

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



9172

ЭКЗ. ЧИТ. ЗАЛА

13 - 9172

С.Г.Басиладзе, В.И.Иванов

ПИТАНИЕ ФЭУ ДЛЯ РАБОТЫ С ЧАСТОТОЙ 100 МГц

1975

13 - 9172

С.Г.Басиладзе, В.И.Иванов

ПИТАНИЕ ФЭУ ДЛЯ РАБОТЫ С ЧАСТОТОЙ 100 МГц

Направлено в ПТЭ

К настоящему времени в электронике сцинтилляционных детекторов имеется определенный разрыв между быстродействием электронной аппаратуры, находящимся на уровне 100 МГц и выше ^{/1-3/}, и быстродействием самих сцинтилляционных счетчиков, для которых эта величина ниже примерно на порядок. Ограничения на уровень быстродействия накладывают в основном схемы питания фотоумножителей.

При использовании для питания ФЭУ делителя на линейных резисторах средняя частота повторения импульсов ограничивается величиной среднего тока динодов на уровне 30-40% от тока делителя (см. Приложение), равного обычно ~2 мА.

Применение в делителе нелинейных элементов, например, кремниевых стабилитронов, для питания последних динодов позволяет поднять загрузку до величины среднего тока динодов ~80% от тока делителя. Недостатками подобной схемы питания является необходимость подбора стабилитронов для каждого междиодного промежутка, а также непропорциональность изменения междиодных потенциалов при регулировке напряжения питания, что может привести к расфокусировке ФЭУ. Наиболее радикальным средством борьбы со сдвигом потенциалов является, как известно, применение отдельных источников напряжения для каждого динода. Однако практически затруднительна ^{/4/} подпитка свыше 3-4 динодов, что недостаточно для высоких загрузок ^{/5/}. Шунтирование оставшихся незаблокированными динодов электролитическими конденсаторами большой емкости ^{/6/} неудобно с конструктивной точки зрения и не решает проблемы в случае непрерывной загрузки ФЭУ.

Кроме того, если необходимо подпитать несколько счетчиков, приходится либо подбирать ФЭУ с одинаковыми режимами, либо ставить их в неоптимальные режимы питания.

Для эффективной регистрации сигналов с фотоумножителя необходимо обеспечить 20-40-кратный динамический диапазон над порогом срабатывания формирователя. Поскольку пороги срабатывания современных наносекундных формирователей находятся на уровне ~50 мВ (1 мА импульса тока ФЭУ), то это значит, что при максимальной загрузке, когда скважность сигналов близка к двум, средний ток сигнала должен быть на уровне ~15 мА, т.е. превышать ток делителя в 7-10 раз.

Ниже описывается схема питания ФЭУ (рис. 1), где обеспечено подобное соотношение. Это достигнуто сочетанием подпитки^{/3/} последних динодов и использования нелинейных элементов в предыдущих динодных промежутках делителя. Схема свободна от недостатков устройств, упомянутых выше. Например, в ней использован только один источник опорного напряжения подпитки $-U_{оп}$.

Распределение потенциалов на динодах выбрано равномерным для обеспечения наибольшего усиления ФЭУ. Ток, потребляемый от высоковольтного источника питания $-E_{п}$ равен ~2,5 мА (56-килоомный делитель). В последних семи промежутках часть этого тока (~0,6 мА) отводится во вспомогательный делитель для задания потенциалов баз, а оставшаяся величина служит режимным током транзисторов схемы. Диноды с 9-го по 11-й* питаются от нелинейных элементов, роль которых выполняют эмиттерные повторители $T_1 \div T_3$. Для подпитки 12+14 динодов также можно было бы использовать составные эмиттерные повторители на высоковольтных р-п-р транзисторах средней мощности**.

* Номера динодов - для ФЭУ-30.

** Использование составных эмиттерных повторителей на транзисторах п-р-п типа^{/7/} неоправдано из-за повышения потребляемой мощности.

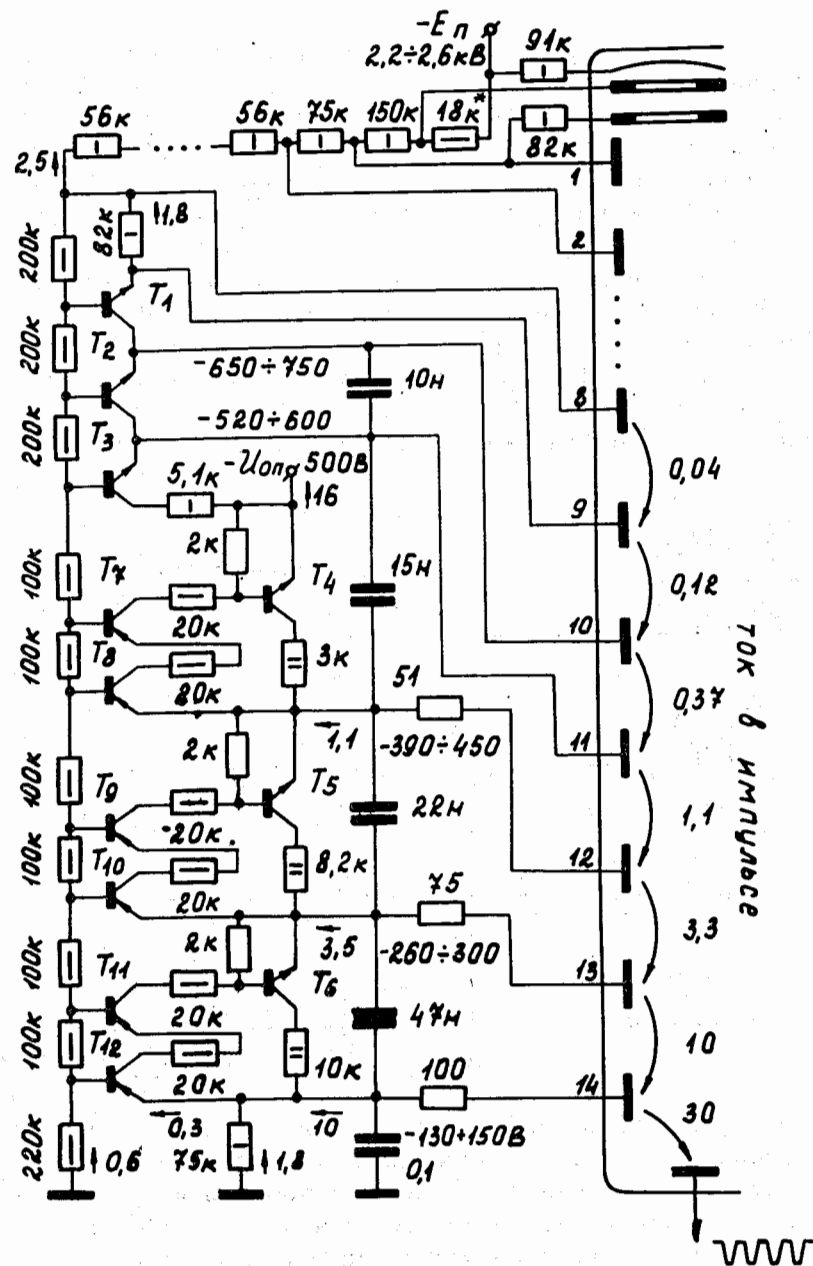


Рис. 1. Схема питания ФЭУ для нагрузок до 100 мГц. Транзисторы $T_1 \div T_6$ - КТ605, $T_7 \div T_{12}$ - МП114.

В данной схеме применены составные каскады, где транзистором, обеспечивающим выходной ток, служит высоковольтный $n-p-n$ транзистор средней мощности, а $p-n-p$ транзисторы малой мощности (МП114) являются только управляющими, причем для повышения рабочего напряжения используется последовательное их соединение.

Испытания схемы проводились с фотоумножителем ФЭУ-30. Для генерации световспышек с частотой повторения до 100 МГц использовались быстрые светодиоды^{8,9}. Длительность выходных импульсов по основанию была ~ 10 нс. На рис. 2 приведены измеренные зависимости амплитуды импульсов тока ФЭУ от

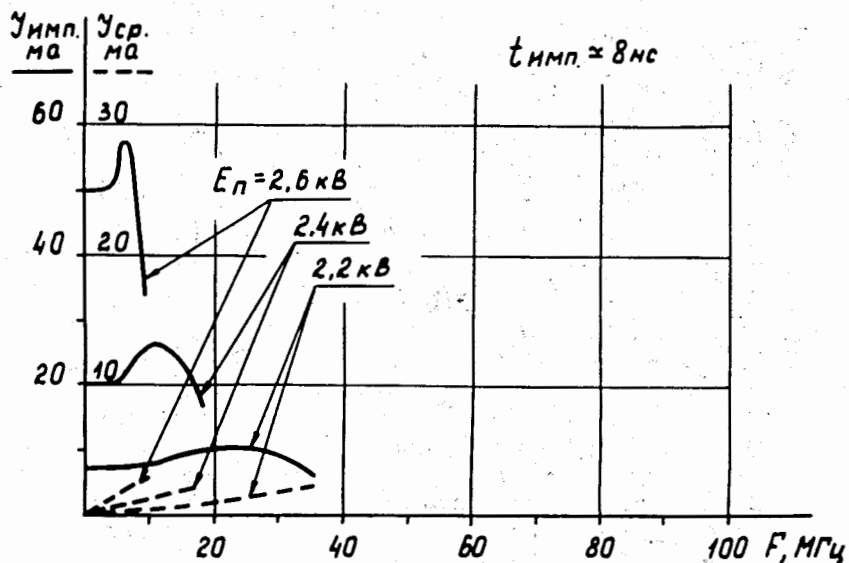


Рис. 2. Зависимость амплитуды импульсов тока ФЭУ-30 (сплошные линии) и величины среднего тока анода (пунктирные линии) от частоты повторения сигналов, при различных напряжениях питания, для 56-килоомного делителя с кремниевыми стабилитронами в трех последних промежутках.

частоты повторения в непрерывном режиме, при питании ФЭУ от 56-килоомного делителя с кремниевыми стабилитронами в трех последних промежутках. На рис. 3 приведены те же характеристики для описываемой схемы. Как видим, она обеспечивает в 5-10 раз большие частоты повторения импульсов, т.к. способна поддерживать потенциалы динодов для выходных сигналов ФЭУ амплитудой 1-1,5 В (на 50 Ом) вплоть до частоты 100 мГц. Схема позволяет пропорционально изменять все междинодные напряжения при регулировке высоковольтного источника питания в пределах 300-400 В, что обеспечивает изменение амплитуды выходного сигнала не менее чем в 7 раз. В силу этого источник опорного напряжения подпитки может быть общим для всех ФЭУ в установке, и для каждого фотоумножителя выбрано оптимальное напряжение питания.

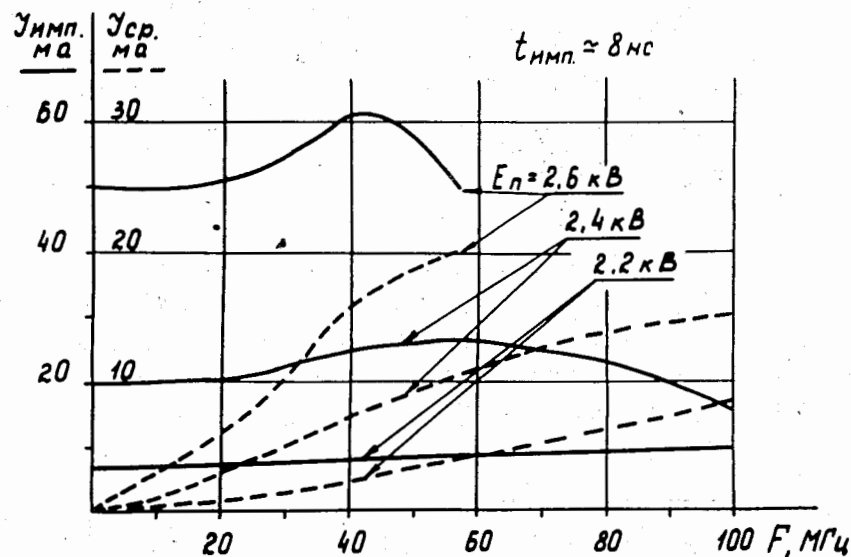


Рис. 3. Зависимость амплитуды импульсов тока ФЭУ-30 (сплошные линии) и величины среднего тока анода (пунктирные линии) от частоты повторения сигналов, при различных напряжениях питания, для описываемой схемы.

Максимально возможное напряжение питания ФЭУ с данной схемой составляет 2,6 кВ (150 В на промежутке), оно ограничено предельно допустимым напряжением использованных р-п-р транзисторов. При установке напряжения питания ниже 2,2 кВ соответствующим образом (рис. 4) понижается величина опорного напряжения, с тем, чтобы избежать насыщения транзистора T_3 . Предельные токи диодов, даваемые схемой, ограничиваются мощностью рассеяния транзистора T_4 . В принципе, при фиксированном значении напряжения питания*, они могут быть увеличены, однако это

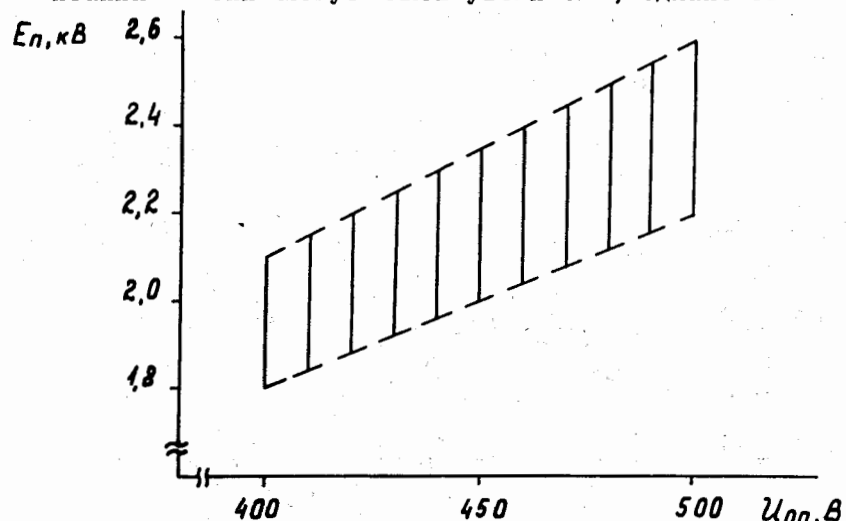


Рис. 4. Границы допустимых величин напряжения высоковольтного источника питания - $E_{п}$ для заданного опорного напряжения подпитки - $U_{оп}$.

* Для снижения мощности, рассеиваемой T_4 , величина $U_{оп}$ для заданного $E_{п}$, должна выбираться у нижней границы диапазона, задаваемого рис. 4.

вряд ли допустимо с точки зрения мощности, рассеиваемой ФЭУ, которая в описываемом режиме составляет для анода ~ 2 Вт.

В схеме имеется защита, позволяющая включать и выключать высоковольтное и опорное напряжения питания в произвольном порядке. При малых нагрузках схема может быть использована без источника опорного напряжения.

В заключение авторы считают своим долгом поблагодарить Л.С.Бойцову за техническую помощь.

Приложение

Нетрудно оценить зависимость амплитуды выходного импульса фотоумножителя - $I_{и}$ от частоты повторения сигналов - f для линейного равномерного делителя. Как известно^{/10/}, коэффициент усиления каждого диода связан простым соотношением с ускоряющим междиодным напряжением - U :

$$K_i = \alpha \cdot U, \quad (П1)$$

где α - коэффициент пропорциональности. Следовательно, полный коэффициент усиления ФЭУ в исходном состоянии:

$$K_0 = \alpha^n \cdot U_0^n, \quad (П2)$$

где n - число диодов, U_0 - напряжение на одном звене делителя (одном промежутке) при нулевой нагрузке.

На начальном участке основной вклад в зависимость $I_{и}$ от частоты повторения дает снижение напряжения на промежутке последний диод-анод и соответственное ему возрастание междиодных потенциалов^{/5/}. Они происходят в основном за счет протекания среднего тока анода - $I_{ср}$ по сопротивлению делителя R_0 - в промежутке последний диод-анод. С учетом этого можно записать

$$K(f) = \frac{K_0}{U_0^n} \cdot \left(U_0 + \frac{I_{ср} \cdot R_0}{n} \right)^n \approx K_0 \cdot \left(1 + \frac{I_{ср}}{I_0} \right), \quad (П3)$$

где I_0 - начальный ток делителя.

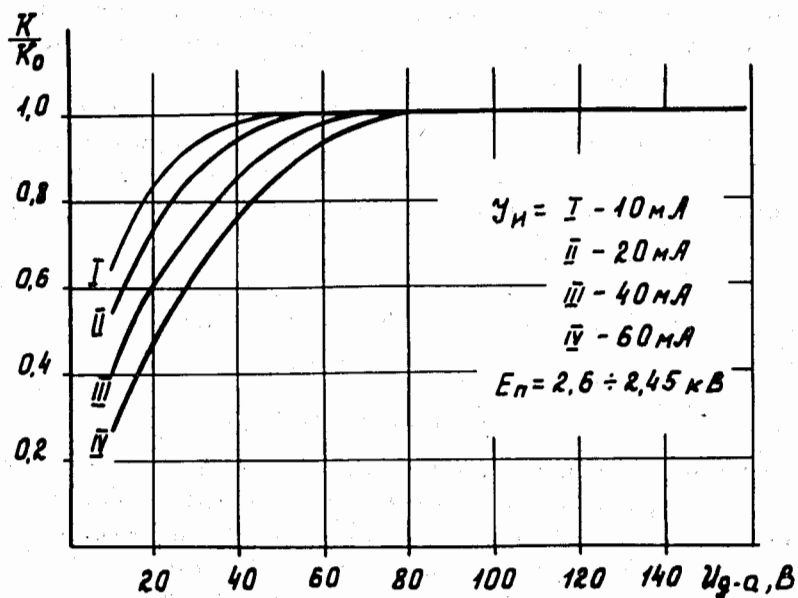


Рис. 5. График зависимости изменения коэффициента усиления ФЭУ-30, для импульсов различной амплитуды, от величины ускоряющего напряжения промежутка последний динод-анод. Потенциалы на междинодных промежутках поддерживались неизменными.

Измерения показывают (рис. 5), что если в фотоумножителе снижать величину ускоряющего напряжения на участке последний динод-анод, оставляя все междинодные потенциалы неизменными, то амплитуда выходного импульса сохраняется постоянной до некоторого порогового значения напряжения на промежутке $-U_{II}$, равного для ФЭУ-30 50-70 В, а затем начинает снижаться. Достижение величины U_{II} можно считать границей допустимой загрузки ФЭУ, тогда

$$(I_{cp})_{гр} = I_0 - U_{II} / R_0 = I_0 - I_{II} ; \quad (П4)$$

здесь I_{II} - граничный ток делителя.

Для ФЭУ-30 при 56-килоомном делителе получаем $I_{II} = 1,1$ мА. Коэффициент усиления ФЭУ на граничной частоте линейного делителя

$$K_{гр} = K_0 \cdot (2 - I_{II} / I_0), \quad (П5)$$

а граничная частота

$$f_{гр} = (I_0 - I_{II}) / I_{II} \cdot t_{и}, \quad (П6)$$

где $t_{и}$ - эффективная длительность импульса с выхода фотоумножителя.

Литература

1. Le Croy, Fast-Pulse Instrumentation for Particle Physics Catalogue, New York, USA, 1975.
2. EGG, Nuclear Instrumentation Division Catalogue, Salem Mass., USA, 1970.
3. С.Г.Басиладзе и др. ПТЭ, №3, 88-92, 1973.
4. С.Г.Басиладзе. Сообщение ОИЯИ 13-7957, Дубна, 1974.
5. М.Ю.Казаринов и др. ПТЭ, №1, 81, 1973.
6. А.Б.Бугорский и др. ПТЭ, №5, 40, 1973.
7. A.Varna. Nucl. Instr. and Meth., 24, No.2, 1963, 247.
8. Ж.И.Алферов и др. Физика и техника полупроводников, 4, вып. 1, 167, 1970.
9. С.Г.Басиладзе, Ли Ван Сун, А.Н.Парфенов. Препринт ОИЯИ, 13-8485, Дубна, 1974.
10. В.В.Матвеев, А.Д.Соколов. Фотоумножители в сцинтилляционных счетчиках, М., Госатомиздат, 1962.

Рукопись поступила в издательский отдел
17 сентября 1975 года.