

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ФОТОЭЛЕКТРОННЫХ УМНОЖИТЕЛЕЙ
 ПРИ РЕГИСТРАЦИИ СЛАБЫХ МОДУЛИРОВАННЫХ
 СВЕТОВЫХ ПОТОКОВ

Л. В. КСАНФОМАЛИТИ

Метод модуляции световых потоков предоставляет экспериментатору определенные преимущества [1, 2, 6], основными из которых являются избавление от постоянной составляющей темнового тока ФЭУ и его дрейфа на входе усилителя, а также от дрейфа „нуля“ [3, 4, 5] усилителя постоянного тока, если таковой применяется. Разумно сконструированный модулятор [1] приводит к эквивалентной потере незначительной (около 30%) части светового потока. Методы повышения отношения сигнал-шум, применяемые на постоянном токе, оказываются не всегда применимы в этом случае. Этому вопросу посвящена предлагаемая статья.

Для улучшения отношения сигнал-шум на выходе ФЭУ при регистрации пороговых световых потоков часто снижают рабочее напряжение с тем, чтобы уменьшить темновой ток I_T и суммарное среднеквадратичное флуктуационное напряжение на нагрузке ФЭУ \bar{u}_m^2 , в общем случае [1], являющееся суммой

$$\bar{u}_m^2 = \bar{u}_D^2 + \bar{u}_T^2 + \bar{u}_C^2 + \bar{u}_a^2, \quad (1)$$

где \bar{u}_D^2 — среднеквадратичное напряжение дробовых флуктуаций ФЭУ,

\bar{u}_T^2 — то же тепловых флуктуаций,

\bar{u}_C^2 и \bar{u}_a^2 — среднеквадратичные напряжения дробовых флуктуаций сеточной и анодной цепей первого каскада усилителя. В ряде случаев \bar{u}_C^2 и \bar{u}_a^2 можно пренебречь (см. например [1]), и для заданной полосы частот выражение (1) приобретает вид

$$\bar{u}_m^2 = 2 eIM (1 + B) \int_{f_1}^{f_2} \frac{R^2}{1 + (2\pi fRC)^2} df + 4kT \int_{f_1}^{f_2} \frac{R}{V 1 + (2\pi fRC)^2} df \quad (2)$$

Здесь M и $(1 + B)$ соответственно усиление и шумовой параметр ФЭУ.

R и C — активная и емкостная нагрузки ФЭУ.

В свою очередь, ток фотокатода состоит из 2-х частей — темновой и сигнала:

$$i = i_T + i_C \quad (3)$$

Не вдаваясь в подробности, можно указать, что темновой ток, весьма быстро возрастающий с повышением каскадного напряжения, приводит к возрастанию i_{Σ}^2 , опережающему рост напряжения сигнала на выходе:

$$i_{\Sigma} = \frac{i_s \theta \prod_{k=1}^n \sigma_k \cdot R}{\sqrt{1 + (2\pi fRC)^2}}, \quad (4)$$

где $\theta \prod_{k=1}^n \sigma_k$ — коэффициент усиления умножителя.

Так как отношение сигнал-шум

$$\rho = \sqrt{\frac{u_s^2}{i_{\Sigma}^2}}, \quad (5)$$

становится ясной эта тенденция к снижению рабочего напряжения. Однако указанные выводы оценивают лишь теоретически наилучший случай, не оставляя места для конструктивного несовершенства ФЭУ и не вполне исследованных явлений, сказывающихся на ρ .

Серьезным недостатком снижения каскадного напряжения u_k является быстрое падение полезного сигнала на выходе, т. е. зависимость σ_k (коэффициента вторичной эмиссии) от каскадного напряжения u_k в большинстве случаев [1] дается формулой, показывающей экспоненциальную зависимость σ_k от u_k .

$$\sigma_k = A u_k e^{-\mu u_k}, \quad (6)$$

где A и μ — постоянные.

Ниже показано, что при повышении u_k не всегда наблюдается рост i_{Σ}^2 , а иногда можно найти даже такие режимы, при которых i_{Σ}^2 минимально, а усиление весьма велико. Однако нужно сразу же оговориться, что сказанное относится прежде всего к высококачественным умножителям разных конструкций.

Метод. Если световой поток модулирован с частотой f_m , то, очевидно, что величина, определяемая квадратным корнем из среднеквадратического флуктуационного напряжения i_{Σ}^2 , может быть изучена в диапазоне частот от f_n до f_b , где f_n — нижняя частота — определяется полосой пропускания измерительной аппаратуры, а верхняя частота находится из условия:

$$f_n < f_m \quad (7)$$

таким образом, чтобы сигнал f_m находился вне полосы пропускания выходной цепи детектора.

В общем случае следует учитывать, что результат может определяться выбором f_b , однако в нашей работе зависимости эффекта от верхней частоты не обнаружено.

Блок-схема. На рис. 1 элементы схемы имеют следующее назначение. Источник модулированного света питается от звукового генератора через диод. Осредненный световой поток, попадающий на катод ФЭУ, составляет в зависимости от установки

$$(1 \div 6) \cdot 10^{-10} \text{ Лм.}$$

Для поддержания высокой нагрузки ФЭУ применен катодный повторитель (в электрометрическом режиме). После усиления по несущей частоте (т. е. частоте модуляции f_m) избирательным усилителем сигнал подается на I детектор. Постоянная составляющая измеряется стрелочным прибором («уровень несущей»), а переменная направляется на II детектор,

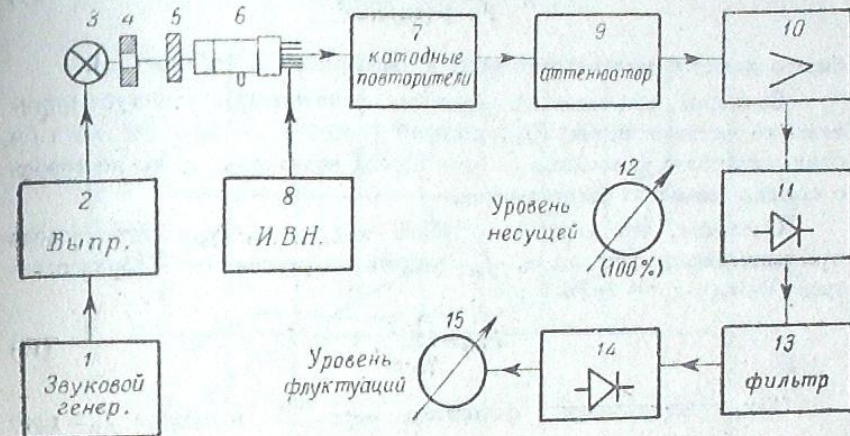


Рис. 1. Блок-схема установки для испытания ФЭУ.

1. Звуковой генератор (желательно типа ЗГ-10 или ЗГ-12М). 2. Г-образный выпрямитель на диодах ДТЖ или аналогичных. 3. Газоразрядная лампа с подходящим спектром (можно применить стабилитрон СГ-5Б). 4. Система диафрагм. 5. Нейтральный фильтр. 6. Испытываемый ФЭУ. 7. Система из двух катодных повторителей, первый из которых работает в электрометрическом режиме; второй служит для согласования с низкоомным аттенуатором. 8. Источник высокого напряжения. 9. Аттенуатор (желательно калиброванный). 10. Узкополосный усилитель по несущей частоте. 11. I детектор. 12. Стрелочный прибор. 13. Фильтр для отделения f_m . 14. II детектор. 15. Стрелочный прибор.

после чего также измеряется стрелочным прибором («уровень флуктуаций»). Для согласования шкал применяется следующий метод. Сигнал несущей частоты, питающий газоразрядную лампу, увеличивают на 2—3 порядка и модулируют дополнительной частотой f_D , выбираемой из условия

$$f_n < f_D < f_b. \quad (8)$$

Зная глубину модуляции в процентах, устанавливают соответствующую чувствительность прибора на выходе II детектора¹. После этого установку приводят в рабочее положение. Уровень флуктуаций будет измеряться в процентах. Особые меры следует принять по устранению наводок на вход катодного повторителя.

¹ В случае применения в качестве II детектора катодного вольтметра (например, МВЛ-2-М) достаточно установить предел, соответствующий U нес на выходе I детектора.

Выбор частоты модуляции. Величина f_m выбиралась в пределах от 350 до 1500 гц. Выше 1500 гц f_m выбирать не следует по двум причинам. Во-первых, величина нагрузки ФЭУ:

$$Z = \frac{R}{\sqrt{1 + (2\pi fRC)^2}} \quad (9)$$

быстро падает с частотой, что ведет к уменьшению u_c согласно (4).

Во-вторых, при заданных параметрах умножителя существует минимальный световой поток F_{min} , который способен эмитировать хотя бы один электрон с фотокатода за один период модуляции, даже не говоря о статистическом их распределении.

Очевидно, что если m — глубина модуляции, γ_ϕ — интегральная чувствительность фотокатода, f_m — частота модуляции и e — заряд электрона ($\sim 1,59 \cdot 10^{-19}$ кул), то:

$$F_{min} = \frac{f_m \cdot e}{\gamma_\phi \cdot m} \quad (10)$$

Так, чувствительности фотокатода $\sim 30 \frac{\text{мкА}}{\text{лм}}$ и частоте $f_m = 1450$ гц соответствует $F_{min} \approx 10^{-11}$ лм. Выбирать частоту f_m ниже 350 гц несколько рискованно, т. к. охватываемая полоса от f_n до f_v становится слишком узкой, что может дать отчасти спекулятивный результат.

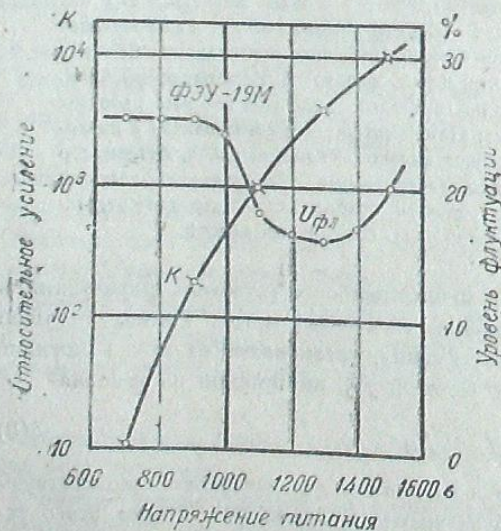


Рис. 2. Характеристики ФЭУ-19М при $F = 10^{-9}$ лм.

ми. На рис. 6, приведены характеристики отобранного ФЭУ-17.

Из сопоставления приводимых данных с несомненностью следует, что все, без исключения, фотоумножители показывают характерный ход кривой флуктуационного напряжения $u_{фл}$.

Эти особенности не имеют ничего общего с хорошо известными

несколько рискованно, т. к. охватываемая полоса от f_n до f_v становится слишком узкой, что может дать отчасти спекулятивный результат.

Результаты. Приводятся кривые для следующих отечественных типов ФЭУ: отобранный из весьма большого числа экземпляров ФЭУ-19 М (рис. 2), фотоумножители типа „жалоузи“ с Sb — Cs и Bi — Cs фотокатодами ФЭУ — 16В (рис. 3) и ФЭУ — 15А (рис. 4), а также ФЭУ типа А₁ (рис. 5) Последний умножитель обладает исключительно хорошими свойствами.

закономерностями характеристик фотоумножителей на постоянном токе. Для сравнения на рис. 6, приводится типичная зависимость

$$\delta = \frac{I_c}{I_c + I_T} \quad (11)$$

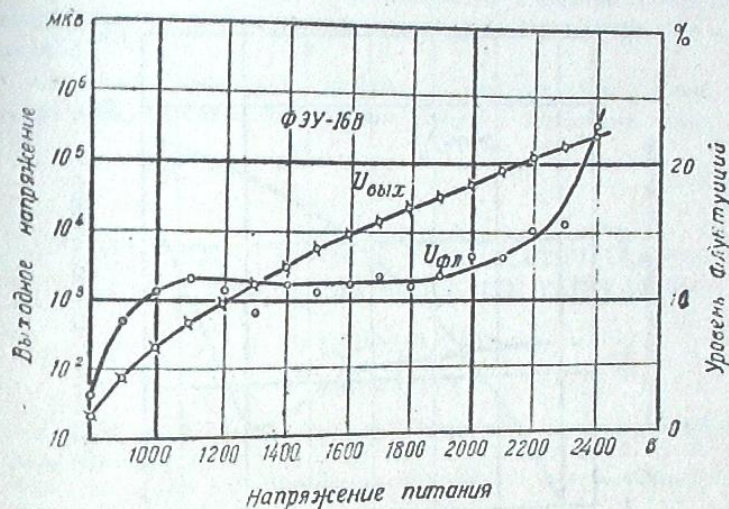


Рис. 3. Характеристики ФЭУ-16В при $F = 5 \times 10^{-10}$ лм.

снятая для случая использования фотоумножителя с усилителем постоянного тока в режиме немодулированного светового потока. Хорошо за-

метно, что начало падения кривой δ не коррелируется с ростом флуктуаций; это соотношение между δ и $u_{фл}$ характерно для всех испытанных нами фотоумножителей (лишь незначительная часть результатов приводится в настоящей статье). Более того, очевидно, большое практическое значение описываемого эффекта, дающего возможность по меньшей мере упростить следующий за ФЭУ усилитель, уменьшая при этом флуктуации; исключительно интересный ход кривой $u_{фл}$ на рис. 2, 5 и 6 не является

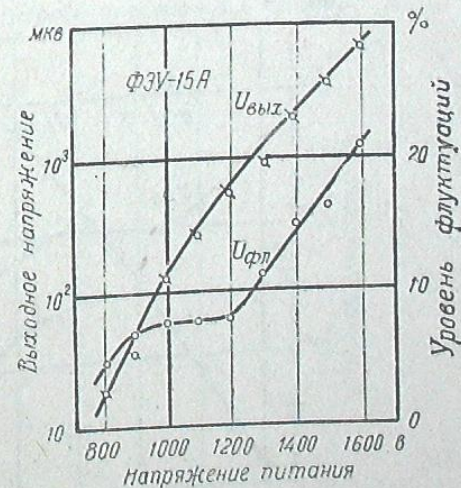


Рис. 4. Характеристики ФЭУ-15А при $F = 5 \times 10^{-10}$ лм.

чем-то исключительным.

Выводы. Указанное свойство ФЭУ — своеобразный ход кривой флукуационного выходного напряжения, — по-видимому, является общим. Это свойство дает в руки экспериментатора замечательную возможность — при неизменном, а иногда и улучшенном отношении сигнал-шум увели-

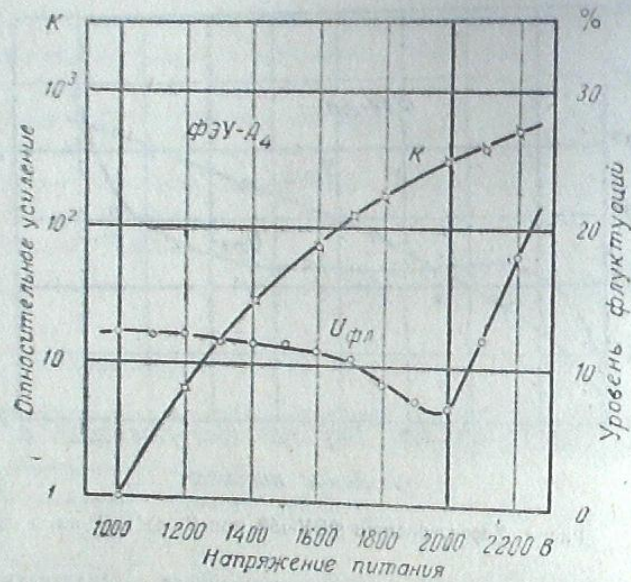


Рис. 5. Характеристики ФЭУ-А₄ при $F=5 \times 10^{-11}$ ам.

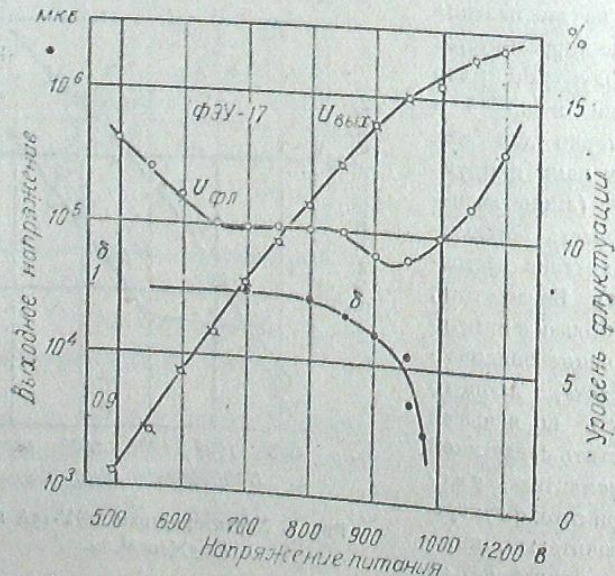


Рис. 6. Характеристики ФЭУ-17 при $F=5 \times 10^{-10}$ ам. Кривая δ относится к постоянному току.

чить на позтора-два, а иногда и три порядка выходной сигнал по сравнению с использованием ФЭУ на постоянном токе. Что же касается выбора наиболее выгодной рабочей области (имеются в виду приведенные зависимости), то лучше всего отыскать ее опытным путем (аналогичным предложенным), хотя можно руководствоваться и общими соображениями, изложенными выше. Как правило, эта область лежит после начала спада кривой δ.

Объяснение указанного эффекта, на наш взгляд, следовало бы искать во взаимодействии электронного потока с остаточным газом.

Октябрь, 1960.

PECULIARITIES OF USING PHOTOMULTIPLIERS FOR REGISTRATION OF THE MODULATED FAINT LIGHT

L. V. XANFOMALITY

ЛИТЕРАТУРА

1. Чечик Н. О., Файнштейн С. М., Лифшиц Т. М. Электронные умножители, М.—Л., 1957.
2. Бонч-Бруевич А. М. Применение электронных ламп в экспериментальной физике. М.—Л., 1955.
3. Шинтльмейстер И. Электронная лампа как прибор для физических измерений, М., 1949.
4. Стронг Д. Техника физического эксперимента. Л., 1948.
5. Reich H. J. Theory and application of electron tubes. New-York and London, 1944.
6. Грановский В. Л. Электрические флуктуации. Л.—М., 1936.