

НОВЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ МАЛЫХ СВЕТОВЫХ ПОТОКОВ С ПОМОЩЬЮ ФОТОЭЛЕМЕНТОВ

Н. С. Хлебников

Наибольшим распространением для целей измерения малых световых потоков пользуются фотоэлементы с внешним фотоэффектом как единственные практически пригодные для использования в схемах усиления постоянного тока и в электрометрических схемах (а также, как наиболее удобные при использовании усиления на переменном токе). Порог чувствительности любой такой измерительной схемы, т. е. та минимальная величина светового потока, которую схема ещё способна регистрировать, определяется её уровнем помех, который задаётся наивысшим уровнем паразитного сигнала какого-либо элемента схемы². Принципиально неустраняемыми для фотоэлемента с внешним фотоэффектом являются флуктуационные помехи, вызываемые шрот-эффектом фотоэмиссии. Однако, достижению пороговой чувствительности, задаваемой шрот-эффектом в электрометрических схемах и при усилении постоянного тока, препятствуют другие явления. Таковыми являются прежде всего: 1) наличие утечек между катодом и анодом фотоэлемента по стеклу колбы, 2) наличие термоэлектронного тока с фотокатода при комнатных температурах.

Наименее сильно эти явления сказываются в случае сурьмяно-цезиевых фотоэлементов вследствие относительно высокой работы выхода $Sb-Cs$ катода и низкого давления паров свободного цезия над поверхностью такого катода. Последнее препятствует образованию проводящей плёнки щелочного металла между катодом и анодом, что вместе с высоким квантовым выходом и заслужило этим фотоэлементам репутацию лучших измерительных фотоэлементов.

Однако, протяжённость спектральной характеристики этих фотоэлементов, допуская их использование почти во всей видимой области и в ультрафиолете до длин волн около 2000 \AA , не даёт возможности применять их в красной и близкой инфракрасной частях спектра, для которых попрежнему единственным индикатором остаётся кислородно-серебряно-цезиевый фотоэлемент.

Именно для фотоэлементов с такими катодами указанные затруднения сказываются с особенной силой, так как работа выхода $Cs-O-Ag$ катода низка ($0,6-0,7 \text{ eV}$) и свободный цезий связан в нём весьма слабо. Для устранения утечек пользуются увеличением расстояния по стеклу между катодом и анодом путём придания горлу

и ножке фотоэлемента более или менее сложной формы, введения в этот участок цепи высокоизолирующих материалов (кварц) и применением охранных колец. Для подавления термоэлектронного тока существует очевидным образом только один путь — охлаждение катода, каковое и было использовано в связи с применением электронных умножителей для целей измерений³. Невозможность избавиться от термоэлектронного тока иным способом кроется в невозможности отделить термоэлектроны от фотоэлектронов, поскольку и те и другие испускаются катодом и собираются на аноде фотоэлемента.

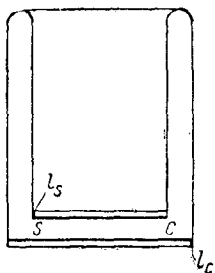


Рис. 1. Электронно-оптический преобразователь изображений Холста, де Бура, Тавеса и Венеманса.

Можно, однако, осуществить метод измерений, в котором разделяются если не сами термоэлектронный и фотоэлектрический токи, то создаваемые ими эффекты, что с точки зрения данного вида применений вполне эквивалентно; при этом одновременно теряет свою остроту и вопрос об утечках, так как в самой электрометрической схеме можно пользоваться обычным сурьмяно-цезиевым фотоэлементом. Основой этого метода является использование электроннооптического преобразования.

Электроннооптический преобразователь изображений впервые был описан Холстом, де Буром, Тавесом и Венемансом⁴ (см. рис. 1) и предназначался для преобразования невидимого оптического изображения в инфракрасных лучах, проектируемого на прозрачный (кислородно-серебряно-цезиевый фотокатод) C , чувствительный к этим лучам, в видимое изображение на флуоресцирующем экране S . Это преобразование осуществляется в результате превращения на катоде оптического изображения в электронное и обратного превращения на флуоресцирующем экране при бомбардировке фотоэлектронами, ускоренными разностью потенциалов, наложенной между C и S . Оптическое изображение на экране оказывается несколько размытым по сравнению с таковым на катоде, так как электронные пучки при движении от катода к экрану расширяются вследствие наличия тангенциальных компонент скоростей фотоэлектронов. Геннеберг и Рекнагель⁵ нашли, что для преобразователя системы Холста и др. радиус ρ круга на экране, в который обращается точка на фотокатоде, выражается равенством

$$\rho = 4L \sqrt{\frac{\epsilon}{V}}, \quad (1)$$

где L — расстояние между катодом и экраном, ϵ — начальная энергия фотоэлектрона и V — разность потенциалов между экраном и катодом. Из этого равенства видно, что разрешающая способность такого преобразователя (пропорциональная $\frac{1}{\rho}$) тем выше, чем меньше

расстояние между C и S и чем больше ускоряющая разность потенциалов. Поскольку и уменьшение первого и увеличение второго осуществимы лишь в известных пределах, был предложен ряд конструкций преобразователей, позволяющих увеличить разрешающую силу за счёт применения более совершенной электронной оптики⁶.

Вполне ясно, каким образом с помощью электроннооптического преобразователя можно осуществить намеченные выше задачи: избавиться от помех со стороны термоэлектронного тока фотокатода и от утечек в измерительном фотоэлементе. Для этого достаточно собрать схему, показанную на рис. 2, где A — выходная щель монохроматора^{*)}, C и S — катод и экран преобразователя соответственно, D — диафрагма, расположенная в плоскости изображения экрана S , создаваемого линзой L_2 , и P — измерительный фотоэлемент; линза L_1 создаёт изображение щели A на фотокатоде C преобразователя.

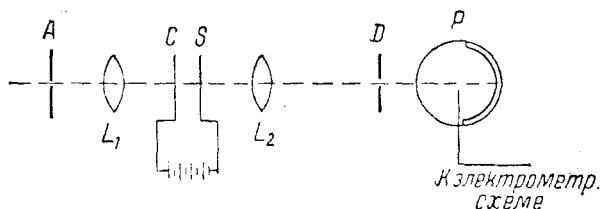


Рис. 2. Принципиальная схема измерительной установки с электронным преобразователем.

При таком расположении измерительный фотоэлемент может быть взят в соответствии с требованиями, предъявляемыми электрометрической схемой, т. е., например, быть сурьмяно-цезиевым фотоэлементом, тогда как катод преобразователя можно выбрать, исходя только из соображений о желаемых его спектральных свойствах, т. е. использовать, например, кислородно-серебряно-цезиевый катод.

Такое разделение функций между воспринимающим и измеряющим излучение фотокатодами, соединяемыми в единое целое через излучение экрана преобразователя, позволяет, далее, при посредстве диафрагмы D избавиться и от паразитного тока, создаваемого термоэлектронной эмиссией. В самом деле, в плоскости изображения, где расположена диафрагма, будет существовать действительное изображение участка катода C преобразователя, содержащее и изображение щели монохроматора. Термоэлектронный ток с катода даст более или менее сильное и более или менее равномерное (в соответствии со степенью однородности поверхности и величиной работы выхода, а также с температурой катода) свечение экрана, на котором изобра-

^{*)} Необходимо отметить, что данный метод устранения влияния термоэлектронного тока имеет преимущество только при условии возможности концентрации измеряемого светового потока на достаточно малом участке площади катода преобразователя.

жение щели будет выглядеть как более яркий, нежели фон, узкий штрих. Выбрав размер и расположение диафрагмы такими, чтобы она пропускала излучение только от участка поверхности катода, на которой расположено изображение щели, мы, очевидно, получаем уменьшение паразитного сигнала от термоэлектронного тока в измерительном фотоэлементе в отношении, равном отношению площади катода преобразователя к площади, занимаемой на нём изображением щели монохроматора. При обычных размерах того и другого это означает выигрыш от двух до трёх порядков и соответствующее понижение пороговой чувствительности схемы.

Весьма существенными для практической ценности этого метода являются свойства связующего звена этой системы — экрана преобразователя. Для удобного осуществления измерений необходимо прежде всего, чтобы существовала прямая пропорциональность между световым потоком, падающим на катод преобразователя, и излучением экрана. Специальные измерения показывают, что такое соотношение существует в широком интервале освещённостей катода. Для получения воспроизводимых данных измерений необходимо, чтобы напряжение между электродами умножителя сохранялось постоянным в течение, по крайней мере, одной серии измерений, так как выход свечения люминофора существенно зависит от энергии бомбардирующих электронов. Как оказывается, указанное условие соблюдается с достаточной точностью при включении питающего преобразователь высоковольтного выпрямителя в сеть переменного тока через обычный феррорезонансный стабилизатор напряжения.

К числу преимуществ описываемого метода следует также отнести то, что квантовый выход системы в целом может быть сделан больше квантового выхода воспринимающего фотокатода. Это является следствием того обстоятельства, что при рабочих напряжениях преобразователей (киловольты) один электрон, попадающий на экран, даёт начало нескольким десяткам квантов. Поэтому, несмотря на потери света в оптике, общее увеличение сигнала (до тех пор пока устройство работает достаточно далеко от порога чувствительности воспринимающего фотокатода, определяемого шрот-эффектом) может достигать нескольких раз. Учитывая это обстоятельство, представляется целесообразным также использование преобразователей и с сурьмяно-цезиевыми катодами.

Применение в схеме рис. 2 преобразователя типа Холста, т. е. прибора с прозрачным катодом и малым расстоянием между электродами, не является удобным. Во-первых, прозрачные катоды никогда не имеют максимальной чувствительности, осуществимой для данного типа катода, и чувствительность их в лучшем случае составляет, примерно, лишь половину этой величины; во-вторых, с таким преобразователем исключается возможность применения тонкостенных, прозрачных для ультрафиолета стеклянных окон, что сильно ограничивает рабочий интервал длин волн. Оба эти затруднения могут быть

устранены при условии значительного увеличения расстояния между катодом и экраном преобразователя, но, как следует из соотношения (1), это поведёт к сильному уменьшению разрешающей силы. Поэтому рационально построенный прибор должен использовать ту или иную электроннооптическую систему. На рис. 3 схематически показан простой преобразователь с чисто-электростатической фокусировкой, в котором возможно как использование непрозрачных катодов, так и применение столь хорошо зарекомендовавших себя прозрачных для ультрафиолета стеклянных окон. Здесь C и S попрежнему обозначают катод и экран, l_C и l_S — выводы от них, W — тонкостенное окно и E — фокусирующий электрод. Электростатическая линза образуется полем между ним и катодом. Пунктиром показаны оптические оси системы.

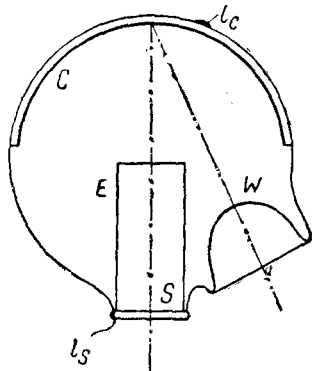


Рис. 3. Электронный преобразователь с тонкостенным окном и непрозрачным фотокатодом.

Применения этого метода могут быть, повидимому, весьма разнообразны. Первоначально он был предназначен для различных работ с монохроматором. Здесь он даёт, помимо улучшений, очевидных из предыдущего, принципиально новую возможность визуальных наблюдений в невидимых областях спектра. Это представляет интерес, например, при градуировке монохроматора по длинам волн или, наоборот, при исследовании неизвестных линейчатых спектров. Для такого рода наблюдений линзу L_2 (рис. 2) целесообразно заменить подходящим окуляром. Другой обширной областью применений нам представляется астрономия и астрофизика. В этом случае при замене щелевой диафрагмы D (рис. 2) на круговую можно достигнуть снижения помех от термоэлектронного тока ещё, примерно, на один порядок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. С. Хлебников и А. Е. Меламид, Инф.-техн. бюлл. з-да № 632.
2. См., напр., F. Preisach, Wireless Eng., **16**, 169, 1939.
3. J. Raichmann, Arch. Sci. Phys. et Nat. (5-e periode), 20, Sept., Oct., Nov., Dec., 1938.
4. G. Holst, J. H. de Boer, M. C. Teves a. C. F. Veenemans, Physica, **1**, 297, 1934.
5. W. Henneberg u. A. Recknagel, Zschr. techn. Phys., **16**, 230, 1935.
6. W. Heilmann, Elektr. Nachr. Techn., **12**, 68, 1935; W. Kluge, Z. Phys., **93**, 789, 1935; M. v. Arduine, Electr. Nachr. Techn., **13**, 230, 1936; V. K. Zworykin a. G. A. Morton, J. O. S. A., **26**, 181, 1936; V. K. Zworykin, Zschr. techn. Phys., **17**, 170, 1936; W. Shaffernicht, Zschr. Phys., **93**, 762, 1935; Jahrb. Forsch.-Inst. AEG, **4**, 45, 1933—1935. См. также В. Шаффернихт, УФН, **17**, 491, 1937.