

УСПЕХИ ПЕРЕДАЧИ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА РАССТОЯНИЕ ¹⁾.

Ф. Шрётер.

Сущность и возможности применения телеграфной передачи изображений предполагаются здесь известными ²⁾. Так как, при наивысшем использовании всех кабельных линий и всей области эфирных волн, для каждой передачи принципиально предоставляется лишь один провод и одна несущая частота, то вся будущая телеграфная передача изображений связана со следующей схемой: передатчик и приемник обладают частями, движущимися синхронно и с одинаковыми фазами; по большей части это барабаны, вращающиеся и передвигающиеся по оси, для съемки и воспроизведения передаваемого изображения точка за точкой. Переходу ряда пространственных темных и светлых элементов поверхности во временные колебания тока передатчика, в приемнике соответствует обратный переход изменений тока в световые тона. Последние, вследствие синхронизма, получают координаты, соответствующие сопряженным элементам передаваемого изображения.

Различные методы.

Существенно различаются три способа съемки: 1) контактный, 2) рельефный и 3) осветительный (фототелеграфия). Первый способ пригоден только для черно-белых изображений и основывается на переводе световых колебаний оригинального изображения в колебания тока, что простейшим образом получается копированием изолирующей массой на проводящей поверхности (Bakewell, Caselli, Korn, Dieckmann и др.). Эта поверхность постепенно наводится скользящим по ней контактным штифтом.

Оба другие способа применимы как для черно-белых, так и для окрашенных изображений. При втором способе применяют рельеф, соответствующий переходам тонов оригинального изображения, по которому (рельефу) проводится микрофонный рычажный контакт, преобра-

¹⁾ V. D. I 70, № 22, p. 725, 1926.

²⁾ См., напр., статью А. Корна. Усп. Физ. Наук. Т. V, вып. 6, 1925. *Ред.*

зующий изменения нажима в колебания тока. При третьем способе, разработанном в 1904 г. Корном, в форме его „селенового передатчика“ получается наименьшая инерция; при этом способе, по изображению воспроизведенному на прозрачном диапозитиве постепенно проводят острым концом светового конуса. Лучи проникающие сквозь рисунок, в зависимости от степени его зачерненности, попадают на селеновый элемент, сопротивление которого меняется, смотря по степени освещения. Этот способ возбуждения тока передатчика был впоследствии улучшен (Розенталь) заменой селена фотоэлементом (Эльстер и Гейтель). При этом было доказано, что схемы, употреблявшиеся для компенсации инерции селена (Корн), не годятся при скоростях съемки выше известного предела.

Фотоэлементы, наполненные газом¹⁾, применяемые для получения разрядного тока достаточной силы, также не вполне свободны от инерции, в физическом смысле слова. Однако в пределах практически встречающихся частот ($> 100\,000$ периодов — верхняя граница телеграфной передачи изображений) их можно рассматривать как преобразователи энергии, у которых изменения тока следуют за изменениями силы света без заметного запаздывания. Новейшие способы передачи (Bell Telephone Company, Telefunken-Carolus, Jenkins, Freund и др.) пользуются поэтому все фотоэлементами. Для приемника почти без исключений введено фотографическое воспроизведение изображений посредством подвижного светового пятна, яркость которого регулируется, при помощи релэ, колебаниями проходящего тока.

В течение последних двух лет на практике введена телеграфная передача изображений по пупинизированным проводам (телефонные кабели). Например, в Сев.-Американских Соединенных Штатах на линии протяжением свыше 1000 километров по способу Bell Telephone Company (съемка посредством фотоэлемента, вариирование света в приемнике посредством особого типа струнного гальванометра); затем между Парижем и Страсбургом, а также Лионом и Марселем по рельефному способу Белэна (приемником, записывающим свет, служит электродинамически вращающееся зеркальце). Наиболее целесообразным способом передачи оказалось, в кабельной связи, при способе Bell Telephone Company, применение несущей волны в 1400 периодов, на которую налагается модуляция тока распределения яркости. Поверхность 13×18 см при растровой сетке в $\frac{1}{3}$ мм, соответствующей элементу изображения $\frac{1}{2}$ мм², передается в течение 5—7 минут. Метод Белэна применяет более тонкую сетку, соответствующую приблизительно $\frac{1}{25}$ мм² и потому требует больше времени. Четкость его изображений выдающаяся.

¹⁾ Высоковакуумные элементы этого рода обладают чистой характеристикой пространственного заряда и дают лишь незначительный ток.

При подобной телеграфной передаче изображений по проводам, с практически свободными от инерции, аппаратами, скорость передачи определяется и ограничивается степенью пупинизации, которая по большей части соответствует нуждам удовлетворительной телефонной передачи. Если обозначить ширину передаваемого изображения в мм через b , длину его — l , ширину растры изображения — r и наивысшую хорошо проводимую проводом частоту — n , то при благоприятных условиях время, потребное для передачи, выразится:

$$T = a \frac{bl}{120 nr^2} \text{ минут,}$$

где коэффициент a может колебаться от 1,5 до 3, в зависимости от применяемого типа передатчика и схемы передачи. Он тем больше, чем выше требования, предъявляемые к четкости штриха и тонкости изображения. Скорость съемки и размеры световой точки на поверхности передаваемого изображения подбирается соответственно значению T и n ¹⁾.

Исследуя полученные до сих пор практические результаты, мы обнаруживаем, что сроки передачи, данные Корном, Bell Telephone Company и другими, довольно близко подходят к границам, достижимым в телефонии по нормально пупинизированным проводам. Имеющие при этом место наивысшие скорости модуляции, вытекающие из требования, чтобы прерывистые изменения световых тонов не передавались бы постепенными переходами от одного элемента изображения к другому, т.-е. чтобы можно было явственно воспроизводить тонкие штрихи, удовлетворительно осуществляются вышеназванными фототелеграфными приборами (струнный гальванометр или осциллограф). Необходимость искать нового светового релэ для передачи модуляционных частот высших, чем 1000—1500 пер. имела место при телеграфной передаче изображений по телефонным кабелям, только постольку, поскольку имелись слегка пупинизированные, хорошо пропускающие > 3 000 пер. участки. Иногда подобный случай представляется в так называемых четырех-жильных кабелях.

Всегда представляется необходимым совершенно независимо от вопроса о динамической инерции, устранить присущую электромеханическим записывателям света чувствительность к влиянию сотрясений, а также сделать незаметными их собственные колебания и изменение нулевого положения. С этой точки зрения введенная Каролюсом форма элементов Керра для регулирования яркости света в приемнике представляет шаг вперед для всякого рода передачи изображений, независимо от меры времени и способа передачи: кабель, воздушный провод,

¹⁾ Ср. с дальнейшими выводами о влиянии размеров светового пятна на искажение высоких частот.

эфир. Их главные преимущества объясняются еще и другими соображениями.

В силу экономических причин, телеграфная передача изображений не может состоять только из посылок фотографий и других изображений для личных или общественных целей (иллюстрации, карты погоды, подписи, чеки, отпечатки пальцев и т. п.). Весьма незначительное до сих пор обращение на упомянутых французских линиях подкрепляет это соображение. Экономическое основание и даже исключительное значение обмена известиями на больших расстояниях проявится, если способ образной (картинной) передачи письма выступит конкурентом скородействующей телеграфии (скородействующий Морзе, скородействующие печатающие аппараты) по производительности и точности.

Но это—вопрос, главным образом, повышения достижимой скорости, и с этой точки зрения фирмой Телефункен совместно с Каролюсом разработана беспроволочная телеграфная передача изображений, как род быстродействующей телеграфии. Чтобы удовлетворять этим условиям, телеграфная передача изображений должна быть в состоянии передавать в наивысшем случае около 1000 букв—200 слов в минуту. Для воспроизведения телеграфным путем подобного числа знаков совершенно отчетливо на заданной поверхности необходимо передать и снова воспроизвести в приемнике по меньшей мере 200000—250000 элементов изображения независимо от их абсолютной величины¹⁾. При этом может случиться, что при последовательной съемке изображения, черное и белое сменяются от элемента к элементу, например, при штрихе шириной в один элемент. Отсюда вычисляют, что наивысшая частота точек изображения, передаваемая передатчиком, пропускаемая данным проводом и воспроизводимая приемным световым релэ, равная при 200 словах в минуту 2000—2500 периодов в сек. При повышении скорости передачи, что возможно только при беспроволочной или высокочастотной телеграфии на проводах, — соответственно возрастают наивысшие частоты модуляции передатчика.

Передача модуляционных частот заданного порядка осуществляется в беспроволочной телефонии (широковещании) вследствие того, что разговорные или музыкальные колебания достигают своими верхними, столь существенными для тембра звука колебаниями, нескольких тысяч периодов. Примененные преобразователи энергии — микрофон и телефон — должны быть настолько свободны от инерции, чтобы удовлетворять требованию преобразовывать частоты с сохранением амплитуды. Как показывают успехи последних лет, применение свободных от массы или обремененных незначительной массой колеблющихся частей (ленточный микрофон, конденсаторный микрофон, катодофон, ленточный

¹⁾ При этом подразумевается, что площадь „нормально“ используется, т. е. покрыта знаками с нормальной густотой.

громкоговоритель), представляет большие преимущества перед приборами с массивными мембранами. Совершенно естественно, что и в телеграфной передаче изображений при высоких модуляционных частотах, в виду дальнейшего повышения скорости, перешли к безинерционной системе передатчика и приемника. При этом методе, развитым Каролюсом совместно с фирмой Телефункен, последовательно проводится принцип свободного от массы преобразователя энергии.

ФОТОЭЛЕМЕНТЫ.

Как упомянуто выше, фотоэлементы уже давно заняли место селеновых элементов. Задачей развития светового метода съемки для быстродействующей телеграфной передачи изображений является создание особенно чувствительных фотоэлементов и возможность передавать изображение помощью отраженного света. Применяемый до сих пор метод просвечивания прозрачного изображения оказался на практике слишком затруднительным. Однако попытка использовать для передачи непосредственно черно-белое или полутонное изображение, пользуясь разной интенсивностью в отраженном свете, удалась впервые, когда была создана совершенно новая система фотоэлемента. Послед-

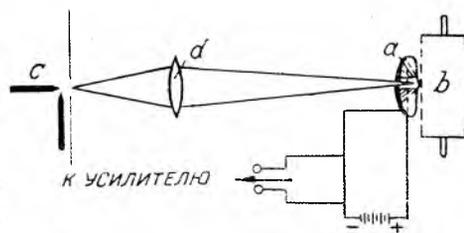


Рис. 1. Ход лучей при применении кольцеобразного элемента. *a.* Фотоэлемент. *b.* Барабан. *c.* Дуговая лампа. *d.* Линза.

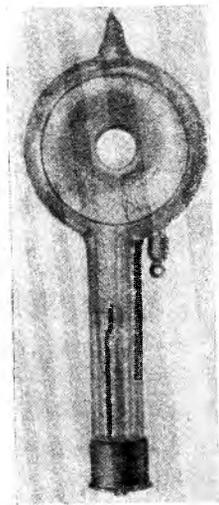


Рис. 2. Кольцеобразный фотоэлемент.

ний изображен на рис. 1 в виде кольца у него имеется осевое отверстие, через которое проходит острый световой конус, возбуждаемый сильным источником света. Падая по выходе на накрутое на барабан передаваемое изображение, он отражается от его светлых мест ярче, от темных—слабее, после чего падает на фотоактивную калиевую поверхность. Конус отброшенного назад рассеянного света представлен на рис. 1 заштрихованным. Он почти полностью используется фотоэлементом, передняя сторона которого должна совсем близко подходить к барабану. При этом удается достигнуть такой же чувствительности, как и посредством просвечивания и не требуется усиления фототока для возбуждения передатчика. Вид кольцеобразного фотоэлемента, разработанный детально Шривером и Рихтером в лаборатории фирмы Телефункен, представлен на рис. 2. Его характе-

ристки, снятые для различных задаваемых напряжений, наглядно выявляют отношение между экспозицией и током элемента (см. рис. 3). При незначительных задаваемых напряжениях не обнаруживается еще никакой ионизации, кривые при этом показывают прямолинейную зависимость между количеством падающего света и фото-электрическим

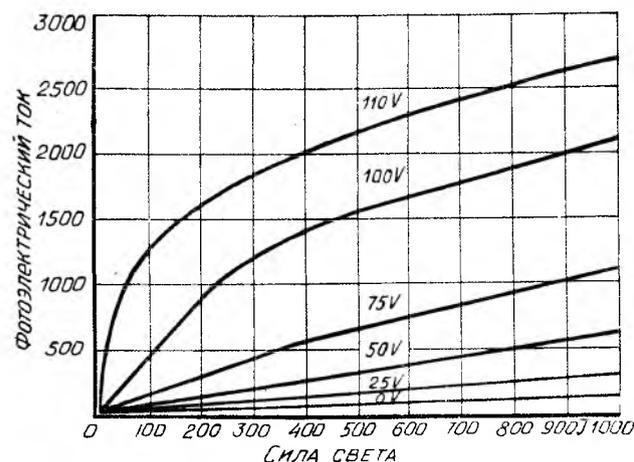


Рис. 3. Характеристики фотоэлемента.

током. Возникающая при высших задаваемых напряжениях положительная ионизация оказывает влияние на форму кривых. Одновременно есть опасность возникновения тихого разряда, не регулируемого светом. Чтобы при наивысшем использовании чувствительности элемента посредством повышения ускоряющего электроны напряжения предотвратить появление тихого разряда, подбирают сетчатые собирательные электроды таких размеров, чтобы они простирались вдоль всей калиевой поверхности. Поле тогда будет весьма равномерно, и пространственная плотность возникающих в области анода положительных частиц весьма незначительна. Таким образом, при передаче черно-белых изображений, с колебанием амплитуды высокой частоты только между нулем и наивысшим значением, — где не требуется передачи промежуточной яркости, — была достигнута возможность работать токами элементов порядка 1 мА. Последние возбуждаются посредством света и прерываются без заметного запаздывания. Границы инерции фотоэлемента Телефункен лежат много выше 100 000 периодов, несмотря на относительно высокое газовое давление.

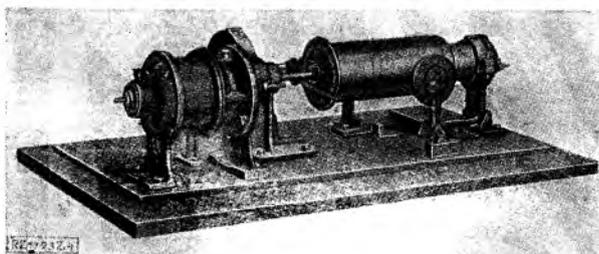


Рис. 4. Передатчик изображения системы Телефункен Каролус, первый пробный аппарат.

Рис. 4 и 5 изображают пробную модель телеграфного передатчика изображений, применявшуюся для производившихся позднее передач.

Можно различить приводимый в движение синхронным мотором посыльный барабан и на переднем плане оптический прибор для съемки. Поперечное сечение применявшегося для этого светового конуса доходит лишь до $\frac{1}{25}$ мм² в том месте, где он своим острием касается изображения. Такая тонкость требуется для четкой передачи мелкого

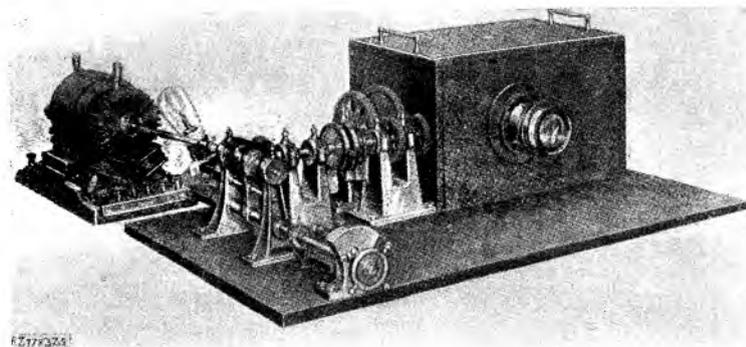


Рис. 5. Передатчик телеграфных изображений, системы Телефункен-Каролюс, вторая модель.

письма или обычного журнального шрифта. Включение передатчика для беспроводной телеграфной передачи изображений представлено на рис. 6. Ток элемента усиливается посредством катодного усилителя с сопротивлениями и подводится к модуляционной лампе генератора с независимым возбуждением. Подобная схема применяется фирмой Телефункен весьма успешно для радиопередачи. Беспроводный телеграфный передатчик изображений есть род радиотелефонного передатчика, как обнаруживается вышеприведенным сравнением, и не содержит ничего нового с точки зрения радиотехники.

Схема приемника изображена на рис. 7.

Усиление высоких частот при этом опущено, как несущественный элемент. Принятые антенной приемника высокочастотные колебания демодулируются детектором. Низкочастотные колебания усиливаются усилителем с сопротивлениями, пока полученные амплитуды напряжения не окажутся

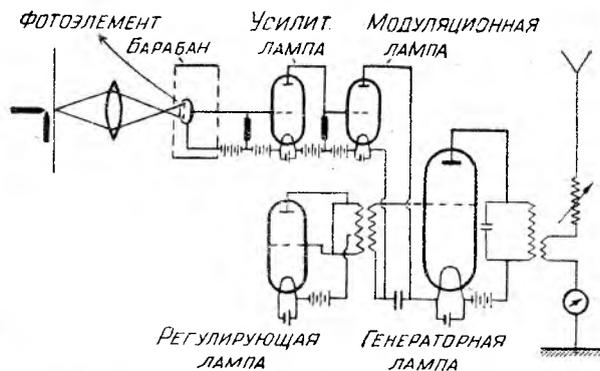


Рис. 6. Принципиальная схема передатчика радио-телеграфных изображений.

достаточными для возбуждения элементов Каролюса, служащих световыми релэ. Фотографический пишущий аппарат и различимый на переднем плане элемент Каролюса изображен на рис. 8 и 9. Видны синхронные моторы, подобные моторам передатчика, и соответственный барабан для фотографического фильма. Последний обычно пробегает в темном пространстве, защищенном от мешающего света;

на нее падают только лучи переменной яркости, возбуждаемые токами приемника.

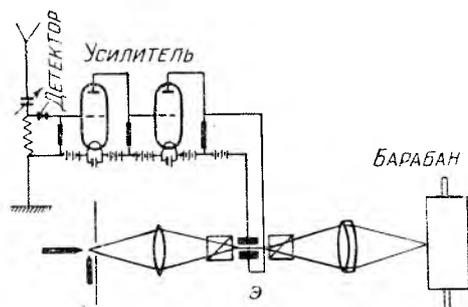


Рис. 7. Принципиальная схема приемника радио-телеграфных изображений. Э — элемент Керра.

ные гальванометры, осциллографные установки, зеркала, приводимые в движение электромагнитным путем и т. п. Упомянутые в начале релэ с массивными частями, приводимыми в движение электричеством, не успевают следовать за высокими частотами применяемыми при беспроводной передаче рукописных знаков в форме факсимилэ. Световозбудительная установка Корна, основанная на принципе струнного гальванометра Эйнтховена, имеет пределом частоту приблизительно 2000 периодов.

Хотя Корн указал, что с ее помощью можно достигнуть значительно более высоких частот, но практическая применимость подобных релэ ненадежна.

Во всяком случае, работоспособность при частотах свыше 2000

периодов получается за счет соответственно более высокого, необычного в усилительной технике, расхода тока. Световое релэ осциллографа (Петерсен, фон-Михали) может работать при упомянутых частотах, согласно опыту измерительной техники, также только при высоком расходе тока. Невыгодно также незначительное использо-

ЭЛЕМЕНТ КАРОЛЮСА.

Здесь идет речь о наиболее существенном звене общей цепи передачи, которому прежде всего обязаны успехи повышения быстроты телеграфной передачи изображений. Элемент Каролюса дает возможность отказаться от электромеханических релэ, будут ли это струн-

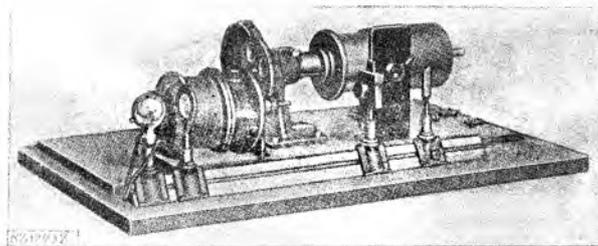


Рис. 8. Приемник изображений, первый пробный аппарат.

вание источника света вследствие требующихся малых размеров зеркала и необходимости применять наборы линз с большими фокусными расстояниями; кроме того, все эти приспособления проявляют уже упомянутую неустойчивость. Свободны от нее, возбуждаемые без движения массивных частей, газовые разряды, которые можно использовать в виде ламп с тихим разрядом или трубок с положительным столбом в качестве источника света. До сих пор не удалось создать газовой лампы с большой силой света, работающей с достаточно малым расходом, при скорости фильма, приблизительно $1,5\text{--}3$ м/сек, требующейся при скоростной телеграфии. Ультрavioletная лампа

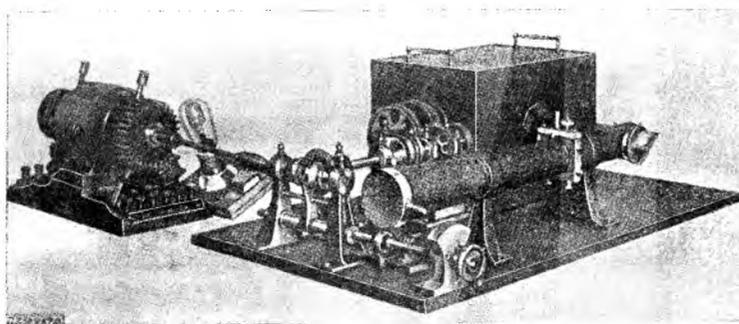


Рис. 9. Приемник телеграфных изображений, системы Телефункен-Карлоус, вторая модель.

(Фогт Энгль, Массолле), использующая отрицательный катодный свет, при скорости $0,5$ м/сек берет для зачернения фильма, приблизительно, $10\text{--}15$ Вт и несколько сот вольт напряжения. Это ведет к неудобным отношениям при приеме различных скоростей. В виду всех этих недостатков современных световых релэ, Карлоус планомерно исследовал магнитно-оптические и электро-оптические явления в поляризованном свете, сами по себе свободные от инерции благодаря отсутствию механических ускорений. При этом он обнаружил, что электростатический эффект Керра — двойное преломление в поле конденсатора — всего более подходит для изготовления светового релэ.

Применяя вещество, имеющее электрическое двойное преломление, например, сернистый углерод или, лучше, нитробензол, в качестве прозрачного диэлектрика между пластинками конденсатора, обнаружим, что луч, поляризованный под углом в 45° относительно направления поля, расщепляется на две равных составляющих — перпендикулярную и параллельную полю. Последние выходят с разностью фаз, зависящей от приложенного напряжения и проходного между пластинками пути, и потому могут интерферировать в плоскости пропускания поляризационной призмы. Если обе призмы (никили) скрещены под углом 90° , то поле зрения без напряжения окажется темным,

но оно освещается с увеличением потенциала обкладок. Можно, разумеется, работать и при параллельном положении никелей и тогда электрическое поле, возрастая, гасит свет.

Уже в 1890 году Сёттон советовал применять этот открытый в 1875 году эффект для телеграфного видения по проводам. Однако, это казалось невыполнимым, до начала работ Каролюса, так как эффект Керра требовал высоких напряжений. С 1911 г. техника усилительных ламп представила возможность достигнуть чрезвычайно высоких амплитуд, исходя из малых напряжений, имеющих место при беспроводном приеме или приеме на проводах дальнего протяжения. Все же при одном этом условии невозможно осуществить регулирование яркости света на основе эффекта Керра. Только Каролюс нашел те условия работы, при которых получается чрезвычайно сильное воздействие на яркость, связав усилитель напряжения с элементом Керра. Примененное Каролюсом постоянное напряжение, приложенное к электродам конденсатора, поддерживает нитробензол, выдающийся своей высокой константой Керра, в состоянии такой высокой изолирующей способности и таких незначительных диэлектрических потерь даже при очень высоких частотах, что практически возбуждение производится уже без затраты работы. При этом удалось настолько уменьшить расстояние электродов (без оптического ущерба), что потребные высокие силы поля получались посредством относительно слабых напряжений.

Для телеграфной передачи изображений при скорости фильма около 3 м/сек работа идет, согласно Каролюсу, при расстоянии электродов Керра, приблизительно, 0,2 мм с постоянным, предварительным напряжением 200—400 V и наложенной амплитудой возбуждения 100—200 V. Так как эффект Керра, по уравнению

$$\delta\lambda = BF^2l,$$

(где $\delta\lambda$ — разность ходов обоих составляющих лучей, выраженная в мм, B — константа Керра, F — сила электрического поля в V/cm, l — длина пути света в поле выраженная в см), возрастает пропорционально квадрату силы поля, то можно слабым повышением F уравновесить значительное укорочение l и, таким образом, значительно уменьшить светопоглощающий слой нитробензола. В элементах Каролюса новой системы работа идет при длине пути света лишь несколько мм, и потери на абсорбцию равны лишь нескольким сотым долям входящего света. Этим способ Каролюса чрезвычайно благоприятно отличается от способов, применяющих эффект Фарадея. [Вращение плоскости поляризации в магнитном поле¹⁾].

¹⁾ На эффекте Фарадея основано, например, реле Айгнера. Jahrbuch d. drahtlosen Telegraphie u. Telephonie Bd. 21 (1923), стр. 101. Уже раньше этот эффект неоднократно предлагался для передачи изображений.

Так как эффект Керра возрастает пропорционально F^2 , то можно возбудить чувствительность элемента Каролюса до высокого значения помощью добавочного напряжения постоянного тока. Здесь также заключается весьма существенная разница сравнительно с эффектом Фарадея. При последнем угол вращения плоскости поляризации пропорционален силе магнитного поля H . Предварительное намагничивание не меняет величины вращения, вызываемого определенным ΔH , соответственно возрастанию возбуждающего тока ΔI . Напротив, при эффекте Керра, возрастание на ΔV напряжения V , возбуждающего силу поля, дает прирост поляризации пропорциональный:

$$(V + \Delta V)^2 - V^2 \approx 2V \cdot \Delta V.$$

Следовательно, действие возбуждения пропорционально произведению ΔV и добавочного напряжения V постоянного тока. Строго говоря, это имеет значение для одноцветного света. В действительности явление более запутано, так как соответствующее заданному V возбуждение при обычно применяемом белом свете различно для волн различной длины. Усиливающие или ослабляющие яркость разности фаз, соответствующие половине длины волны, получаютс я сначала для света с короткими волнами, а потом для света с длинными. Если свет должен действовать на светочувствительный слой, то получается, главным образом, возбуждение голубыми и фиолетовыми лучами (хроматическое возбуждение).

Рис. 10 и 11 изображают элемент Керра для телеграфной передачи изображений, согласно Каролюсу. В металлическом резервуаре со стеклянным окошком помещается нитробензол в качестве прозрачного диэлектрика между параллельными электродами конденсатора, образующими оптическую щель. Верхний электрод вставляется с помощью изолирующего стержня слоновой кости; нижний соединен с металлом резервуара. Перед входением свет проходит сквозь поляризатор, по выходе — сквозь анализатор. Оба они прикрепляются непосредственно спереди и сзади металлического резервуара.

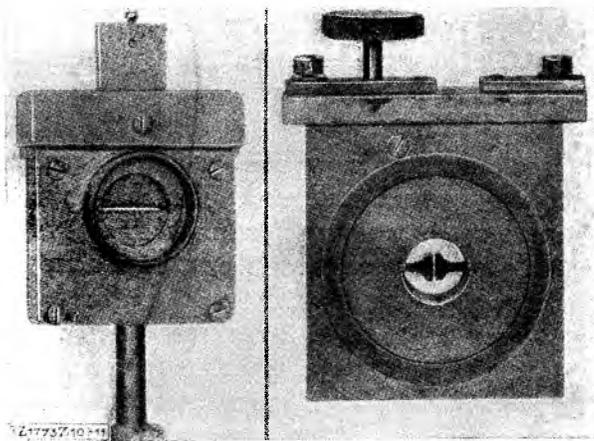


Рис. 10 и 11. Элемент Керра для передачи изображений по Каролюсу.

Рис. 12 изображает кривую возбуждения элемента Каролюса при белом свете. Сила света определяется поставленным сзади фотоэлементом, ток которого при остающемся постоянном подведенном напряжении измеряется гальванометром. При полутонных изображениях нужно вычислить предварительное напряжение таким образом, чтобы поддерживать возбуждение на средней, почти прямолинейной части кривой. При перевозбуждении, разумеется, происходит затухание

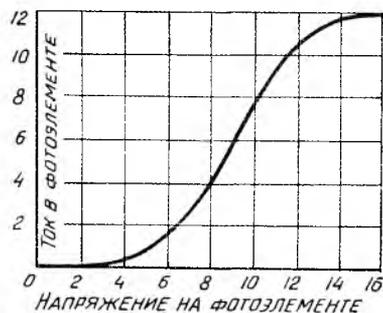


Рис. 12. Ток фотоэлемента, как функция регулирующего напряжения элемента Керра (Произвольные единицы).

света, лишь только разности фаз превзойдут половину длины волны. Применяя одноцветный свет, можно установить таким путем несколько

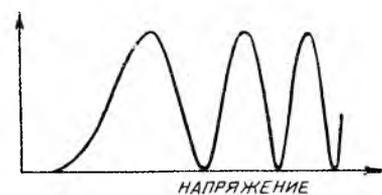


Рис. 13. Характеристика элемента Каролюса для монохроматического света.

порядков полного затухания и нового освещения соответственно четным и нечетным кратным длины полуволны. Только достижение границы пробивания приостанавливает дальнейшее повышение напряжения. Так как эффект Керра зависит от квадрата силы поля, то линия возбуждения становится все круче, и наивысшие значения сдвигаются все ближе. Это может быть также применимо в известных случаях для высокочувствительного релэ Керра (рис. 13)¹⁾.

Большая скорость фильма, возможная при элементе Каролюса, требует особенно точного синхронизма во время передачи изображения. Раньше эта задача была труднейшей; в особенности при беспроводной связи атмосферные нарушения приема зачастую пересиливали и прерывали вспомогательные импульсы, передаваемые в целях поддержания синхронизма. В виду этих недостатков метода вспомогательных импульсов, при описываемой системе стремились к чисто местной регулировке числа оборотов передающего и приемного аппаратов. Задача эта разрешена безукоризненно применением тональных возбудителей, как неизменных возбудителей частоты. Синхронизм движения стал независим от расстояния станций и возможности передавать вспомогательные импульсы с желательной точностью. Местные указатели такта выравнивались один относительно другого перед передачей при помощи простого стробоскопического метода и оставались неизменными в течение долгого времени с точностью 1 : 100 000.

¹⁾ Эти кривые засняты и вычислены др. В. Ильбергом в лаборатории д-ра Каролюса в Физическом Институте Лейпцигского Университета.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТОВ.

С помощью фотоэлемента „Телефукен“ и световозбудительного элемента Каролюса теперь удастся при передаче Берлин — Лейпциг получить весьма значительные скорости. По воздушной линии из 3 мм бронзовой проволоки было передано изображение площадью 10×10 см² при величине элемента изображения $1/25$ мм² в течение 1,5 минуты. Путем беспроводной передачи был достигнут для изображений тех же размеров и тонкости срок 20 секунд, при длине волн 850 метров. Но эта величина ни коим образом не является предельной; посредством соответственных механических установок при применении коротких волн можно еще более ее понизить. Приводимые сроки доказывают, что удалось превзойти скорости применяемые в скородействующей телеграфии. Квадратный дециметр содержит, приблизительно, 200 слов или 1 000 букв при мелком почерке или обычном газетном шрифте. Это число в настоящее время при обычной скородействующей телеграфии (скородействующий Морзе и печатающие аппараты) в лучшем случае может быть передано в течение 1—2 минут. Путем фото-телеграфной передачи, вышеуказанная скорость по меньшей мере утроена, и, кроме того, с ней связаны еще дальнейшие практические преимущества. Во-первых, незначительное влияние атмосферных нарушений приема на удобочитаемость знаков. Это обстоятельство основывается на том, что неправильные записи, вызываемые на фильме скоропробегающими нарушениями, проявляются лишь в форме весьма коротких и тонких, по большей части точкообразных штрихов. Ширина последних весьма незначительна сравнительно с толщиной линий знака. Каждый знак образуется из большого числа фотографических точкообразных знаков, имеющих большие промежутки, сравнительно с нарушениями, и распределение последних никогда не происходит так периодически скученно, чтобы совершенно исказить передаваемые изображения знака. При обычном способе передачи отдельные элементы знака передаются близко один за другим и потому легко пересиливаются и искажаются атмосферными нарушениями. Вследствие этого требуются запросы и вторичная передача, благодаря чему сильно уменьшается действительная пропускная способность: этот недостаток, как указано, исключен при способе фото-телеграфной передачи.

Этот способ получает еще большее признание при скорой передаче рукописных знаков, когда идет речь о черно-белых изображениях; ток антенны в зачерненных местах всегда доходит от нуля до своего наивысшего значения, и потому используется полностью радиус действия телеграфной передачи. Напротив, передача изображений с постепенными переходами тонов требует таких же условий работы, как телефонии для передачи разных амплитуд, и потому радиус их передачи

не превышает телефонной. Само по себе воспроизведение тончайших оттенков при передаче фотографий, полутонных изображений и т. п. посредством элемента Каролюса весьма совершенно. Рис. 14—17 служат тому доказательством. Слева всегда помещено оригинальное изображение, справа — воспроизведенное.



Рис. 14. Передача фотографического портрета, слева — оригинальное изображение, справа — воспроизведенное.

При подобной скорой передаче особые требования предъявляются к усилителям. Последние должны передавать весьма широкие полосы частот, при чем наивысшая частота модуляций и протяжение возникающих по обе стороны рабочей волны боковых полос¹⁾, задается из соображения, что предельные размеры светлого и темного могут изменяться через каждую $\frac{1}{5}$ мм.

Наиболее низкая частота модуляции может быть весьма незначительна, если яркость остается неизменной на большом протяжении, например, целой строки. Эти весьма широкие полосы частот должны усиливаться вне зави-



Рис. 15. Передача снимка ландшафта.

симости от частоты пропорционально входящим амплитудам. Для этого применяются усилители с сопротивлениями. При этом достойно-

¹⁾ Если колебание, имеющее n пер./сек., изменяется при модуляции передатчика с частотой m , то рядом с несущей волной n возникают комбинационные частоты $(n + m)$ и $(n - m)$. При изменении m соответственно распределению яркости изображения, получаются „боковые полосы“ как и при других аналогичных процессах телеграфии и телефонии.

внимания то обстоятельство, что конечная протяженность светового пятна при съемке или воспроизведении исключает необходимость передачи верхних частот. Это вытекает из следующих рассуждений. Предположим, что световое пятно представляет собой крошечный квадрат с длиной стороны l и перемещается по поверхности изображения параллельно одной стороне со скоростью v окружности барабана. Яркость оригинального изображения остается постоянной по меньшей мере на ширину l перпендикулярно движению. Если световое пятно проходит по резкому черному штриху, то на месте



Рис. 16. Передача оттиска.

скачка яркость равна $\frac{dH}{dt} = \pm \infty$. Но ток I запаздывает даже при практически лишенных инерции приборах, т. е. с достаточно короткой передающей волной. Ибо для достижения своей новой конечной величины току I необходимо время $t = \frac{l}{v}$, исчисленное, учитывая протяжение светового пятна в направлении движения; если l равно $\frac{1}{5}$ мм и v , например, 3 м/сек, то $\frac{l}{v} = \frac{1}{15\,000}$ сек. Это время необходимо току I , чтобы линейно измениться между своими предельными значениями. Оно представляет длительность половины модулирующего колебания.

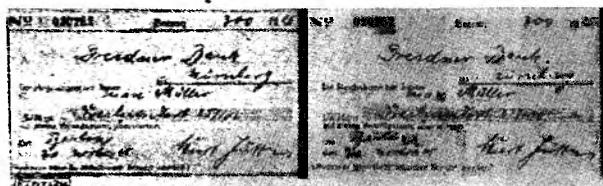


Рис. 17. Передача заполненного от руки чека.

Потому наивысшая резко определенная частота модуляции $m = 7\,500$ периодов. Оттенки изменения яркости на границах изображаемого штриха вызывают возникновение всех высших частот ряда Фурье с основным числом колебаний 7500. Электрическое же воспроизведение изображения дает, в сущности, только одно основное колебание¹⁾ и для получения в приемнике всех оттенков изменения яркости оригинала приходится прибегать к искусственным мерам вроде подбора напряжения сетки в усилительных лампах, соответственной крутизны ламп и т. п. С этой точки зрения элемент

¹⁾ Последнее видно более точно, в особенности по отсутствию третьей гармоники, при рассмотрении соответственного ряда Фурье для $H = f(t)$ и $I = f(t)$.

Каролюса удобнее электромеханических световых релэ, так как он действительно фотографически воспроизводит все электрические высшие колебания возбуждающего напряжения согласно их величинам. Надо отметить, что конечное протяжение l пятна воспроизводимого света, со своей стороны, оказывает влияние, выражающееся расширением знаков и размыванием их краев. Это, однако, можно устранить помощью точного установления „порога восприимчивости“ всего приемного аппарата. Точная теория резкости краев изображения и искажений от затухания высоких частот при фототелеграфии должна выяснить целый ряд важных вопросов и, между прочим, — разработать вопрос о возникновении и прекращении колебаний в фильтровочных контурах и антенне, закон почернения фильма, влияние кажущегося сопротивления на величину $\frac{dI}{dt}$ при скачках яркости; подробное изложение вопроса завело бы слишком далеко.

Область волн беспроводной передачи изображений такова же, как у волн телефонии, и лежит, приблизительно, ниже 4 км, спускаясь до коротких волн 10—100 м.

Последние применялись с большим успехом ночью для работы на большие расстояния, например, Науэн — Буэнос-Айрес (около 12 000 км). Область коротких волн в настоящее время еще развивается; главное внимание обращено на повышение отдачи передатчика и на неизменность частоты соответственно требованиям приема, а также на получение дневной связи (при длине волн до 2) м по большей части с применением особых антенн и отражательных установок). Теперь кажется не опрометчивым предсказывать коротким волнам большое будущее в области телеграфной передачи изображений. Прием в Европе американских телефонных сообщений на короткой волне зачастую бывает весьма отчетлив и так силен, что с помощью элементов Каролюса можно записывать модуляцию без особого усиления. Посредством коротких волн в связи с элементом Каролюса можно достигнуть весьма значительного повышения скорости передачи ограниченного только чувствительностью фильма. Можно считать достижимым сроком передачи изображения площадью $10 \times 10 \text{ см}^2$ 5 секунд при элементе изображения $\frac{1}{5}$ мм. Технически это станет достижимо при употреблении особых приборов, работающих не с вращающимися цилиндрами, а допускающих съемки и воспроизведение изображения на плоской поверхности помощью особых оптических установок. Последнее не представляет затруднений, как было указано опытами с элементом Каролюса. При лабораторных опытах с элементами Каролюса уже производились передачи фотографий на расстояние в течение 5 секунд. Достижение благоприятных сроков передачи поведет к осуществлению рукописных телеграмм, передаваемых в виде изображения „заокеанских радиописем“ и вызовет переворот

в современных формах телеграфа. К удивительной скорости этого метода присоединяется возможность передавать телеграфным путем вместо обычных рукописных значков — сокращенные, вроде азбуки Морзе или стенографических знаков. Часто намеревались поддерживать связь на скородействующем Морзе с помощью коротких волн, передавая одну и ту же телеграмму несколько раз под ряд с наивысшей быстротой. При известном числе повторений есть вероятность правильного расшифрования каждого знака, несмотря на атмосферные искажения. Осуществление этой задачи кажется наиболее благоприятным при помощи методов и аппаратов фототелеграфии, так как при ней воспроизводимый знак является продуктом правильного ряда отдельных отпечатков, повторяющихся через большие промежутки времени. Следовательно, можно себе представить, что исписанная азбукой Морзе или отпечатанная поверхность будет передана, как черно-белый рисунок. Скорость выразится при этом несколькими тысячами слов в минуту.

Дальновидение.

Свободные от инерции фотоэлементы и элементы Каролюса позволяют идти еще дальше с модуляционными частотами и предсказать скорое удачное разрешение задачи о видении по телеграфу. Фотоэлемент работает при частоте свыше 10^5 пер./сек., элемент Каролюса — 10^5 периодов без заметного запаздывания. Для удовлетворительного телеграфного изображения, независимо от его размеров, величина одного элемента последнего должна достигать по крайней мере $\frac{1}{10000}$ общей площади. При этом условии получается отчетливое изображение, особенно при движущихся процессах. Опыты показали, что для осуществления видения по телеграфу достаточно передавать изображение десятикратно в 1 секунду. При этом высшая частота модуляции равна $1 \cdot 10^4$ пер/сек. Такие частоты, согласно предыдущему, могут передавать как фотоэлементы так и фото-релэ Каролюса. При этом для передачи подходят, разумеется, только короткие волны, так как передающие частоты должны быть высшего порядка, чем верхние пределы частоты модуляции. При $5 \cdot 10^4$ пер/сек. и длине передающей волны 30 м получают боковые полосы шириной только $\frac{1}{2} \nu H$, и осуществляется нормальное соотношение ширины настройки и резонанса контура, известное нам из беспроводной телефонии. Необходимость нескольких несущих волн, считаемая многими неизбежным условием дальновидения, не является безусловной при растре равной, как принято, $\frac{1}{10000}$.

При дальновидении изображения воспринимаются и воспроизводятся по той же схеме как и при фототелеграфии, но с помощью, особых, исключительно быстроработающих оптических приборов, допускающих, при хорошем использовании света, точное разложение и

воспроизведение изображения. Отдельные части передаваемого изображения одна за другой подаются для воздействия на фотоэлемент и обращаются последним в колебания тока, модулирующие, по достаточном усилении, передатчик коротких волн. В приемнике к усилителю модулированных колебаний приключается элемент Каролюса, влияющий на яркость луча света перед входом его в установку, воспроизводящую изображение соответственно значениям тока посылаемым со стороны передатчиком. Главная трудность заключается в вопросе светосилы светового релэ, а не инерции последнего. Это легко усмотреть из того, что по мере приема и воспроизведения точки за точкой каждый элемент поверхности освещен только в течение 10^{-5} секунд и затем не освещен 10^{-1} сек. Физиологические законы процессов смещения, возникающих на основе инерции глаза, гласят, что общая яркость, воспринятая для одной точки, при этих условиях составит $\frac{1}{10\,000}$ яркости даваемой перемещающимся световым пятном. Мгновенная яркость светового пятна должна быть, следовательно, исключительно велика, чтобы принимаемое изображение вышло достаточно богато контрастами. Элемент Каролюса делает возможным возбуждение световых яркостей значительной величины посредством затраты очень незначительной электрической работы и на этом основывается его значение для применения в дальновидении. В настоящее время неизвестно другое световое релэ, работающее при таких благоприятных электрических и оптических условиях. Д-ру Каролюсу удалось в годичной срок получить с помощью своего элемента очень хорошо передающие все подробности и, несмотря на это, светоинтенсивные телеграфные изображения. Практическое развитие его приборов потребует еще некоторого времени. В настоящее время усилия направлены на передачу диапозитивов, на первом месте кинофильмы, путем оптического беспроводного телеграфа. Это предварительное разрешение задачи дальновидения не представляет столь больших трудностей. Передача пространственных предметов в виду относительно значительно меньшей силы света при проекции изображений на матовое стекло (род фотографической камеры для фотоэлемента) задает усилительной технике известные вопросы. Однако нельзя сомневаться, что и для этой задачи вскоре будет найден ответ, и действительное дальновидение осуществится в ближайшее время.