

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ И ИННОВАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

АЛМАТИНСКИЙ ФИЛИАЛ НИЯУ МИФИ

**ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ**

**ИЗУЧЕНИЕ ФОНОВОГО ПОТОКА МЮОНОВ ПРИ
ПОМОЩИ СЦИНТИЛЛЯЦИОННОГО ДЕТЕКТОРА**

Студент
Научный руководитель

А. Тишков
Н. Ережеп

Алматы - 2024 г.

Содержание

1 Введение	3
2 Устройство установки	4
3 Обработка данных	6
4 Заключение	8
5 Приложения	9

1 Введение

Мюоны, являющиеся важной составляющей космических лучей, представляют собой элементарные частицы с массой, примерно в 200 раз превышающей массу электрона

$$m_{\mu} = 105.6583755 [2]$$

$$m_e = 0.510998950 [2]$$

Благодаря их высокой проникающей способности, они способны преодолевать значительные толщи материалов, что делает их незаменимыми для исследований в различных областях науки и техники. Регистрация мюонов позволяет изучать процессы, происходящие в атмосфере[3], геофизике, а также ориентироваться под землей[1].

Одним из наиболее эффективных способов детектирования мюонов являются сцинтилляционные детекторы. Они преобразуют энергию частицы в световые вспышки, которые затем регистрируются с помощью фотоумножителей или других фотодетекторов. Простота конструкции, высокая чувствительность и надежность делают такие детекторы широко используемыми как в лабораторных исследованиях, так и в полевых условиях.

В данной работе рассматриваются принципы работы сцинтилляционных детекторов, методики регистрации мюонов и обработки полученных данных.

2 Устройство установки

Сцинтилляторы — вещества, проявляющие сцинтилляцию, то есть излучающие свет при поглощении ионизирующего излучения. Как правило, излучаемое количество фотонов для данного типа излучения приближённо пропорционально поглощённой энергии, что позволяет получать энергетические спектры излучения[5]. Сцинтилляционные детекторы главное применение сцинтилляторов. Они собирают свет, возникающий при сцинтилляции в фотоприемник.

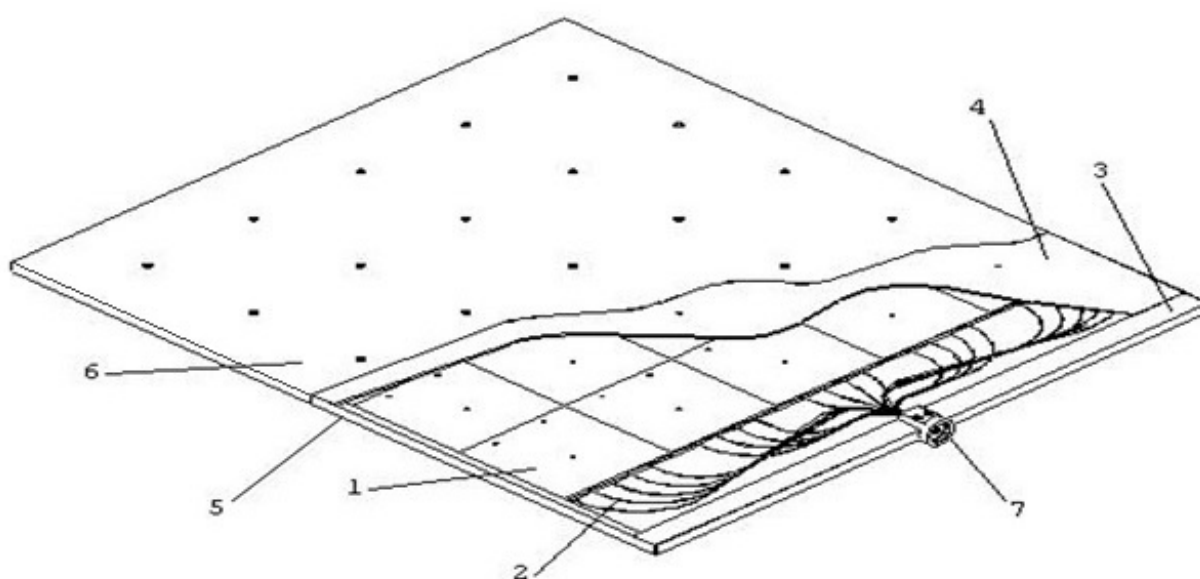


Рис. 1: Конструкция сцинтилляционного детектора. 1 - сцинтилляционная пластина, 2 - спектросмещающее оптоволокно, 3 - основание, 4 - крышка, 5 - кожух (нижняя часть), 6 - кожух (верхняя часть), 7 - переходник для крепления электроннооптического модуля.

Сцинтилляционные пластины изготавливаются в ФГБУ ГНЦ ИФВЭ методом литья под давлением из бесцветного гранулированного полистирола марки BASF-143E (с низким уровнем остаточного мономера, около 0.2% по весу) смешанного с набором сцинтилляционных добавок. Благодаря низкому уровню остаточного мономера литьевой сцинтиллятор более длительное время сохраняет свои оптические и сцинтилляционные характеристики. Так было установлено, что в течение около 10 лет не наблюдалось изменений (в пределах точности измерений 5-7%) характеристик детекторов, в которых использовались литьевые сцинтилляторы. Световыход пластин литьевого сцинтиллятора марки СЦ-301 составляет 60% от антрацена, максимум люминесценции расположен около 420 нм и основное время высвечивания составляет около 2.3 нс[4].

Заметим, что при изготовлении сцинтилляторов методом термической полимеризации мономера (стирола) в блок процесс протекает таким образом, что в блочных сцинтилляторах обязательно присутствует остаточный мономер с заметной концентрацией 1.2-2.5% по весу, а иногда и выше. На воздухе остаточный мономер в блоках окисляется, в результате чего блочные сцинтилляторы со временем желтеют, что требует их замены. Состояние полированных поверхностей толстых блочных сцинтилляторов чувствительно к резкому изменению температуры[4].

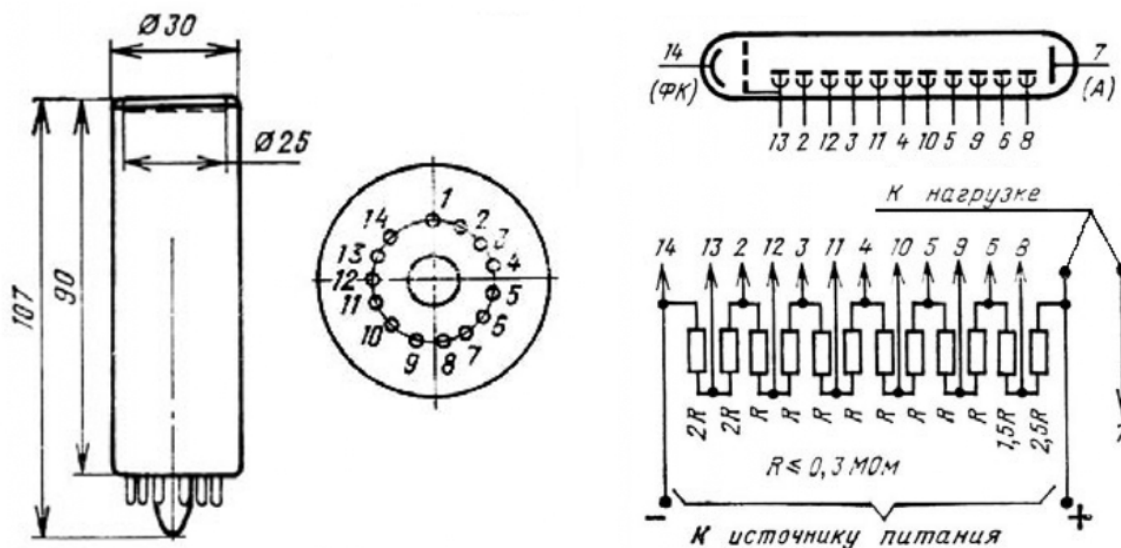


Рис. 2: устройство ФЭУ-115М

В качестве фотоприемника используется фотоэлектронный умножитель ФЭУ-115М[4]. Световой импульс со сцинтилляторной пластины собирается на фотоприемнике при помощи оптоволокна. Малогабаритный фотоэлектронный умножитель типа ФЭУ-115М является электровакуумным прибором с мультищелочным фотокатодом, чувствительность которого к зеленой области спектра специально увеличена. ФЭУ-115М производит завод МЭЛЗ г. Москва. Он состоит из 12 ускоряющих пластин (динодов) и предназначен для преобразования световой вспышки в электрический сигнал с хорошей линейностью до амплитуды выходного сигнала около 2-5 В.

Для работы фотоэлектронного умножителя необходимо высокое напряжение, которое генерируется при помощи импульсного двухполярного генератора и умножителя напряжения Кокрофта-Уолтона. Для регулировки выходного напряжения используется метод изменения скважности ШИМ. Для точного регулирования напряжения реализована обратная связь. Сигнал с ФЭУ усиливается при помощи сдвоенного операционного усилителя. Для работы данной схемы подается двухполярное питание +18В и -18В, скважность ШИМ регулируется сигналом (0-5)В в пределах от (0-1000)В.

Для оцифровки полученного сигнала используется АЦП САЕН DT5730 с максимальной частотой дискретизации в 500 МГц и разрешением 14 бит.

3 Обработка данных

АЦП фиксирует события прилета мюонов, записывая каждый раз 500 значений амплитуды сигнала. Для анализа данных был разработан макрос ROOT. Данный макрос считывает значения из текстового файла, полученного от АЦП, и строит из этих данных график, соответствующий каждому событию. Значения разделены временными промежутками в 2 нс.

Анализ каждого события был отдельно проведен по двум параметрам: суммарной площади сигнала события и по его максимальной амплитуде. Для корректной обработки скрипт инвертирует значения сигнала и отбрасывает все значения ниже определенного предела. Это необходимо чтобы убрать ложные срабатывания АЦП на шум. Далее устанавливаются временные границы каждого события. Среднее значение продолжительности события в ходе анализа составило 10 нс. Далее график фитируется для дальнейшего интегрирования. Фитирование производилось при помощи функции полинома 7й степени. Это сделано ради получения более точного значения в сравнении с методом сложения ряда дискретных значений площадей прямоугольников под графиком каждого события. Разница в значениях площадей для этих двух методов составила 68%.

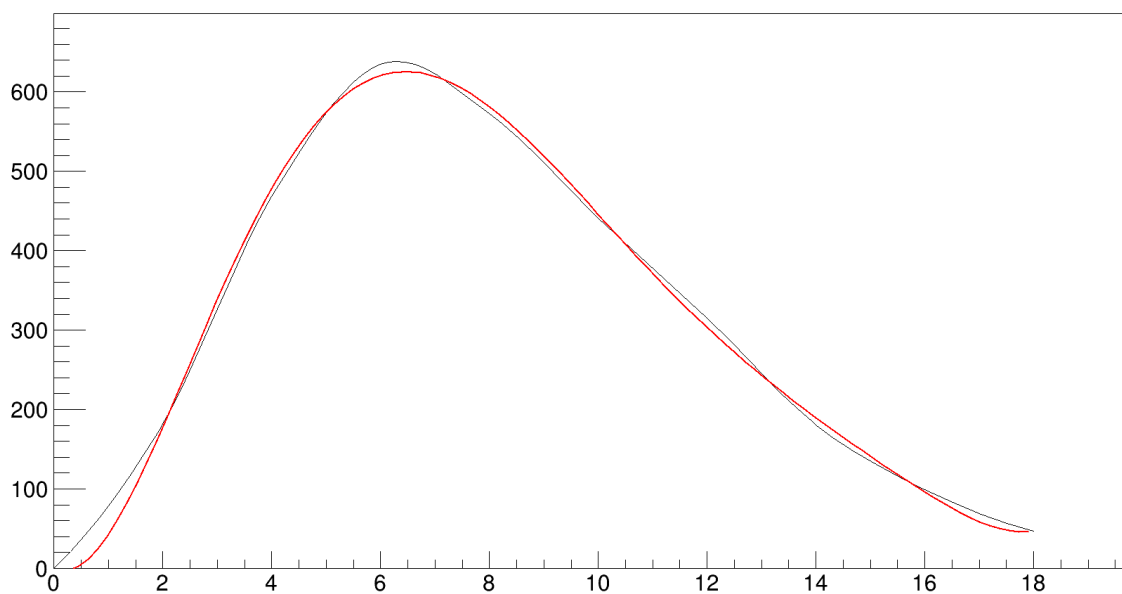


Рис. 3: График события (черный) и фит (красный)

При работе макроса было выявлено что 10% от общего числа событий являются ложными. Далее макрос находит событие с максимальной площадью и нормирует значение площадей всех событий. В результате была получена следующая картина распределения потока мюонов по площадям, которые в некоторой степени пропорциональны энергиям прилетающих частиц.

Аналогичным образом был проведен анализ по максимальной амплитуде входного сигнала. Полученная в ходе такого анализа гистограмма получилась более сжатой, что позволяет нам сделать вывод о том, что в зависимости от расстояния между точкой прилета частицы в сцинтиллятор и фотоприемником максимальная яркость сцинтилляционной вспышки и суммарная световая энергия изменяются по разному.

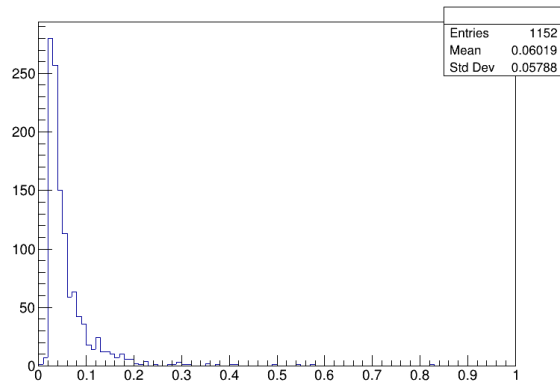


Рис. 4: Распределение потока мюонов по площади

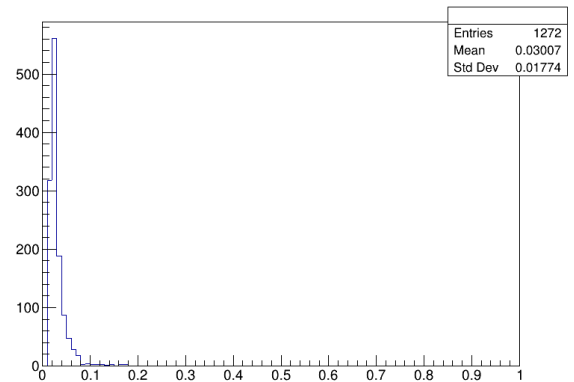


Рис. 5: Распределение потока мюонов по максимальной амплитуде

4 Заключение

В ходе данного исследования было практическим путем получено распределение мюонного потока по величине, близкой к энергии частиц. Определен метод сравнения частиц по площадям, эквивалентным энергиям мюонов. Была установлена часть ложных срабатываний АЦП в размере 10%, что говорит о хорошем соотношении уровня измеряемого сигнала к шуму.

Данный эксперимент подтвердил эффективность сцинтиляционных детекторов для исследования мюонов, а также открыл перспективы для дальнейшего расширения эксперимента, включая улучшение статистики и детальности измерений, что может привести к более глубоким исследованиям характеристик космических лучей и других частиц в рамках высокоэнергетической физики.

Список литературы

- [1] Hiroyuki K.M. “First navigation with wireless muometric navigation system (MuWNS) in indoor and underground environments”. В: 2 (2023).
- [2] S. Navas. “partical data group”. В: 1 (2024).
- [3] Кирилл Стасевич Татьяна Зими́на Алексей Понятов. “Мюоны предсказывают грозы и магнитные бури”. В: *Наука и техника* 3 (2020).
- [4] С.К. Черниченко. “Техническое описание Сцинтилляционного Счетчика для регистрации заряженных частиц космического излучения”. В: 1 ().
- [5] Отто Юльевича Шмидта. *Большая советская энциклопедия*. Т. 1. Советская энциклопедия, 1949.

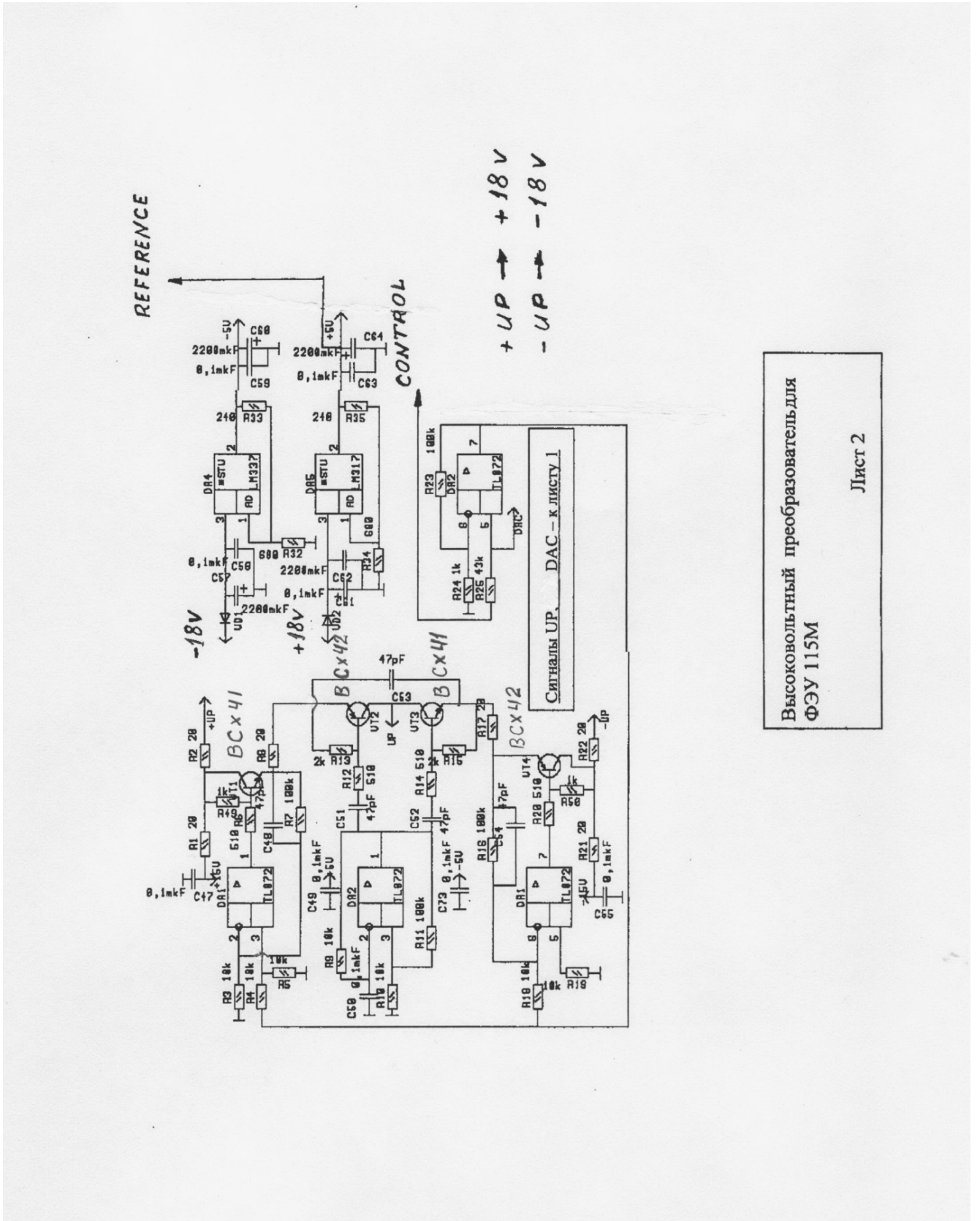
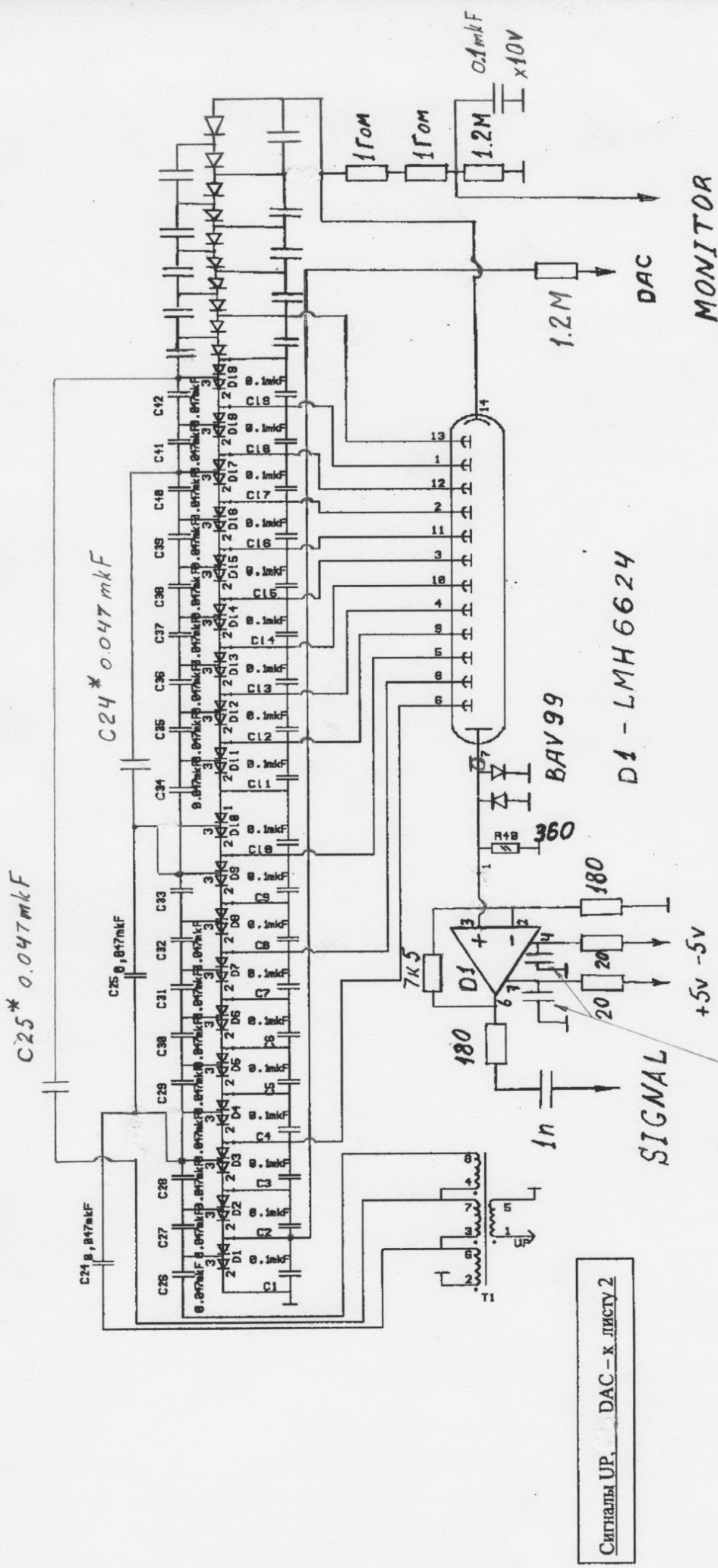


Рис. 6: Импульсный генератор для умножителя Кокрофта-Уолтона



C25 * 0.047mkF

C24 * 0.047mkF

C25 0.047mkF

Сигналы UP, DAC - к листу 2

Высоковольтный преобразователь
для ФЭУ 115М
Лист 1

каждая емкость
состоит из двух
параллельных
10mkF x 10V
и 0.1mkF x 10V

Рис. 7: Высоковольтная часть схемы и усилитель сигнала