчетом, чтобы при данной частоте разряжения электронным пучком насыщение никогда не наступало. Поскольку движение развертывающего пучка по мозаике совершается с постоянной скоростью, промежуток времени $t = \frac{1}{N}$, протекающий между двумя последовательными разражениями, также постоянен и, таким образом, величина накопленного заряда зависит только от яркости соответствующей точки картины. При условии постоянства интенсивности развертывающего пучка импульс тока, протекающего через R при снятии заряда с

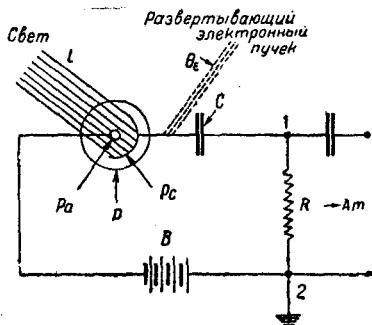


Рис. 6. Контур элемента иконоскопа.

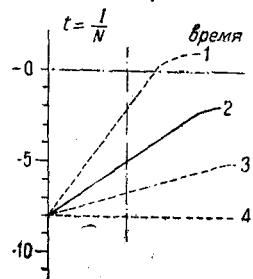


Рис. 7. Изменение заряда элемента иконоскопа в зависимости от времени освещения.

элемента мозаики и, следовательно, возникающая на концах сопротивления разность потенциалов V также оказываются зависящими лишь от яркости точки картины. Эта разность потенциалов V является отдачей каждого отдельного фотоэлемента мозаики иконоскопа, т. е. элементарным сигналом передаваемого изображения.

Схема действия иконоскопа в действительности несколько усложняется тем обстоятельством, что развертывающий пучок не только нейтрализует положительный заряд элемента мозаики, но и заряжает этот элемент отрицательно. Устанавливаящийся в действительности потенциал определяется скоростью электронов пучка и второйной эмиссией со светочувствительной поверхности, возникающей вследствие бомбардировки ее электронами значительной скорости. Величина равновесного потенциала для обычного иконоскопа в темноте равна $-0,5$ — $-1,0$ V. Под действием света элементы мозаики приобретают положительный заряд, понижая тем самым свой нормальный отрицательный потенциал, вновь восстанавливаемый развертывающим пучком.

Другое усложнение обуzano своим происхождением тому, что

помимо разрядных импульсов с каждого отдельного элемента мозаики имеются импульсы, обусловленные заряжением всех элементов мозаики под действием падающего на нее света. Ток заряжения постоянен для неподвижной картины, но перестает быть таковым, как только изображение или его часть начинает перемещаться по мозаике. Изменения зарядного тока, однако, весьма медленны и не действуют на усилитель, если последний снабжен фильтром для устранения частот ниже 24 циклов.

Рис. 8 дает представление об условиях на поверхности мозаики. Здесь темная часть изображает электрические заряды, накопленные отдельными элементами мозаики благодаря действию света проектируемой картины. Хотя на рис. 8 задний план картины имеет одинаковую плотность во всех точках, — в действительности соот-

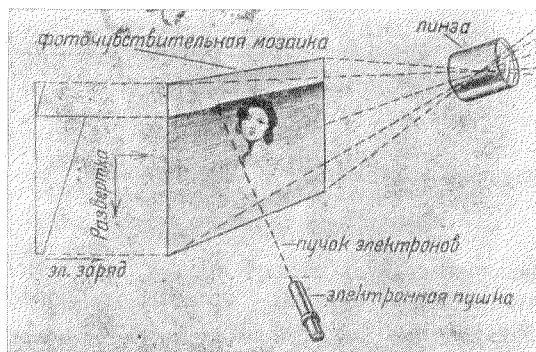


Рис. 8. Снятие зарядов с поверхности мозаики электронным лучком.

ветствующие им заряды в определенный момент времени неодинаковы, но меняются, как показано на левой стороне рисунка. Наибольшей величины заряд достигает в момент, непосредственно предшествующий попаданию пучка в данную точку. Тотчас после прохождения пучка заряд оказывается вблизи условий равновесия и возрастает в течение всего периода развертывания, достигая своей наибольшей величины в момент перед приходом пучка.

Нейтрализуя точку мозаики, электронный пучок почти мгновенно освобождает весь запас энергии, накопленный здесь в течение 1/24 части секунды. Поэтому величина элементарного импульса в системе, использующей накопление зарядов, будет во столько раз больше, чем в обычной, во сколько раз больше свет от элемента картины действует на фотоэлемент.

Это легко показать, вычислив величину элементарного импульса в обоих случаях.

Разность потенциалов V_x , возникающая на сопротивлении R

в случае механического передатчика за счет одного элемента картины, может быть выражена следующим образом:

$$V_m = RS \frac{\Phi}{n}, \quad (1)$$

где R — величина сопротивления, S — чувствительность фотоэлемента (т. е. фототок, отнесенный к единице светового потока), Φ — световой поток, соответствующий всему изображению, n — число элементов изображения.

Ввиду того, что отдельные импульсы не должны мешать друг другу, контур фотоэлемента должен удовлетворять определенному условию, состоящему в том, что произведение его емкости на сопротивление должно быть не больше времени прохождения отдельного элемента, т. е.

$$C_m R = \frac{1}{Nn},$$

где C_m — емкость контура и N — число повторений картины в 1 сек. Отсюда находим величину сопротивления:

$$R = \frac{1}{NnC_m}.$$

Подставляя полученное выражение в (1), получаем:

$$V_m = RS \frac{\Phi}{n} \frac{1}{NnC_m} = \frac{S\Phi}{Nn^2C_m}. \quad (2)$$

Из этого выражения следует между прочим, что в механическом телевидении элементарные импульсы ослабеваются пропорционально квадрату числа элементов.

Для определения элементарного импульса иконоскопа (в тех же условиях) вычислим величину заряда, соответствующего элементу изображения. Этот заряд равен:

$$Q = S \frac{\Phi}{n} t, \quad (3)$$

где t — время действия света на элемент между двумя последовательными разряжениями, которое с большим приближением можно считать равным $\frac{1}{N}$.

Элементарный импульс иконоскопа равен:

$$V_i = \frac{Q}{C_i},$$

где C_i — емкость элементарного контура иконоскопа.

Таким образом

$$V_i = S \frac{\Phi}{n} \frac{1}{N} \frac{1}{C_i}. \quad (4)$$

Отношение между элементарными импульсами иконоскопа и механического передатчика будет равно:

$$\frac{V_i}{V_m} = \frac{\frac{S\Phi}{nNC_i}}{\frac{S\Phi}{Nn^2C_m}} = n \frac{C_m}{C_i}. \quad (5)$$

Принимая, что $C_u = C_b$, имеем:

$$\frac{V_t}{V_u} = n.$$

Таким образом в рассматриваемом нами примере импульс иконоскопа должен быть в 76 000 больше. Это было бы так в том случае, если бы коэффициент полезного действия прибора равнялся 100%, что практически невозможно по причине всевозможных потерь. В настоящее время приходится довольствоваться 10% теоретической отдачи.

Схематическое изображение всех электрических цепей иконоскопа дано на рис. 9. Как видим, здесь части фотоэлементов (P рис. 6) совершенно разделены друг от друга. Катоды фотоэлементов представляют собой светочувствительные шарики, расположенные на поверхности сигнальной пластины и изолированные от нее. Анодом,

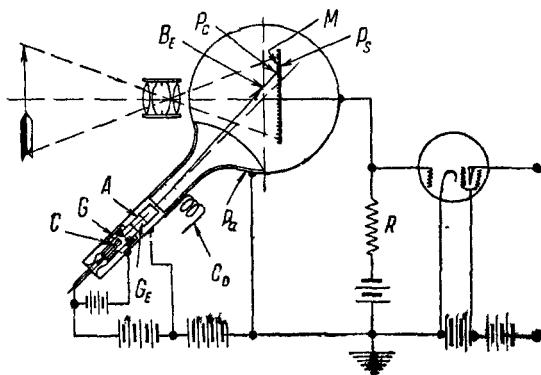


Рис. 9. Полная схема иконоскопа.

общим для всех фотоэлементов, служит посеребренная часть внутренней поверхности колбы. Емкость C каждого отдельного элемента по отношению к сигнальной пластине определяется толщиной и диэлектрической постоянной изолирующего слоя между ними. Снятие положительного заряда с элементов мозаики осуществляется при помощи пучка электронов, создаваемого электронным прожектором, расположенным против центра мозаики под углом в 30° к нормали. Мозаика и прожектор заключены в общую, тщательно откаченную стеклянную колбу. Расположение электронного прожектора под углом имеет целью дать возможность проектировать на мозаику изображение.

Разрешающая способность иконоскопа определяется числом и размерами элементов мозаики, а также сечением развертывающего электронного пучка. На практике, однако, число элементов мозаики во много раз больше числа элементов изображения, качество которого, таким образом, полностью определяется сечением развертывающего пучка. Это схематически показано на рис. 10. Из основных допущений, сделанных в анализе идеального контура отдельного

элемента мозаики (рис. 6), мы находим условия, которым должна удовлетворять мозаика иконоскопа. Эти условия сводятся к тому, чтобы фотоэлементы имели одинаковый размер, одинаковую чувствительность и одинаковую емкость по отношению к сигнальной пластиинке. То обстоятельство, что сечение развертывающего пучка много больше размеров отдельных фотоэлементов, видоизменяет и упрощает эти условия. Достаточным оказывается, чтобы чувствительность и емкость элемента поверхности мозаики, размером равного площади электронного пятна, были неизменными по всей поверхности мозаики. Это допускает значительные отклонения в размерах отдельных фотоэлементов.

Вопрос о фотоэлектрической и емкостной однородности поверхности, достигнуть которых казалось бы, весьма трудно, в действительности решается достаточно просто.

Известно, что такой распространенный материал, как слюда, может быть получен в виде листов, практически совершенно одинаковой толщины во всех точках. Слюда, поэтому, является идеальным изолирующим слоем для мозаики. Что касается самой мозаики, она может быть получена несколькими способами, простейший из которых состоит в испарении щелочного металла на слюду в вакууме. Когда полученная испарением пленка весьма тонка, она не является непрерывной, но состоит из миниатюрных гнезд металла, расположенных вполне равномерно по поверхности подкладки и разделенных друг от друга непроводящими промежутками. Другим возможным методом является получение мозаики из непрерывной металлической делительной машины.

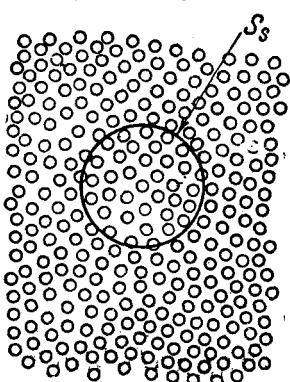
Рис. 10. Огносительные размеры элементов мозаики и электронного пятна.

Пленки при помощи делительной машины.

Первоначально мозаика получалась упомянутым выше нанесением тонкой пленки щелочного металла, но развитие техники изготовления фотоэлементов заставило применить другой способ и в настоящее время мозаика представляет собой весьма большое число мельчайших серебряных шариков, сделанных светочувствительными путем особой обработки цезием.

Поскольку заряды, с которыми приходится иметь дело, весьма малы, потери за счет проводимости диэлектрика должны быть сведены к минимуму. Слюда хорошего качества вполне удовлетворяет этому требованию. Кроме слюды могут быть использованы также и другие диэлектрики. Так, например, вполне пригодными оказались тонкие слои стеклянной эмали (жидкого стекла). Толщина изолирующего слоя делается как можно меньшей.

Чувствительность мозаики имеет тот же порядок величины, что и чувствительность вакуумных кислородно-цезиевых фотоэлементов.



Однаковы и их спектральные характеристики. Распределение чувствительности по спектру для мозаики показано на рис. 11. Резкое спадание кривой в стороне коротких волн обусловлено поглощением света в стекле. Истинное распределение чувствительности по спектру изображается пунктирной линией.

Электронный прожектор, генерирующий развертывающий пучок, является чрезвычайно ответственной частью иконоскопа. Ввиду того, что разрешающая способность этого прибора определяется площадью электронного пятна, скользящего по мозаике, прожектор должен быть построен таким образом, чтобы давать пятно размеров, точно соответствующих числу элементов, на которое рассчитан иконоскоп. В приведенном выше примере изображения с 76 000 элементов и при пластинке с мозаикой около 100 мк высоты расстояние между двумя последовательными линиями равно около

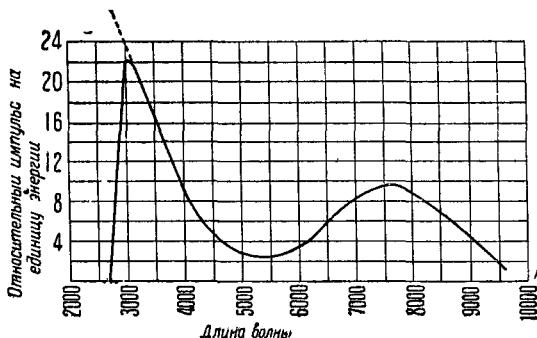


Рис. 11. Распределение чувствительности по спектру мозаики иконоскопа.

0,4 мк, а диаметр пятна должен равняться половине этой величины. Таким образом конструкция электронного прожектора оказывается весьма серьезной проблемой.

Электронный прожектор иконоскопа чрезвычайно похож на аналогичное приспособление приемной трубки катодного телевидения — кинескопа, уже неоднократно описанной*. Устройство прожектора поясняется рис. 12. Он состоит из катода с косвенным подогревом *C*, эmitтирующая поверхность которого расположена на донышке цилиндра, образующего катод. Эта эmitтирующая поверхность располагается перед отверстием *D* управляющего электрода *G*. Анод *A* представляет собой длинный цилиндр с тремя диафрагмами, расположенными на одной прямой с катодом и отверстием управляющего электрода. Прожектор помещен внутри длинной и неширокой стеклянной трубы, припаянной к сферическому баллону, в котором находится мозаика. Внутренняя поверхность трубы, равно как и часть поверхности баллона, покрыта металлическим

* В. К. Зворыкин, Journ. Radio Eng., Dec. 1929,

слоем и служит вторым анодом для прожектора, а также собираетелем электронов, вылетающих из мозаики. Напряжение на первом аноде равно обычно доле напряжения второго анода, величина которого составляет примерно 1000 В.

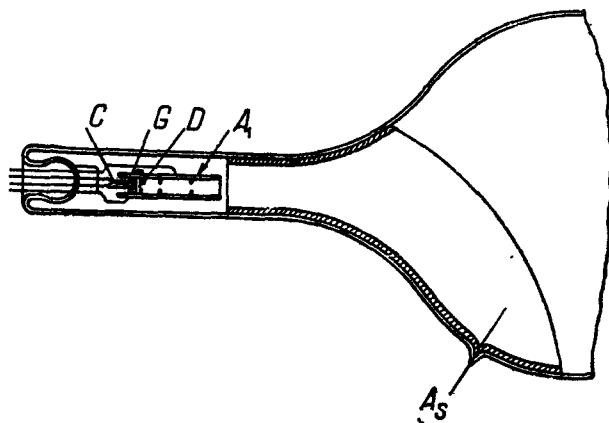


Рис. 12. Устройство электронного прожектора.

Фокусировка электронного пучка осуществляется при помощи электростатического поля, образованного наложением разности потенциалов между частями прожектора, а также — между самим прожектором и металлизированной поверхностью горла иконоскопа.

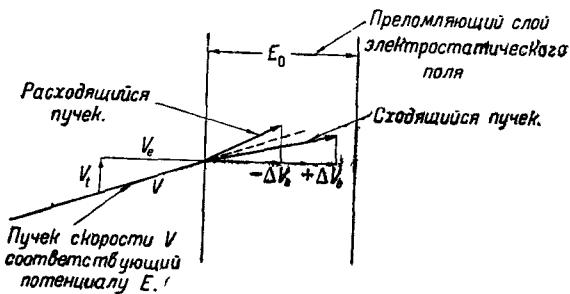


Рис. 13. Действие электрического поля на движущийся электрон.

Если движущийся электрон попадает в электрическое поле и движется в направлении силовых линий, действие поля сказывается лишь на величине скорости, но не на направлении движения. Если же электрон попадает в поле со скоростью, направленной под некоторым углом α к направлению линий сил, изменению подвергается и величина и направление скорости, как это можно видеть из рис. 13. В случае ускоряющего поля угол между направлением движения

электрона и осью симметрии поля будет уменьшаться, при замедляющем поле — увеличиваться. Таким путем оказывается возможным делать электронный пучок сходящимся или расходящимся.

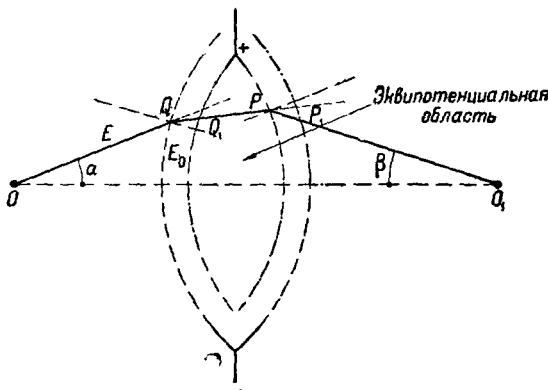


Рис. 14. Собирающая электрическая линза.

Описанное взаимодействие между движущимся электроном и электростатическим полем используется для устройства своего рода „линз“. На рис. 14 изображена собирающая электрическая линза, которая простым изменением полюсов может быть обращена в рассевающую.

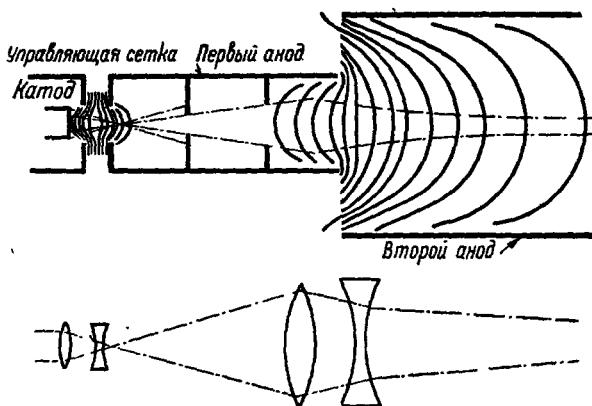


Рис. 15. Распределение электрического поля в электронном прожекторе.

Те же результаты могут быть получены при помощи поля, создаваемого разностью потенциалов между двумя цилиндрическими электродами или двумя диафрагмами. В обоих этих случаях поле будет заставлять электронный пучок приближаться к его оси, преодолевая естественное стремление электронов отталкиваться друг

от друга. Описанное действие аналогично фокусировке светового пучка оптическими линзами. Электрические линзы отличаются, однако, от оптических тем, что в них мы не имеем скачка коэффициента преломления на границе двух сред и коэффициент преломления меняется непрерывно вдоль всего поля. Путем надлежащего расположения электродов и подбора потенциалов всегда можно построить сложную электрическую линзу, эквивалентную системе собирающих или рассеивающих чечевиц.

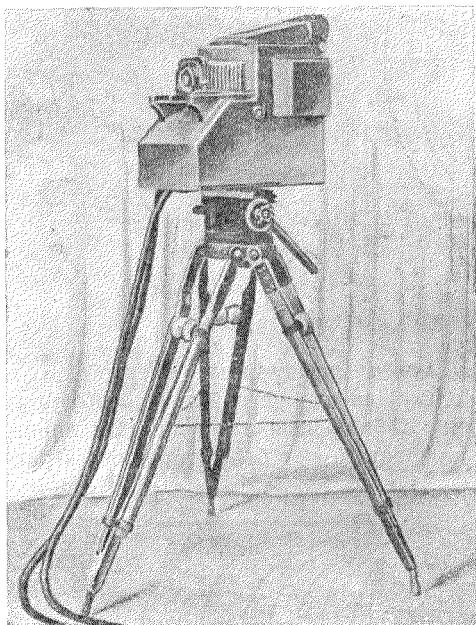


Рис. 16. Общий вид камеры иконоскопа.

металлизированным горлом колбы иконоскопа. Величина электронного пятна на мозаике определяется размерами эмитирующей поверхности катода и расстоянием между катодом, линзами и мозаикой.

Движения электронного пучка, необходимые для развертывания изображения, осуществляются при помощи переменных магнитных полей. Отклоняющие катушки располагаются на хомуте (рис. 5, б), надеваемом на горло иконоскопа. Развортывающие движения пучка прямолинейны и в вертикальном и в горизонтальном направлениях. Они происходят благодаря зубцеобразным импульсам тока, протекающего по катушкам, и генерируемым особыми ламповыми генераторами.

Из кривой распределения чувствительности по спектру, представленной на рис. 11, ясно, что иконоскоп может применяться как для передачи видимых изображений, так и картин для глаза невидимых, освещаемых ультрафиолетовым или инфракрасным

Распределение электрического поля в электронном прожекторе показано на рис. 15. В этом частном случае полное действие поля на пучок приблизительно таково же, как действие на световой луч системы из двух несимметричных линз, изображенных на том же рисунке. Первая линза направляет электроны через отверстие первого анода и обеспечивает регулировку интенсивности пучка с помощью управляющего электрода *G*. Окончательная фокусировка пучка на мозаике осуществляется в горной линзой, образованной полем между концом прожектора и

светом. Чувствительность иконоскопа в настоящее время приблизительно равна чувствительности кинопленки, работающей в тех же условиях, т. е. при той же скорости и с таким же объективом. Разрешающая способность иконоскопа оказывается больше, чем нужно для передачи изображения с 76 000 элементов. Некоторые из построенных приборов оказались пригодными для передачи на 500 линий и имеются все основания думать, что это еще не является пределом.

Поскольку иконоскоп не является громоздким, оказалось возможным построить весьма компактную камеру, содержащую его и два каскада усилителя. Эта камера соединяется с остальными каскадами и генераторами для развертки при помощи длинного кабеля. Благодаря портативности такого устройства иконоскоп может быть установлен в любом месте, представляющем интерес для телевизионной передачи. Общий вид камеры показан на рис. 16.

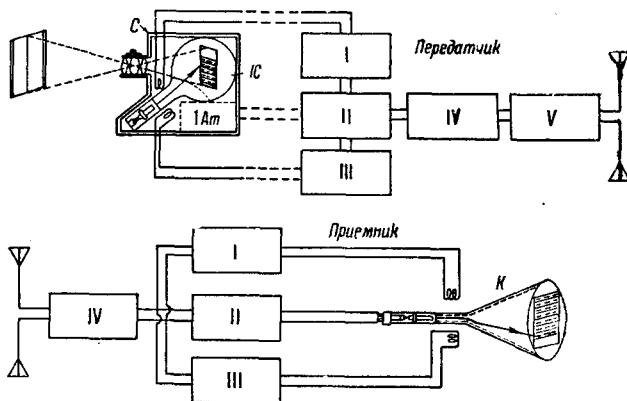


Рис. 17. Полная схема контуров приемника и передатчика.

Рис. 17 изображает полную схему контуров приемника и передатчика с указанием назначения отдельных частей и их взаимного расположения. Перечисляя по порядку, мы имеем для передачи из студии: камеру иконоскопа, усилитель сигналов картины и синхронизирующих сигналов, управляющее устройство, модулятор и радиопередатчик. Элементы телевизионного приемника суть: радиоприемник, кинескоп, приспособления для отклонения пучка в вертикальном и горизонтальном направлениях.

Название „кинескоп“ было присвоено катодному осциллографу, служащему для воспроизведения изображения, для того, чтобы отличить его от обычных приборов этого рода. Особый термин необходим, так как кинескоп имеет некоторые существенные отличия от обычного осциллографа, как, например, особое устройство для регулирования интенсивности электронного пучка. На рис. 18

можно видеть фотографию кинескопа, с экраном диаметром в 225 *мм*, позволяющего, таким образом, получать изображения, размером около 160×140 *мм*. Устройство электронного прожектора кинескопа в точности таково же, как и прожектора иконоскопа. Разница заключается лишь в рабочем режиме — прожектор кинескопа работает при более высоких напряжениях на втором аноде (4500 V).

Также как и в иконоскопе, электронный прожектор кинескопа располагается в длинном узком горле большой конической колбы, внутренняя поверхность которой серебрится или металлизируется каким-либо иным способом для того, чтобы служить вторым анодом. Назначение этого второго анода — ускорять электроны, вылетающие из прожектора, и образовывать поле, собирающее их в чрезвычайно узкий пучок.

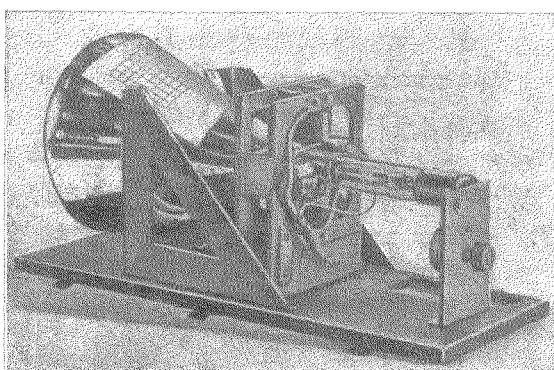


Рис. 18. Общий вид кинескопа.

Покинув первый анод, ускоренный и суженный пучок падает на флуоресцирующий экран, нанесенный на плоское дно конической части баллона кинескопа. Этот экран является преобразователем кинетической энергии электронов в световую энергию. Под действием пучка на экране образуется небольшое яркое пятно с сечением, приблизительно равным сечению пучка. Так как флуоресцирующий слой весьма тонок, значительная часть света проходит сквозь него и используется при рассматривании изображения.

Для воспроизведения яркости точек передаваемого объекта необходимо изменять интенсивность светового пятна на флуоресцирующем экране. Это осуществляется путем изменения интенсивности пучка (числа электронов) при посредстве управляющего электрода *G* (рис. 12) — электронного прожектора. Для правильного воспроизведения необходимо, чтобы интенсивность пучка была линейной функцией приходящих сигналов (импульсов напряжения). Кроме того, весьма существенно, чтобы при изменении интенсивности пучка резкость его фокусировки не уменьшалась. Наконец, последнее условие состоит в том, чтобы управление интенсивностью не

отражалось на скорости электронов пучка. Последнее необходимо ввиду того, что отклонение пучка обратно пропорционально его скорости, а потому изменения скорости поведут к искажению изображения, делая светлые штрихи короче, а темные — длиннее. Путем тщательной разработки конструкции удалось добиться того, что при изменении яркости пятна от нуля до максимальной, изменение скорости пучка оказывается столь ничтожным, что никаких искажений изображения заметить невозможно.

Характеристика кинескопа приведена на рис. 19. Из нее видно, что напряжение в 10 V достаточно для полной модуляции электронного пучка, т. е. для изменения яркости пятна от нуля до максимальной. Кривая дает соотношение между модулирующим напряжением, током на второй анод и соответствующей яркостью пятна. (Здесь необходимо указать, что величина тока, напряжения и яркости, указанные на рис. 19, имеют скорее иллюстративный характер, нежели относятся к определенному кинескопу.) Из рис. 20, пока-

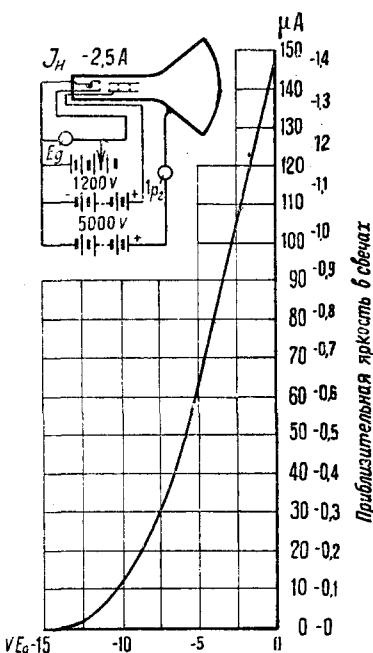


Рис. 19. Характеристика кинескопа.

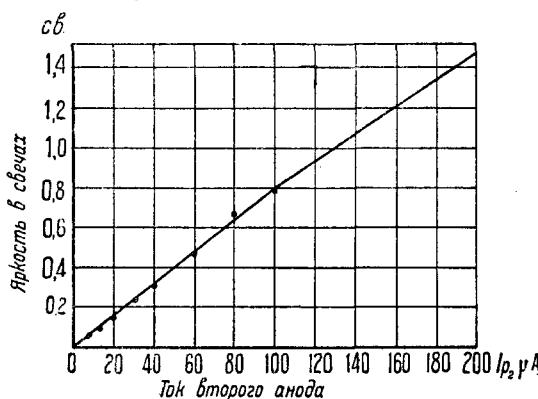


Рис. 20. Зависимость между током второго анода и яркостью пятна.

зывающего зависимости между током на второй анод и световой энергией, испускаемой флуоресцирующим экраном, легко усмотреть,

что между ними существует прямая пропорциональность. На основании этого мы можем заключить, что кинескоп будет правильно воспроизводить не только черно-белые изображения, но и изображения с полутоями.

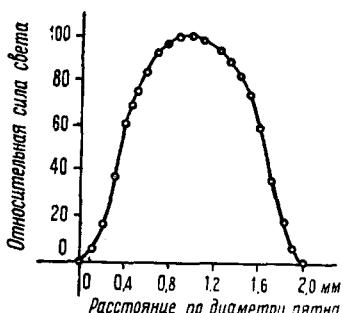


Рис. 21. Распределение яркости по диаметру пятна.

В качестве материала флуоресцирующего экрана служит синтетический орто-кремнекислый цинк, почти идентичный с натуральным виллемитом. Применение орто-кремнекислого цинка обусловлено

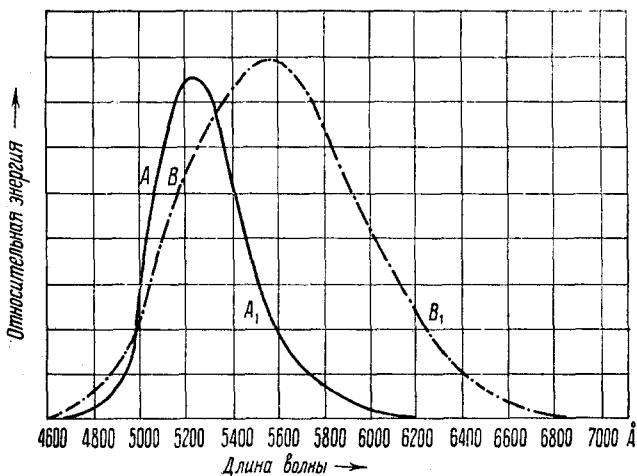


Рис. 22. Распределение энергии в спектре флуоресценции орто-кремнекислого цинка и кривая чувствительности глаза.

его сравнительно высоким коэффициентом полезного действия, малой световой инерцией, его сравнительной устойчивостью и сопротивляемостью „сгоранию“ под действием электронного пучка. Высокий к. п. д. этого материала объясняется тем, что излучение его под действием электронного пучка представляет собой узкую полосу

Если исследовать светящееся пятно на экране кинескопа, например, при помощи увеличенного фотографического снимка, легко заметить, что яркость его больше в центре и постепенно спадает к краям. Кривая распределения яркости по диаметру, снятая при помощи микрофотометра, показана на рис. 21. При движении пятна яркость его уменьшается пропорционально скорости движения. Края его, будучи менее яркими, исчезают быстрее, благодаря чему движущееся пятно кажется меньше неподвижного.

в зеленой части спектра. Максимум энергии приходится на 5230 Å, что весьма близко к максимуму кривой чувствительности глаза (5560 Å). В этом легко убедиться из рис. 22.

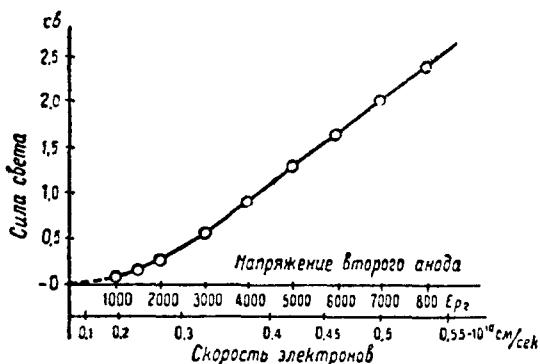


Рис. 23. Яркость светящегося пятна в зависимости от напряжения второго анода

Световой к. п. д. экрана из орто-кремнекислого цинка, если его выражать в люменах на ватт (считая, что максимальный теоретически возможный к.п.д. равен 690 lm/W), составляет от 1,8 до 2,7%.

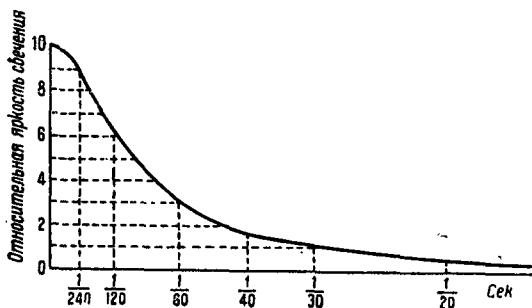


Рис. 24. Световая инерция орто-кремнекислого цинка.

На рис. 23 представлена кривая, выражающая яркость светящегося пятна на флуоресцирующем экране в функции напряжения второго анода. Зависимость яркости пятна от интенсивности пучка и напряжения второго анода может быть выражена формулой:

$$J = AQ(V - V_0)^2,$$

где J — яркость пятна в свечах, A — константа, зависящая от материала экрана, Q — интенсивность пучка в амперах на 1 см^2 , V — напряжение второго анода, V_0 — минимальное напряжение, необходимое для возбуждения флуоресценции данного вещества.

Рис. 24 иллюстрирует световую инерцию орто-кремнекислого

цинка. Кривая показывает, что примерно через 0,06 сек. после прекращения бомбардировки свечение можно считать практически несуществующим. Для передачи с частотой в 24 картины в секунду идеальный фосфор должен был бы иметь кривую затухания, спадающую до нуля в течение $1/24$ сек. Если время затухания слишком велико, движущиеся части картины будут „ползти“, подобно тому как на фотографии быстро движущийся мяч изображается в виде подобия кометы. При слишком быстром затухании появляется мелькание картины, возникающее вследствие того, что между двумя последовательными картинами имеются промежутки полной темноты.

Р А З В Е Р Т Ы В А И Е

Необходимость передавать картину отдельными импульсами вызывает потребность в ее „развертывании“, т. е. в „исследовании“ ее поверхности элемент за элементом в какой-либо последовательности. На „исследование“ каждого элемента может быть отпущенено столько времени, чтобы человеческий глаз по своему свойству сохранять зрительные впечатления воспринял всю картину как целое.

Один из простейших способов развертывания состоит в том, что световое пятно заставляют бегать по объекту вдоль ряда параллельных линий. Движение пятна может совершаться как в одном направлении, так и в обоих. Пример развертки последнего рода, примененной для телевидения, описан в одной из предыдущих статей*. Примером движения светового пятна в одном направлении может служить широко применяемая в телевидении развертка с помощью диска Нипкова.

В описываемой здесь системе движение развертывающего пучка происходит лишь в одном направлении и осуществляется путем отклонения электронного пучка магнитным полем. В кинескопе пучок описывает на экране последовательность равноотстоящих горизонтальных линий, свертывая изображение, начиная с верха и кончая низом, точно так же, как в передатчике было произведено его развертывание. После прохождения последней линии пучок перескакивает в начальное положение, чтобы начать новую картину.

Для осуществления развертывания и свертывания изображения этим способом создаются два переменных магнитных поля, действующих на пучок при выходе его из электронного прожектора. Поле, производящее отклонение в вертикальном направлении, пульсирует с частотой, равной числу картин, передаваемых в одну секунду. Число пульсаций горизонтально отклоняющего поля больше во столько раз, сколько линий содержит картина.

Для того чтобы пучок приемника следовал движениям пучка передатчика, кривым, выражющим зависимость напряженности обоих отклоняющих полей от времени, придается форма зубьев пилы, изо-

* В. К. Зворыкин, Телевидение с катодным осциллографом в качестве приемника, Radio Eng. IX, № 12, 37—41, 1929.

браженная на рис. 25. Каждый цикл изменения напряженности состоит из двух частей. Первая линейна относительно времени и длится практически в течение всего цикла. Вторая,—соответствующая возвращению пучка в исходное положение, составляет лишь ничтожную часть периода. Воспроизведение картины происходит в течение первой из этих частей периода благодаря изменению потенциала управляющего электрода прожектора в соответствии с яркостью точек изображения, спроектированного на мозаику, как это было указано выше.

Существует большое количество методов, с помощью которых можно получить зубцеобразные электрические импульсы. Простой способ описан в одной из предыдущих статей. Этот способ состоит в заряжении конденсатора через ограничивающее ток при способление, например работающий на насыщении диод, и затем — в разряжении конденсатора через термо-ионную или газовую лампу. Практическим препятствием к осуществлению такого „зубцеобразного“ генератора является то обстоятельство, что в действительности не существует таких вещей, как ток насыщения катодной лампы. Вследствие этого возрастание разности потенциалов между обкладками конденсатора не будет происходить строго линейно, а потому линия, получаемая на флуоресцирующем экране, не будет абсолютно прямой.

Для выпрямления линий и улучшения качества воспроизведения картины приходится пользоваться более сложным контуром, изображенным на рис. 26, включающим в себя динатронный осциллятор и две усилительные лампы. Конденсатор C в контуре горизонтального отклонения непрерывно заряжается через сопротивление R . Периодически, через заранее установленные интервалы, конденсатор разряжается. Емкость и зарядный ток подобраны таким образом, чтобы в течение времени зарядения не наступало насыщение емкости. Вакуумная трубка, через которую происходит разряд конденсатора, управляемая динатронным генератором, имеющим искаженную форму колебаний. Частота колебаний динатрона (могущая быть изменяемой в широких пределах) устанавливается приблизительно равной частоте развертки передатчика, благодаря чему принимаемые синхронизирующие сигналы легко приводят динатрон в такт с развертывающими движениями пучка передатчика. Разряжение и зарядение конденсатора C создает „зубцеобразные“ изменения потенциала, которые подаются на сетку усилительной лампы и вызывают в ее анодной цепи с включенными в нее отклоняющими катушками такие же зубцеобразные колебания тока.

Контур, создающий отклонение пучка в вертикальном направ-

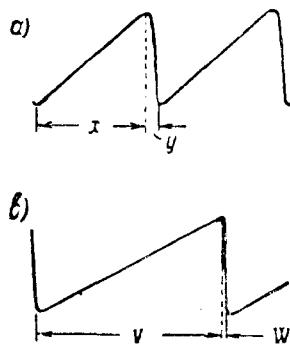


Рис. 25. Зависимость напряженности отклоняющих полей от времени.

влении, совершенно подобен только что описанному, за исключением, конечно, его параметров. Обе отклоняющие системы дей-

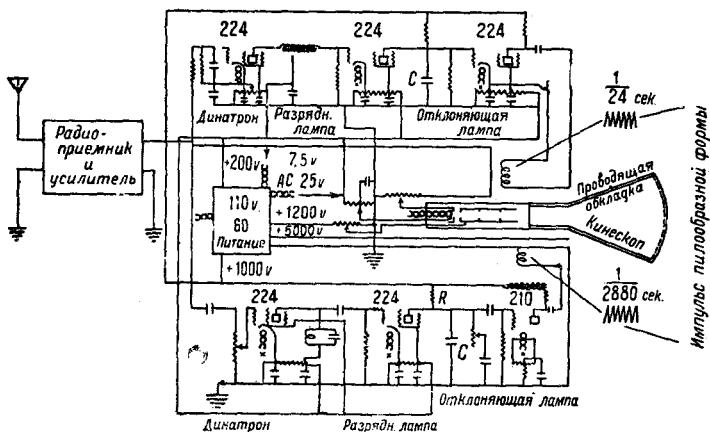


Рис. 26. Контур генератора зубцеобразных отклоняющих импульсов.

ствуют на пучок при помощи магнитных полей, возникающих в катушках, расположенных вокруг горла кинескопа.

Предпочтение, оказанное магнитному отклонению перед электрическим, обусловлено, главным образом, соображениями экономии. Изготовление кинескопа с магнитным отклонением значительно дешевле. Зато приспособления для магнитного отклонения — дорого-

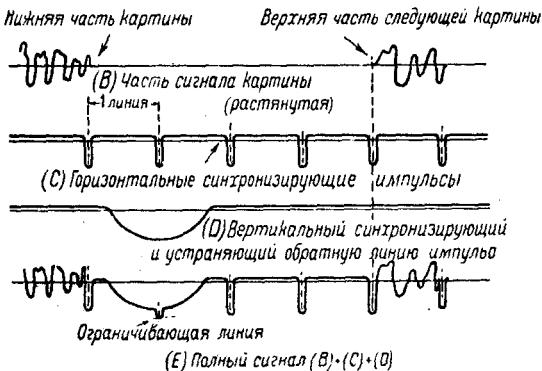


Рис. 27. Сигналы, поступающие в приемник.

ги в изготовлении и расходуют при работе значительно большую мощность. Преобладание того или другого фактора зависит, главным образом, от того, какова частота отклонения и скорость пучка,

Синхронизация

Когда оба отклоняющие контура отрегулированы надлежащим образом и синхронизированы с передатчиком, на флуоресцирующем экране появляется ряд параллельных линий, резкость которых и совершенство синхронизации в значительной мере определяют качество воспроизводимой картины. Эти линии превращаются в изображение путем наложения сигнальных импульсов картины на

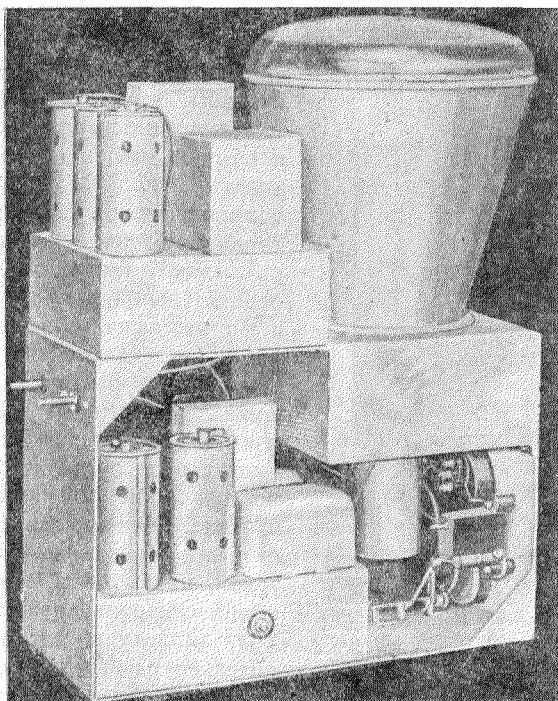


Рис. 28. Часть приемного устройства с кинескопом.

управляющий электрод прожектора кинескопа, чем достигается изменение яркости пятна на флуоресцирующем экране в соответствии с яркостью точек изображения на мозаике.

Для посылки синхронизирующих сигналов приемнику импульсы отклоняющего генератора иконоскопа подаются на усилитель и затем модулируют передатчик совместно с сигналами картины, передаваясь, таким образом, по одному каналу с последними. Они не мешают передаче картины, так как передаются в моменты, когда ее нет. Синхронизация в вертикальном направлении осуществляется таким же способом, причем сигналы передаются по окончании каждой картины.

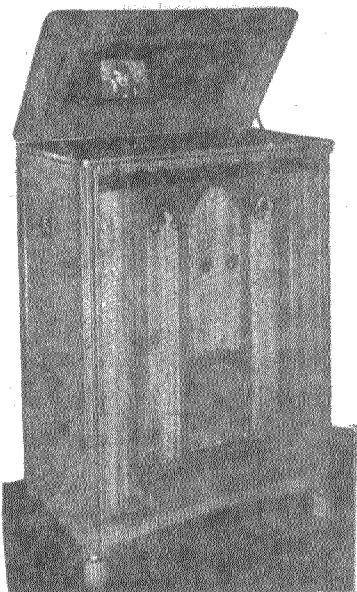
Применение системы синхронизации, при которой пучок приемника приводится в такт с передающим по окончании каждой горизонтальной линии, имеет значительные достоинства в том отношении, что всякие мгновенные помехи статического характера не оказывают заметного влияния на передачу.

Мы видели, что радиопередатчик модулируется сигналами картины, а также сигналами вертикальной и горизонтальной синхронизации. Поэтому сигналы, поступающие в приемник, являются

сложными и имеют вид, изображенный на рис. 27, где верхняя кривая представляет собой имеющие неправильную форму сигналы картины, весьма часто несимметричные относительно оси, временем и обычно имеющие большие ординаты в положительную сторону оси напряжений. Обе системы синхронизирующих сигналов, наоборот, дают импульсы в сторону отрицательной полусоси. Различие в форме импульсов горизонтальной и вертикальной синхронизации обусловлено различием в их продолжительности и используется для разделения их. Все три указанных рода сигналов различаются между собой по частоте и амплитуде. Максимальная амплитуда сигналов картины подбирается такой, чтобы быть меньше, чем у обоих синхронизирующих импульсов, амплитуды которых приблизительно равны друг другу.

Разделение трех родов сигналов осуществляется в приемнике

Рис. 29. Общий вид приемного устройства.



нике весьма простым способом, подробно описанным в другой статье. Здесь, поэтому, будут указаны лишь основные моменты. Если, пользуясь рис. 17, проследить путь сигналов в приемнике, мы увидим, что, пройдя антенну и усилитель, они попадают в три независимые контуры: контур вертикального отклонения, контур горизонтального отклонения и контур кинескопа. Синхронизирующие импульсы не действуют на кинескоп, так как передаются в моменты, когда происходит обратное движение пучка. Сигналы картины не действуют на контуры отклонений, потому что их амплитуда выбирается достаточно малой для того, чтобы они не могли привести в действие входные лампы контуров отклонений. Разделение сигналов отклонений друг от друга основывается на различии в форме тех и других импульсов. Для этого во входных

цепях обоих контуров поставлены фильтры, вполне удовлетворительно осуществляющие выделение нужных сигналов. Кроме того, анодные цепи обоих динатронов содержат контуры, настроенные



Рис. 30. Фотография экрана кинескопа при передаче картины рис. 2.

приблизительно в резонанс с рабочими периодами соответствующих отклоняющих контуров, что еще более повышает селективность.

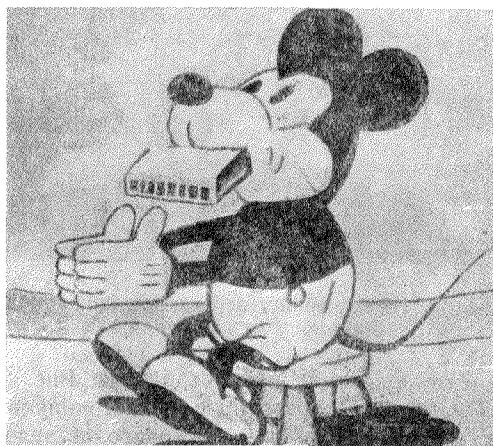


Рис. 31. Фотография экрана кинескопа при передаче картины рис. 3.

При возвращении пучка в положение, из которого он отправляется для вычерчивания новой линии, и с низа картины для того, чтобы начать следующую, на флуоресцирующем экране появляется

светлая линия, так называемая „линия возвращения“. Во избежание ее появления синхронизирующие импульсы, имеющие, как было указано, направление, обратное направлению импульсов картины, подаются на управляющий электрод кинескопа. Они заряжают его отрицательно и этим гасят пучок на время его возвращения.

Для воспроизведения картины интенсивность свечения флуоресцирующего экрана изменяется сигналами картины, накладываемыми на управляющий электрод прожектора кинескопа. Если смещающее напряжение на этом электроде выбрано по характеристике кинескопа (рис. 19) таким, чтобы получать наибольшую амплитуду колебания интенсивности свечения экрана, изображение будет обладать максимальной контрастностью. Яркость фона картины, или, что то же — ее среднее освещение, может быть регулируемо путем подбора смещающего напряжения на управляющем электроде кинескопа.

ВОСПРОИЗВОДЯЩАЯ АППАРАТУРА

Оформление телевизионного приемника показано на рис. 28 и 29. Первый из них — фотография части аппаратуры, заключаю-



Рис. 32. Изображение, переданное при помощи иконоскопа из студии.

щей кинескоп и отклоняющие приспособления. Рис. 29 изображает всю приемную установку, состоящую из источников питания, кинескопа, двух радиоприемников — звукового и телевизионного и громкоговорителя. Воспроизводимая картина рассматривается в зеркале, смонтированном на внутренней стороне крышки приемника. Этим, с одной стороны, достигается более подходящий угол зрения, а с другой — крышка закрывает посторонний свет и изображение оказывается возможным рассматривать без полного затемнения помещения. Отсутствие движущихся механических частей делает приемник спокойным в работе.

Следующие рисунки иллюстрируют результаты, получаемые при помощи описываемой системы телевидения Рис. 30 и 31 — фотографии флуоресцирующего экрана при передаче тех же картин, что изображены на рис. 2 и 3. Рис. 32 и 33 — изображения, переданные при помощи иконоскопа из студии и на открытом воздухе.

Дальнейшее развитие приборов с такими возможностями, какие заложены в кинескопе и иконоскопе, открывает перед высококачественным телевидением новые горизонты. Помимо телевидения в обычном смысле, иконоскоп ожидает большое будущее в роли искусственного глаза для наблюдения явлений, от нас до сих пор совершенно скрытых, как, например, в случае ультрамикроскопии.

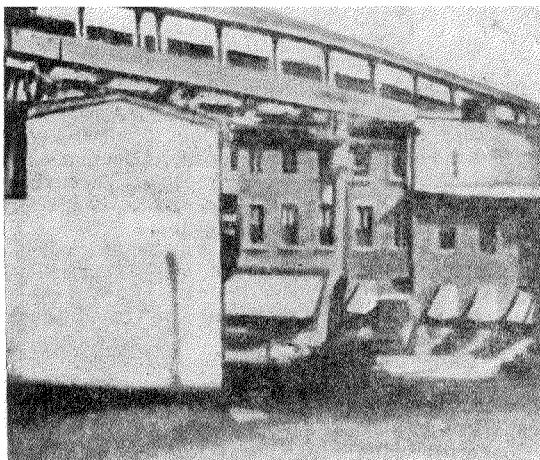


Рис. 33. Изображение, переданное иконоскопом
при естественном освещении

чественным телевидением новые горизонты. Помимо телевидения в обычном смысле, иконоскоп ожидает большое будущее в роли искусственного глаза для наблюдения явлений, от нас до сих пор совершенно скрытых, как, например, в случае ультрамикроскопии.