

сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
дубна

13-85-850

Л.И.Бельзер\*, А.М.Грибушин\*, Н.Б.Синев\*,  
Л.А.Урманова

МАЛОГАБАРИТНЫЙ  
ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ  
С ЦИФРОВЫМ УПРАВЛЕНИЕМ  
ДЛЯ ПИТАНИЯ ФЭУ

---

\* Научно-исследовательский институт  
ядерной физики МГУ, Москва

1985

Экспериментальные установки для проведения исследований по физике высоких энергий, как правило, имеют в своем составе большое количество /десятки или сотни/ фотоэлектронных умножителей. Применение традиционных способов питания ФЭУ /стабилизированный высоковольтный выпрямитель и резистивный делитель напряжения, к которому подключаются диоды/ создает ряд трудностей.

Во-первых, выпускаемые промышленностью высоковольтные источники питания имеют довольно большие габариты. Система из нескольких сотен таких источников оказывается чересчур громоздкой, потребляет много электроэнергии.

Во-вторых, резистивные делители ограничивают максимальную загрузку ФЭУ из-за падения напряжения на последних диодах при увеличении среднего значения анодного тока. Для борьбы с этим явлением применяют подпитку последних диодов от дополнительных мощных выпрямителей, что еще сильнее усложняет создание систем питания для большого количества ФЭУ.

Необходимость автоматизации управления большими установками выдвигает дополнительное требование к источникам питания - возможность цифрового управления выходным напряжением при помощи ЭВМ. Такая возможность тем более необходима, когда установка должна перестраиваться для регистрации частиц с различной ионизирующей способностью, например протонов и различных ядер.

В последнее время промышленность освоила выпуск высоковольтных источников с цифровым управлением, однако отменные выше недостатки систем питания ФЭУ с применением резистивных делителей при использовании таких источников сохраняются.

С нашей точки зрения питание диодов ФЭУ не от делителя, а от умножителя напряжения имеет ряд преимуществ. Во-первых, диодно-конденсаторный умножитель напряжения, в отличие от резистивного делителя, не потребляет мощности в режиме холостого хода. Во-вторых, выходное сопротивление такого умножителя /при частоте подводимого переменного напряжения десятки килогерц, величине емкости передающих конденсаторов десятки нанофард и 15 ступенях умножения/ сравнимо с выходным сопротивлением резистивного делителя /десятки-сотни килоом/, однако для промежуточных ступеней умножителя, к которым подключаются диоды ФЭУ, оно ниже, и для тех ступеней, к которым подключены последние диоды, снижается до единиц килоом. Это хорошо согласуется с распределением токов диодов ФЭУ. Поэтому ФЭУ, питающиеся от умножителей напряжения, сохраняют работоспособность при больших нагрузках, чем ФЭУ с резистивным делителем. Введение же цепи отрицательной обратной связи по напряжению снимает вопрос о максимальной нагруз-



ке, поскольку выходное сопротивление умножителя в точках подключения последних диодов падает в этом случае до сотен ом, и заметное изменение напряжения на диодах происходит только при таких токах, которые недопустимы для ФЭУ.

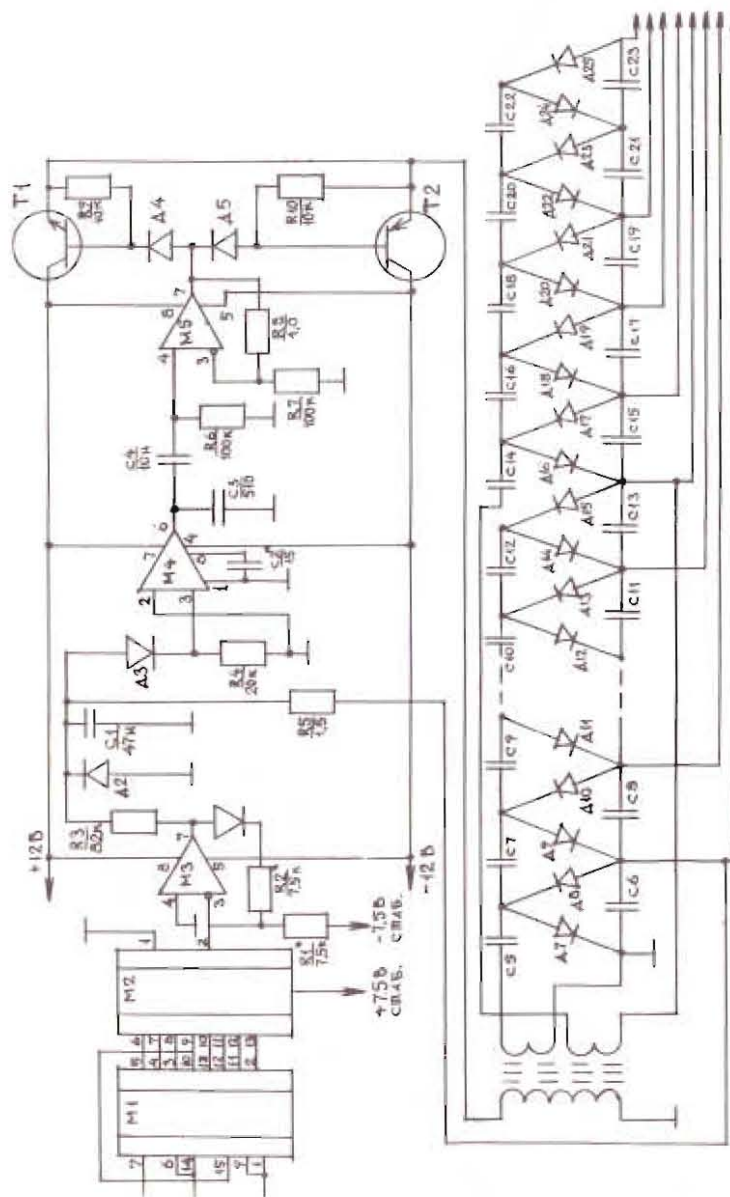
В отечественной литературе описан ряд экономичных и малогабаритных источников питания для ФЭУ с непосредственным подключением диодов к ступеням умножителя напряжения <sup>1,2,3/</sup>. Однако эти источники не имеют цифрового управления выходным напряжением. Описываемые же источники с цифровым управлением /напримр, <sup>4/</sup>, разрабатываемые в основном для питания пропорциональных камер, могут применяться для питания ФЭУ только через резистивный делитель.

При создании установки СМС <sup>5/</sup>, содержащей около 300 ФЭУ, нами были разработаны и испытаны малогабаритные высоковольтные высокостабильные преобразователи напряжения с цифровым управлением для питания ФЭУ, имеющие следующие особенности:

1. Цифровое управление выходным напряжением, которое может осуществляться как вручную, с панели блока управления, так и программно, от ЭВМ.
2. Малые габариты, что позволяет устанавливать преобразователь на ФЭУ вместо делителя и диоды ФЭУ подключать непосредственно к соответствующим ступеням умножителя напряжения.
3. Малый потребляемый ток от источников  $\pm 12$  В /8 мА в холостом режиме/.
4. Высокую стабильность выходного напряжения /дрейф за 8 часов работы не превышает 2 В/.

Принципиальная схема преобразователя приведена на рис.1.

Информация о необходимом напряжении передается в последовательном двоичном коде. Сдвиговый регистр М1 преобразует последовательный код в параллельный, после чего подается на вход цифроаналогового преобразователя М2. Аналоговый сигнал снимается с инверсного выхода ЦАП. Примененные интегральные ЦАП /К572ПА1А/ имеют токовый выход, поэтому для их нормальной работы необходимо, чтобы следующий за ними операционный усилитель имел малое входное сопротивление, что достигается примененной схемой подключения обратной связи. Использование инверсного выхода ЦАП, ток на котором максимален при нулевом входном коде, вызвано теми соображениями, что для нас важнее обеспечить высокую стабильность выходного напряжения вблизи верхнего предела регулирования, чем вблизи нижнего, а абсолютное значение дрейфа выходного тока ЦАПа будет, очевидно, меньше при меньших значениях величин этого тока. Выходной ток ЦАПа при нулевом коде компенсируется током через резистор R1. Этот резистор подключен к высокостабильному напряжению -7,5 В. Для точной компенсации нужно, чтобы это напряжение по модулю было в точности равно опорному напряжению ЦАПа /+7,5 В/. Это равенство обеспечивается стабилизатором опорных напряжений, схема которого приведена на рис.2. Один такой стабилизатор обеспечивает опорные напряжения для блока из 6-8 преобразователей.



К АННОДАМ  
ФЭУ

Рис.1. Принципиальная схема преобразователя напряжения. М1 - К176ИР2, М2 - К572ПА1, М3, М5 - К140УД8, М4 - К140УД13, Т1 - КТ502Е, Т2 - КТ502Е, Д1 - Д5 - КД521, Д7 - Д25 - КД102В, С5 - С23 - КМ - 4Б - 10000 пф.



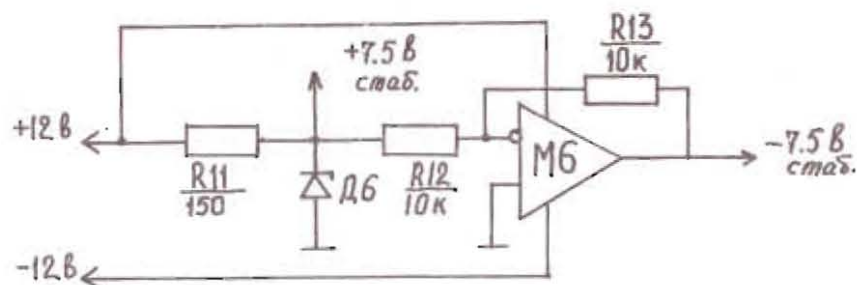


Рис.2. Принципиальная схема стабилизатора напряжений  $\pm 7,5$  В. М6 - К140УД8, Д6 - КС175.

Полученное на выходе М3 постоянное напряжение, пропорциональное записанному в М1 цифровому коду, подается на резисторный токовый сумматор R3, R5. Резистор R5 является резистором обратной связи. Сигнал "ошибки", т.е. разности между заданным и имеющимся на выходе преобразователя напряжением, через диод Д3 подается на вход операционного усилителя с модулятором М4, который вырабатывает меандр с амплитудой, пропорциональной входному напряжению, и частотой, задаваемой конденсатором С2 /в нашем случае 30 кГц/. Диоды Д2, Д3 включены для устранения возможности попадания на вход М4 отрицательного напряжения, которое превратило бы отрицательную обратную связь в положительную. Подобная ситуация могла бы сложиться при переходе с большей величины выходного напряжения на меньшую. В таком случае сигнал ошибки на какое-то время становится отрицательным, а поскольку М4 не чувствителен к знаку входного напряжения, то это могло бы привести не к уменьшению, а к возрастанию выходного напряжения, вплоть до максимального. Для компенсации смещения, вносимого диодом Д3, в цепи обратной связи М3 имеется диод Д1.

Переменное напряжение на выходе М4 сглаживается конденсатором С3 и через разделительную цепочку С4, R6 подается на вход операционного усилителя М5. Коэффициент усиления этого усилителя ограничен цепью обратной связи величиной 10. С выхода М5, через эмитерные повторители Т1, Т2 переменное напряжение подается на первичную обмотку трансформатора. Необходимость операционного усилителя М5 вызывается малой максимальной амплитудой переменного напряжения на выходе М4, которая по паспортным данным этих микросхем составляет 1 В.

В преобразователе используется трансформатор с ферритовым сердечником М200НМ9 Ш 6х6, в первичной обмотке 70 витков провода ПЭЛ 0,1, во вторичной - 800 витков провода ПЭЛ 0,07. Вторичная обмотка трансформатора подключена к входу умножителя напряжения, со ступеней которого подается питание на диоды ФЭУ. Если примененный ФЭУ требует неравномерного делителя, то могут

быть использованы дополнительные вторичные обмотки, подключаемые, как показано на рис.1. При этом разность потенциалов между вторичными обмотками может быть значительной /до 2 кВ/, поэтому катушка трансформатора изготовлена из фторопласта.

Частота переменного напряжения выбрана близкой к резонансной частоте системы трансформатор-умножитель. Это приводит к снижению тока холостого хода.

Калибровка преобразователя производится подбором резисторов R1, R2, R5.

Основные характеристики преобразователей: максимальное выходное напряжение - 2,56 кВ, оно определяется восьмиразрядным кодом управления и заданной дискретностью изменения напряжения; дискретность изменения напряжения 10 В; напряжения питания  $\pm 12$  В; ток, потребляемый от источников питания в холостом режиме, - 8 мА; максимальный выходной ток, подаваемый на фотокатод ФЭУ, - 100 мкА, подаваемый на последние диоды - 2 мА; дрейф выходного напряжения за 8 часов работы на фотокатоде не превышает 2 В; размеры блока из 6 преобразователей 180x150x50 мм

Преобразователи используются для питания ФЭУ-147 сцинтилляционного годоскопа установки СМС, работающей на пучке СФ ОИЯИ<sup>16</sup>/. При этом загрузки до  $10^6$  част./с не вызывают заметных изменений амплитуд сигналов с ФЭУ. В дальнейшем планируется использование преобразователей для питания ФЭУ-84 и ФЭУ-30.

#### Литература

1. Гизатуллин Ш.Р. ПТЭ, 1979, 5, с.159.
2. Лемзяков С.Р., Шереметьев А.К. ПТЭ, 1976, 5, с.172.
3. Трифонов В.В., Горбачев А.Н. ПТЭ, 1932, 6, с.105.
4. Голутвин И.А., Попов А.А., Хабаров В.С. ОИЯИ, 13-82-95, Дубна, 1982.
5. Бельзер Л.И. и др. ОИЯИ, 13-84-712, Дубна, 1984.

Рукопись поступила в издательский отдел  
26 ноября 1985 года.