

УДК 621.3.027.5

ИСТОЧНИК ВЫСОКОВОЛЬТНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ ПИТАНИЯ ФЭУ

И.Х.Атанасов, И.Р.Русанов*

Представлено описание источника высоковольтного напряжения для питания ФЭУ. Модуль разработан на основе схемы «Greinacher Voltage Multiplier». Применение этого способа исполнения источника высоковольтного напряжения позволило получить высокую стабильность напряжения питания, линейность распределения диодных напряжений и низкий импеданс диодного делителя.

Обсуждаются преимущества применения индивидуальных источников высоковольтного напряжения при создании больших систем питания фотоэлектронных умножителей.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ и в ИЯИЯЭ БАН, София.

The High-Voltage Module for Photomultipliers

I.H.Atanasov, I.R.Ruslanov

The high-voltage power supply module is described. The HV module is designed on the base of the «Greinacher Voltage Multiplier». Any output of a Greinacher is an integral multiple of the supply voltage of the oscillator. The use of a Greinacher in the module permits one to achieve the high-voltage stability, the linear voltage distribution from cathode to anode, the low internal impedance and negligible cross-talk from the oscillator to the signal output.

The advantages of a supply system where the cathode and dynode voltages for photomultipliers are generated by a miniaturised converter in the tube base are discussed, too.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR and INRNE, BAS, Sofia.

1. ВВЕДЕНИЕ

Фотоны, возникающие в сцинтилляторах и радиаторах черенковских счетчиков, имеют сравнительно слабую интенсивность. Поэтому для их регистрации применяют

*ИЯИЯЭ БАН, София

чувствительные фотоэлектронные умножители (ФЭУ). На выходе ФЭУ возникают электрические сигналы, несущие информацию об исследуемом излучении. В каждом физическом эксперименте важно правильно снять эти сигналы и передать их на регистрирующие и анализирующие устройства. При этом нужно обеспечить стабильность коэффициента усиления ФЭУ и исключить влияние шумов, возникающих в умножителе [3,4].

Для эффективной и правильной регистрации сигналов с фотоэлектронного умножителя необходимо обеспечить высокую стабильность напряжений питания катода и динодов ФЭУ. Обычно в схемах питания применяются делители на линейных резисторах или нелинейных элементах (стабилитронах или транзисторах). В первом случае средняя частота повторения выходных импульсов ограничивается величиной среднего тока динодов на уровне 30–40% от тока делителя [1,3].

Применение в делителе нелинейных элементов позволяет поднять загрузку до величины среднего тока динодов $\sim 80\%$ от тока делителя [1,4]. Недостатками подобной схемы питания является необходимость подбора стабилитронов, а также непропорциональность изменения междинодных потенциалов при регулировке напряжения питания.

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

2. ИСТОЧНИК ВЫСОКОВОЛЬТНОГО НАПЯЖЕНИЯ ДЛЯ ПИТАНИЯ ФЭУ

В работе описывается миниатюрный источник высоковольтного напряжения (ИВН) для питания фотоэлектронных умножителей. На рис. 1 приведена его блочная схема. В состав устройства входят следующие функциональные узлы: декодер; цифроаналоговый преобразователь; дифференциальный буферный усилитель сигнала ошибки; генератор; управляемый регулятор напряжений; умножитель напряжения и буферный усилитель.

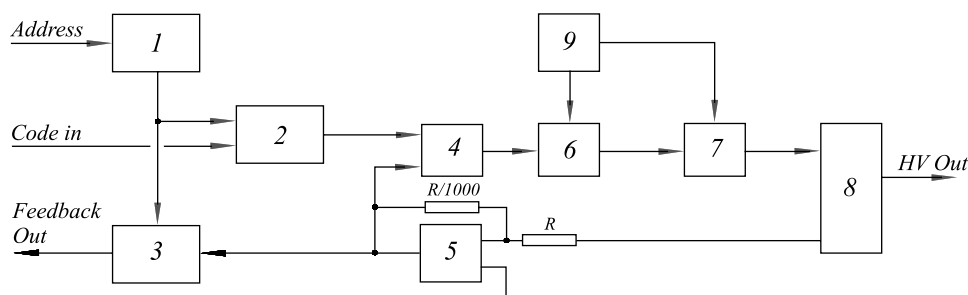


Рис. 1. Блочная схема источника высоковольтного напряжения. 1 — декодер, 2 — цифроаналоговый преобразователь, 3 — аналоговый ключ, 4 — усилитель ошибки, 5 — буфер, 6 — модулятор тактовых сигналов, 7 — регулятор напряжений, 8 — умножитель напряжений, 9 — генератор

Реализация схемы питания ФЭУ основана на применении генератора тактового сигнала с управляемым коэффициентом заполнения и умножителем напряжений [2]. При этом ИВН и делитель совмещены на общей плате — умножитель исполняет роль делителя.

Кроме этого в схеме ИВН применена обратная связь, обеспечивающая высокую стабильность выходного напряжения. При этом подобный подход к реализации обеспечивает постоянное соотношение между диодными напряжениями и их высокой стабильностью.

Обычно в экспериментах необходимо подпитать одновременно несколько счетчиков. При этом в системах с большим количеством ФЭУ необходимо для каждого фотоэлектронного умножителя устанавливать оптимальное напряжение питания, следить за ним и изменять сообразно условиям эксперимента. Следовательно, нужна система управления и ИВН с возможностью для программного управления.

Предлагаемый источник высоковольтного напряжения применялся при создании высоковольтной системы питания ФЭУ для эксперимента СФЕРА. В этой системе ИВН объединяются в группы по 31 источнику. При этом каждый из них имеет собственный 5-разрядный адрес. Младшие три адреса задаются по линии управления, а старшие — при помощи переключек на плате каждого высоковольтного источника. По линии управления адреса и уровень выходного напряжения передаются в виде серийного кода. Доступными они являются во время действия стробового импульса.

Разработанный источник высоковольтного напряжения имеет декодер собственного адреса, обеспечивающий работу только с одного ИВН во время обмена данными между ним и компьютером. При подаче по линии управления стробового импульса и соответствующего адреса следует выбор цифроаналогового преобразователя и запись в него цифрового кода максимального уровня выходного напряжения.

На рис. 2 представлена схема регулятора выходного напряжения. Сигналом с выхода ЦАП задается коэффициент заполнения основного тактового сигнала. При помощи транзисторного регулятора и трансформатора, работающего в резонансном режиме ($f_0 = 250$ кГц), формируется синусоидальный сигнал. Этот сигнал является входным для умножителя напряжения. После этого начинается процесс медленного нарастания выходного напряжения ИВН. Сигнал с выхода регулятора задает уровень выходного напряжения. Для достижения высокого коэффициента полезного действия регулятор выполнен на базе CMOS-транзисторов, работающих в ключевом режиме. Коэффициент полезного действия составляет 75%.

По прошествии времени, необходимого для установки заданного уровня выходного напряжения, схема входит в режим отслеживания работы DC-DC-преобразователя. В цепи обратной связи при помощи буферного усилителя формируется сигнал с амплитудой в 1/1000 часть от реального значения выходного напряжения. Сформированный сигнал сравнивается с заданным уровнем. После этого сигнал ошибки применяется для соответствующего изменения коэффициента заполнения основного тактового сигнала, управляющего регулятором напряжения.

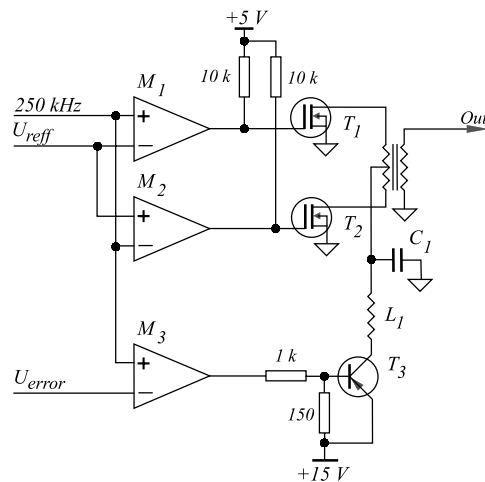


Рис. 2. Схема регулятора выходного напряжения. $M_1 - M_3$ — LM339; T_1, T_2 — 2N7002; T_3 — BC803; L_1 — 3 мН; C_1 — 33 мкФ

Кроме этого в схеме предусмотрен аналоговый ключ, при помощи которого с выхода буферного усилителя можно снять пропорциональное значение выходного напряжения. Это обеспечивает возможность проверки выходного напряжения во время работы ФЭУ.

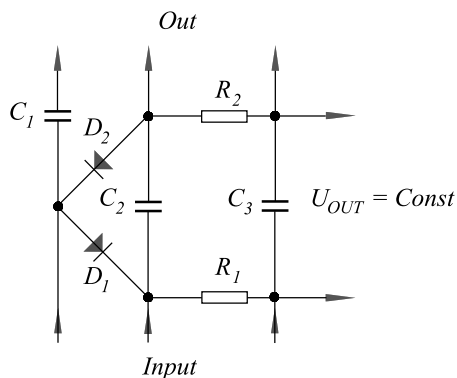


Рис. 3. Схема ячейки умножителя напряжения. $C_1 - C_3$ — 100 нФ; D_1, D_2 — BAV99S; R_1, R_2 — 100 к

Фотоэлектронный умножитель типа ФЭУ-84 имеет 13 диодов и напряжение работы с 1600 В до 2100 В. В разработанной схеме ИВН распределение потенциалов на диодах выбрано согласно требованиям для оптимального режима работы ФЭУ-84. При этом выходным напряжениям ячейки схемы Greinacher задается шаг для аппроксимации диодных напряжений. В таблице 1 дано распределение диодных напряжений при катодном напряжении $U_K = 2150$ В. Так как общее количество ячеек составляет 43, а $U_{eMAX} = 50$ В, то полученное распределение диодных напряжений не отличается существенно от необходимого и является линейным.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе предлагается миниатюрный источник высоковольтного напряжения для питания фотоэлектронных умножителей. Так как прибор является программно-управляемым, а на базе этого прибора создана система для питания ФЭУ, то в этой системе наш подход к реализации ИВН дает возможность:

- подбирать напряжение питания для каждого ФЭУ согласно его индивидуальным характеристикам;
- отслеживать рабочие напряжения каждого ФЭУ и изменять их в соответствии с требованиями проводимого эксперимента;
- сохранить пропорциональность между диодными напряжениями, что не приводит к расфокусировке ФЭУ;
- не использовать дорогостоящих высоковольтных кабелей между источниками высокого напряжения и ФЭУ.

Кроме того, источник высоковольтного напряжения выполнен на базе электронных компонентов для поверхностного монтажа. Это дало возможность минимизировать пе-

Источник высоковольтного напряжения предназначен для питания фотоэлектронного умножителя типа ФЭУ-84. Формирование и распределение потенциалов на диодах осуществляется при помощи умножителя напряжений. Он реализован на базе схемы Greinacher [2]. Особенность данной схемы состоит в том, что она составлена из отдельных ячеек (рис. 3). Ячейки связаны последовательно в схеме умножителя напряжений. Поэтому их число определяет максимальное значение выходного высоковольтного напряжения:

$$U_{Out} = NU_e, \quad (1)$$

где N — число ячеек, U_e — эффективное значение амплитуды сигнала с выхода трансформатора.

Таблица. Распределение междинодных напряжений

Порядковый номер динодов	Необходимый шаг аппроксимации	Действительный шаг аппроксимации	Число ячеек	Распределение междинодных напряжений [В]/($U_k = 2150$ В)
1	2,75	3	6	300
2	1,4	1,5	3	150
3	1	1	2	100
4	1	1	2	100
5	1	1	2	100
6	1	1	2	100
7	1	1	2	100
8	1	1	2	100
9	1	1	2	100
10	1	1	2	100
11	2,1	1,5	3	150
12	2,3	2	4	200
13	2,75	2,5	5	250
Катод	3	3	6	300

чатные платы и получить ИВН с размером, не больше чем размер фотоэлектронного умножителя. При этом получены высокая стабильность и низкий температурный коэффициент выходного напряжения, низкий внутренний импеданс и отсутствие наводок на выходном сигнале со стороны тактового генератора.

С другой стороны, применение в схеме управления CMOS — интегральных схем фирмы «Texas Instrument» — обеспечило низкое потребление в аналоговой схеме источника высоковольтного напряжения. Так как в регуляторе напряжения все транзисторы работают в ключевом режиме, а трансформатор работает в резонансном режиме, это привело к низкому собственному потреблению ИВН, и был получен высокий коэффициент полезного действия.

Авторы выражают благодарность А.Г.Литвиненко за интерес к работе и полезные обсуждения. Мы очень признательны проф. В.Н.Пеневу за постоянное внимание и поддержку нашей работы в Дубне.

Литература

1. Басиладзе С.Г., Иванов В.И. — Сообщение ОИЯИ 13-9172, Дубна, 1975.
2. Hubbeling L. — CERN/EP Internal Report 78-5, 1978.
3. Цитович А.П. — Ядерная электроника. М.: Энергоатомиздат, 1984.
4. Абрамов А.И., Казанский Ю.А., Матусевич Е.С. — Основы экспериментальных методов ядерной физики. М.: Энергоатомиздат, 1985.

Рукопись поступила 30 мая 2000 года.