



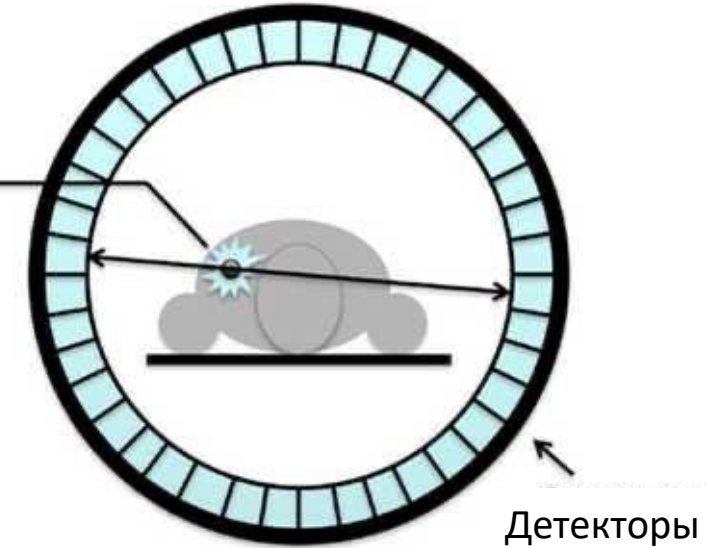
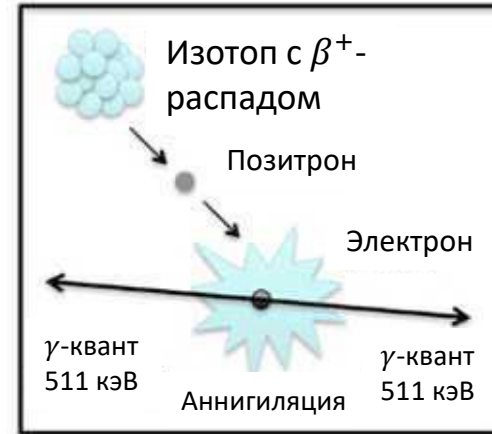
Управление напряжением детекторов макета ПЭТ при помощи микроконтроллера ATmega328P

Студент: Конотоп Алексей Давидович, студент группы М24-112 кафедры №40 «Физика элементарных частиц и космология» ИЯФит НИЯУ МИФИ, лаборант-исследователь ЛФРП ОФН НИЦ «Курчатовский институт»

Научный руководитель: Дубинин Филипп Андреевич, старший преподаватель кафедры №40 «Физика элементарных частиц и космология», лаборант-исследователь ЛФРП ОФН НИЦ «Курчатовский институт»

Принципы ПЭТ-сканирования

- Радиоактивный распад
- Аннигиляция позитрона, рождение двух гамма-квантов
- Детектирование гамма-квантов
- Восстановление изображения



Фтордизоксиглюкоза (FDG)

FDG является наиболее часто используемым радиофармпрепаратом в ПЭТ-визуализации. Он содержит радиоактивный изотоп F-18 и имитирует глюкозу. Из-за высокого потребления глюкозы раковыми клетками и некоторыми другими активными тканями, FDG-ПЭТ широко используется для диагностики, определения стадии и мониторинга рака.

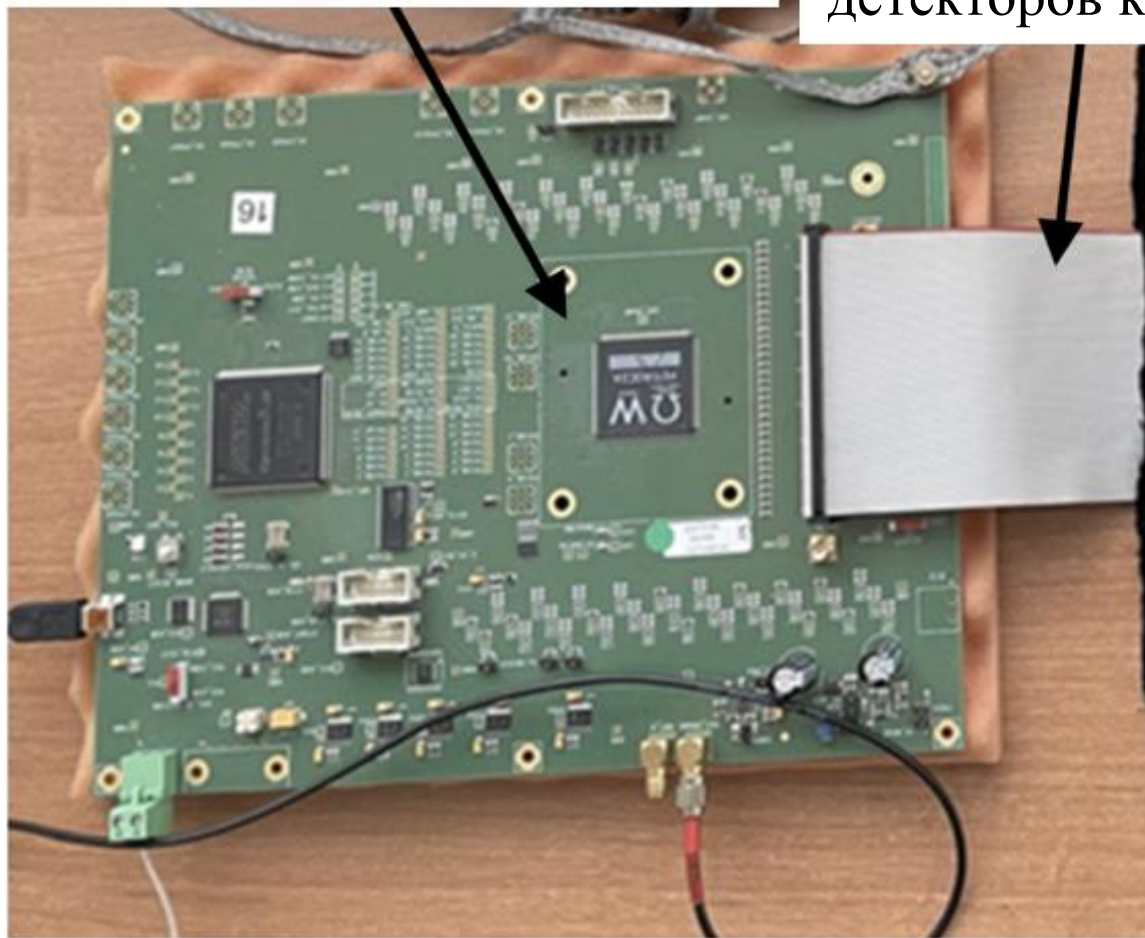
Радионуклид	Полураспад	Тип распада	E_{\max} , МэВ
^{11}C	20,4 мин	$\beta^+(100)$	0,970
^{13}N	10 мин	$\beta^+(100)$	1,2
^{15}O	2 мин	$\beta^+(100)$	1,74
^{18}F	110 мин	$\beta^+(97)$	0,64
^{68}Ga	68 мин	$\beta^+(89)$	1,9
^{82}Rb	72 с	$\beta^+(95)$	3,25
^{124}I	4,2 дней	$\beta^+(23)$	2,14

Макет ПЭТ

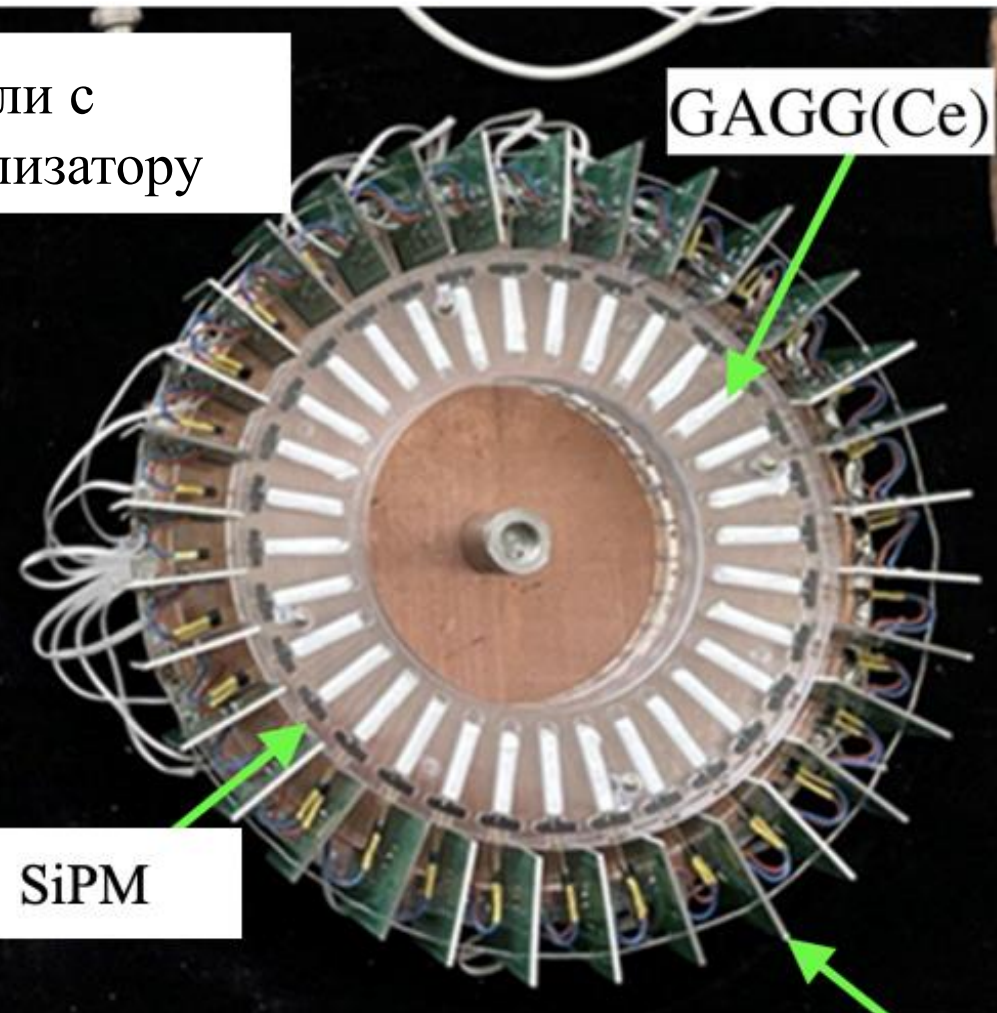
32-канальная плата Retiros2A

Сигнальные кабели с детекторов к анализатору

GAGG(Ce)

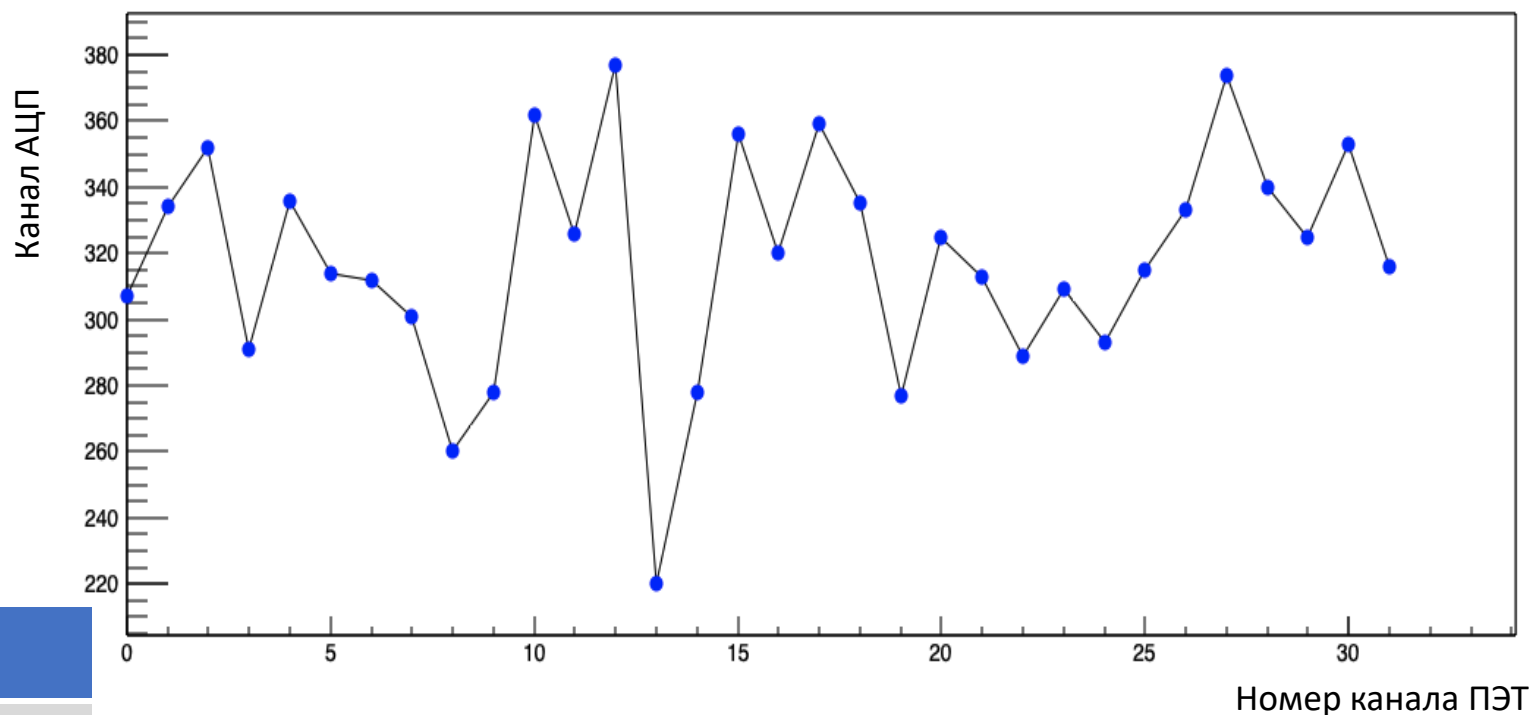
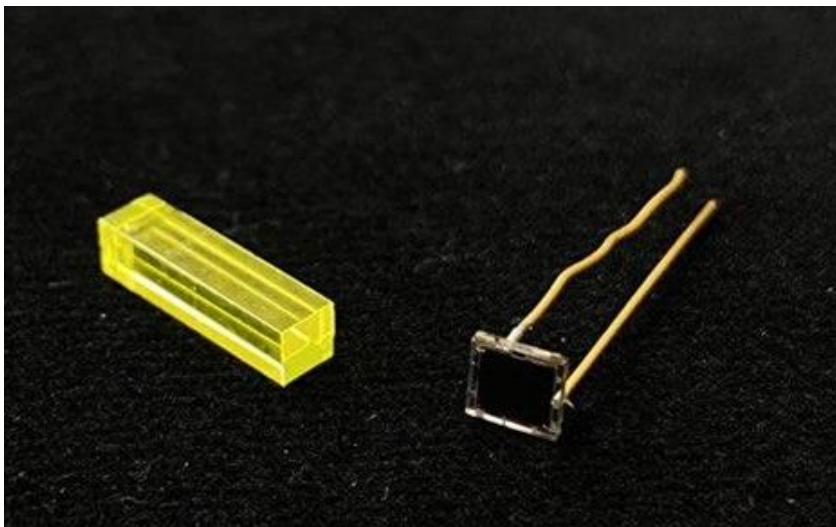


SiPM



Плата питания

Неоднородность установки



Фотоприёмник: SiPM Onsemi FC30035

Напряжение пробоя $V_{br} = 24.2 - 24.7$ В

При длине волны 520 нм и перенапряжении 3 В:

Эффективность регистрации (PDE) = 17%

Усиление = 3×10^6

Ср. положение фотопика = 318 канал АЦП
Разброс значений = 20%

Установка для изучения неоднородности отклика

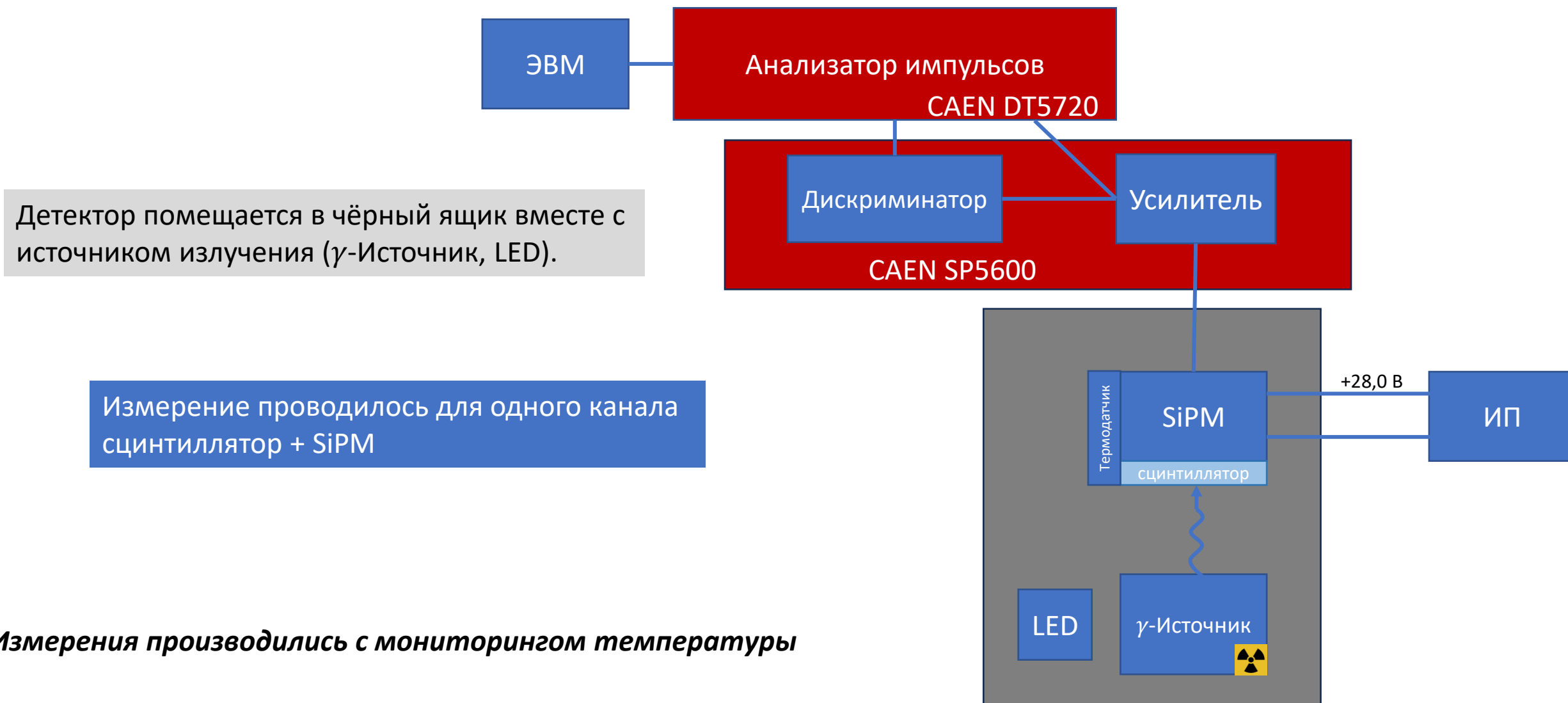
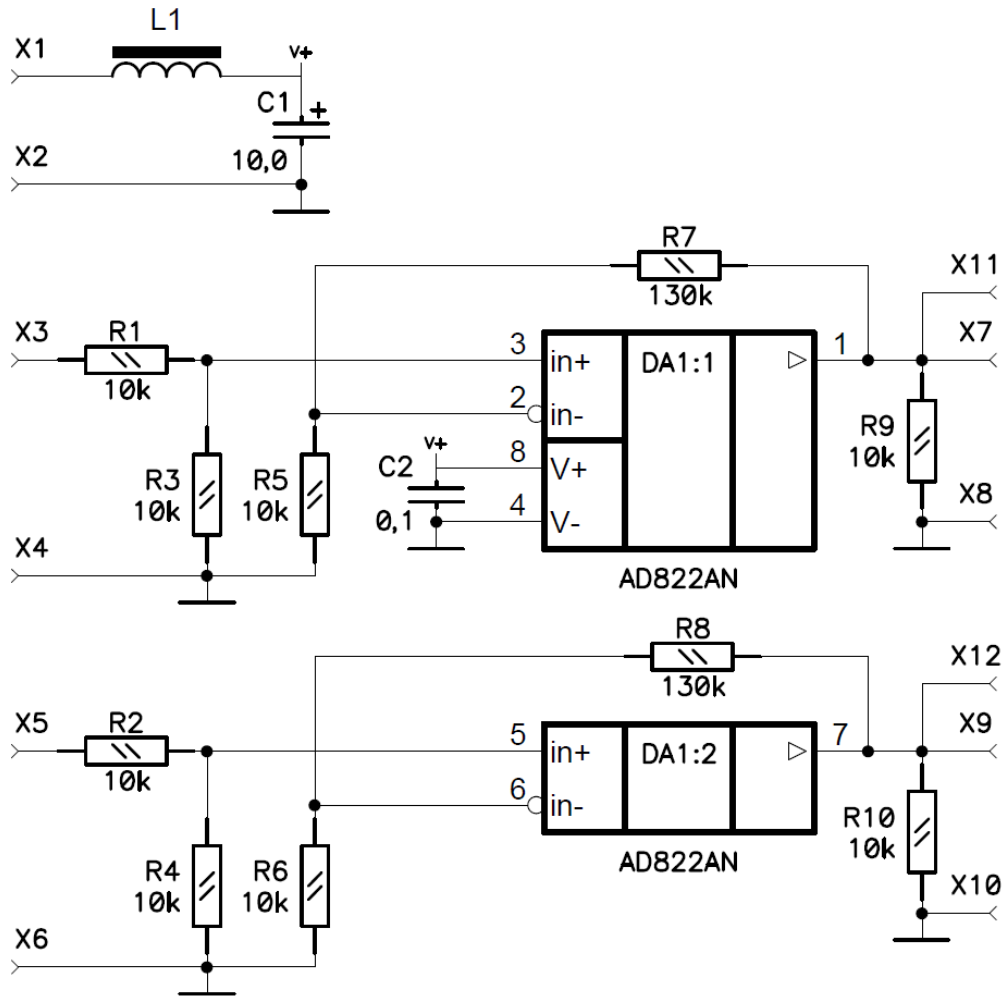


Схема на базе операционного усилителя 'Rail-to-Rail'

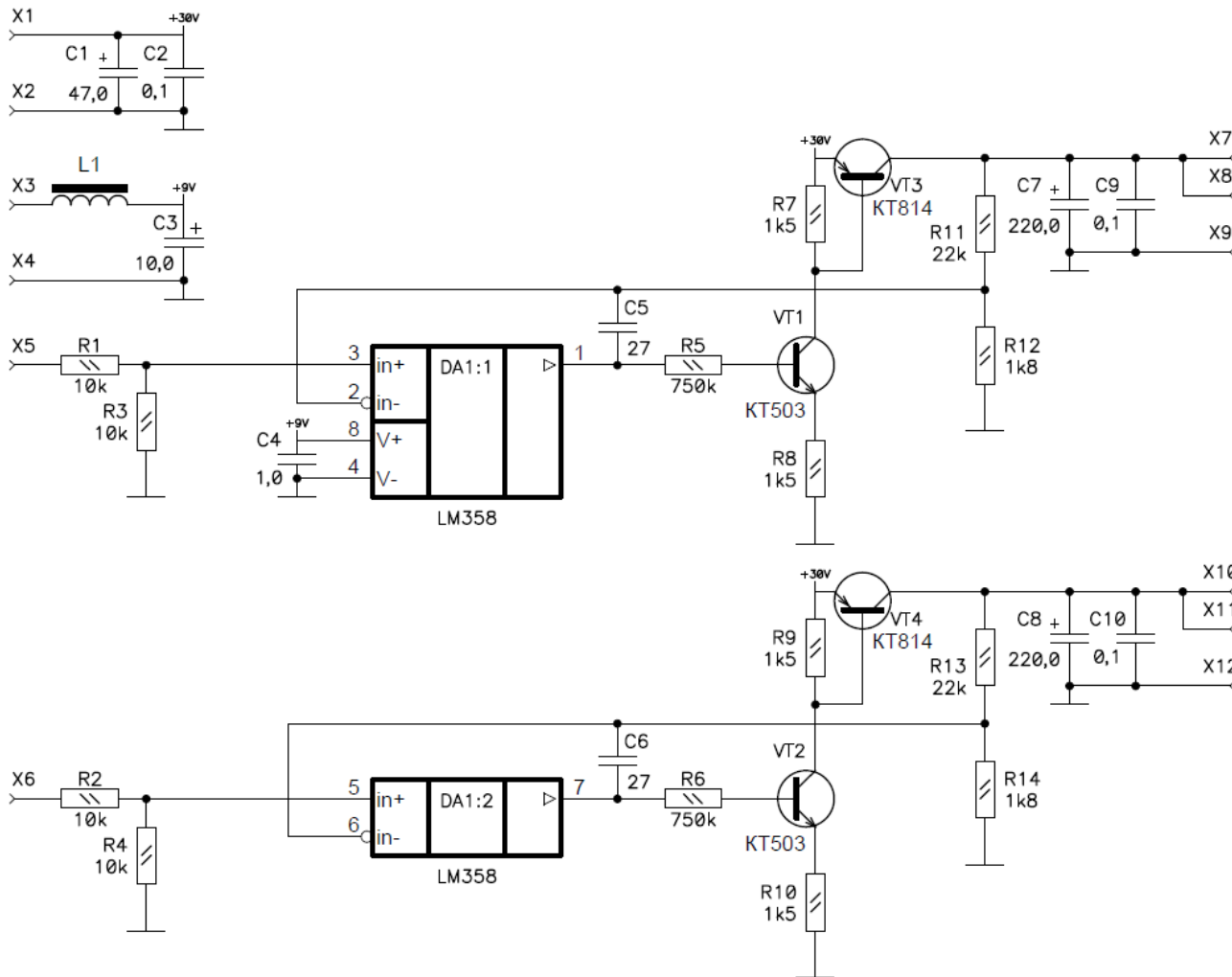


- простота исполнения
- компактность
- возможность внедрения цифрового управления



- более узкий диапазон подстройки
- возбуждение с $f \sim 1\text{кГц}$
- необходимость двуполярного питания

Модификация с операционным усилителем

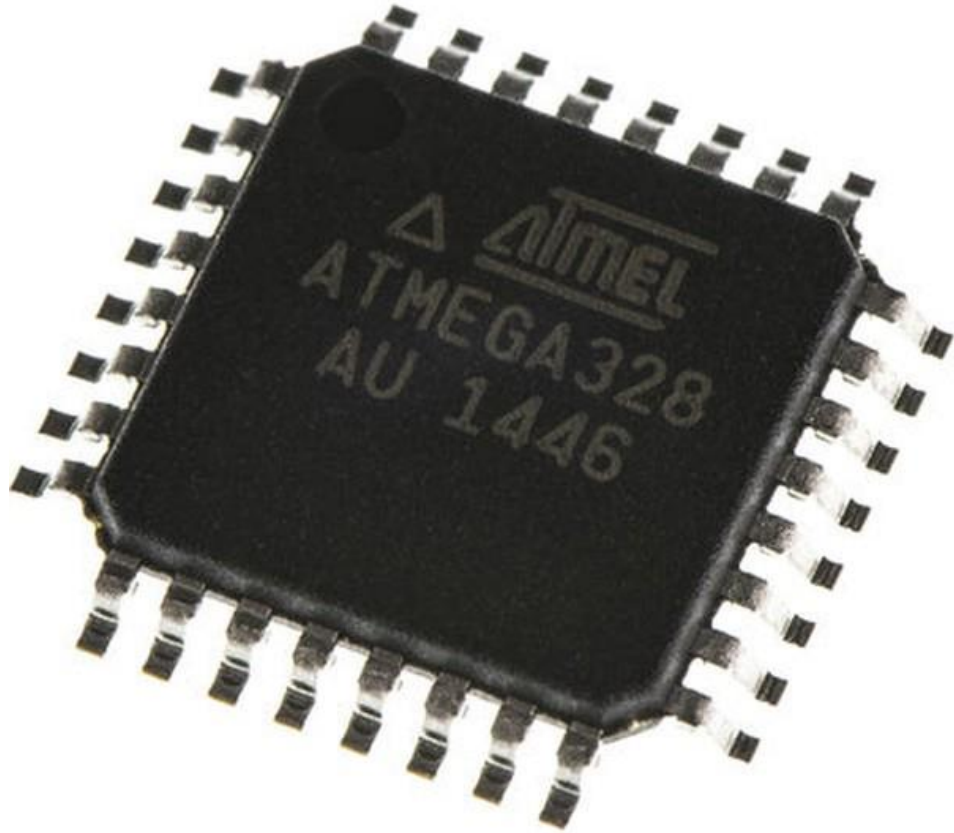


- однополярное питание
- высокая стабильность
- удешевление
- возможность внедрить цифровое управление



- МНОГО КОМПОНЕНТОВ
- СЛОЖНОСТЬ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

Цифровое управление. ATmega328P

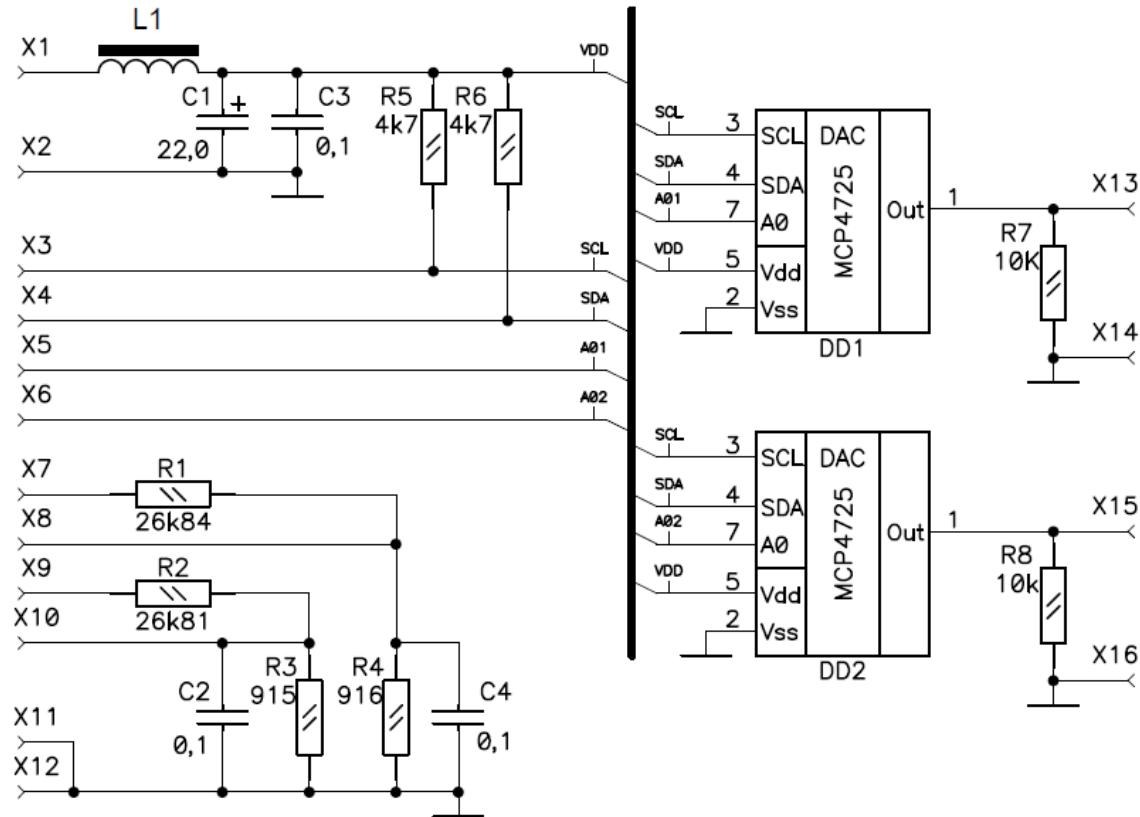


- Дешевизна
- Достаточное быстродействие (16 МГц)
- Поддержка интерфейсов I2C и RS232
- Встроенный 10-разрядный ADC
- Поддержка внешних прерываний

Цифровое управление. Подбор DAC

MCP4725

- 12 разрядов
- поддержка I2C



Выходное сопротивление делителя:
 $R_o = R2 \parallel R3 = 27 \cdot 0,91 / (27 + 0,91) = 0,88 \text{ кОм}$
 Постоянная времени делителя
 $R_o \cdot C2 = 0,088 \text{ мс}$
 Коэффициент передачи по постоянному току:
 $K = R3 / (R2 + R3) = 0.033$
 $U30 = 30 \cdot K = 0.99 \text{ В}$

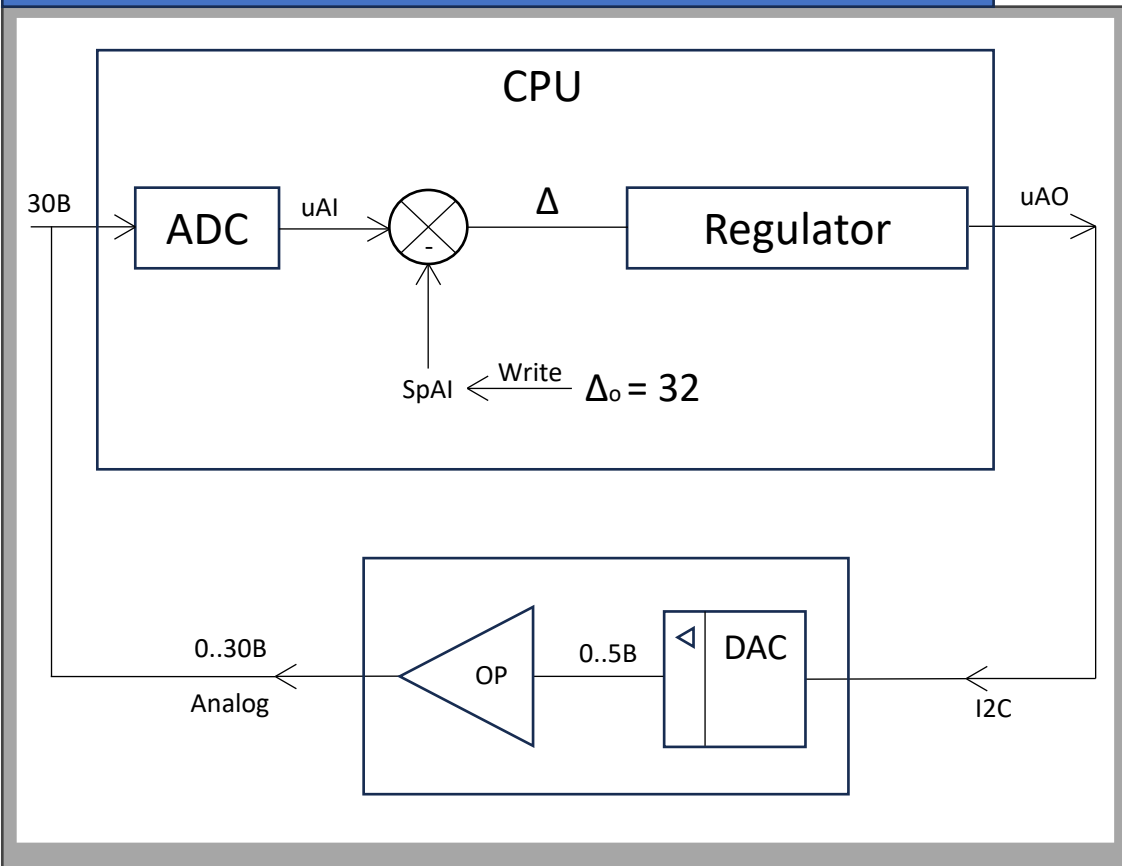
При качественном подборе компонентов напряжения при одинаковом коде DAC отличаются на 100 мВ!

При длительной работе (4 часа) напряжение на выходе стабильно

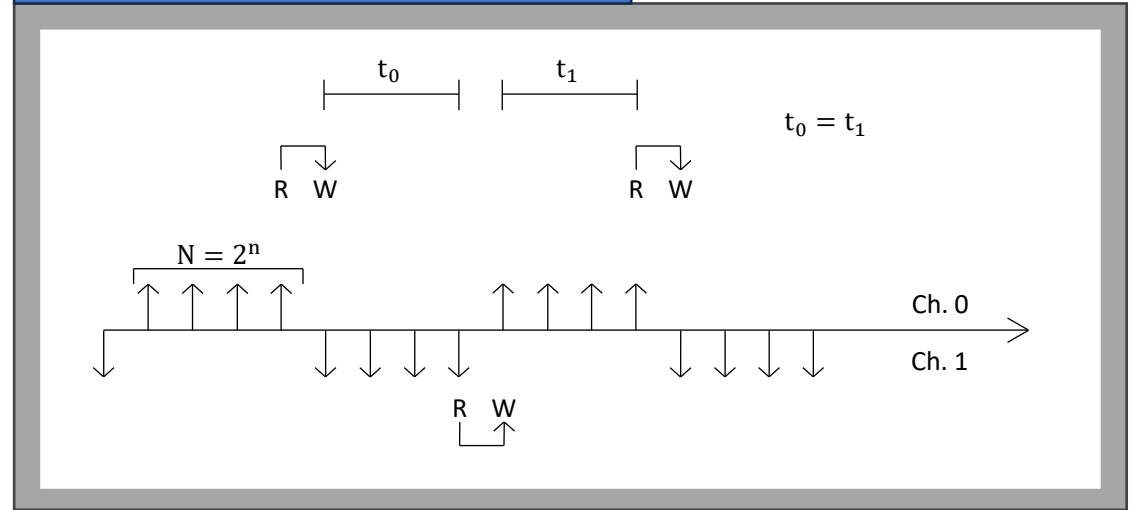
Измерение производится с наблюдением за температурой

Цифровое управление. Механизм обратной связи

Процесс подстройки напряжения со стороны электроники



Процесс опроса электроники

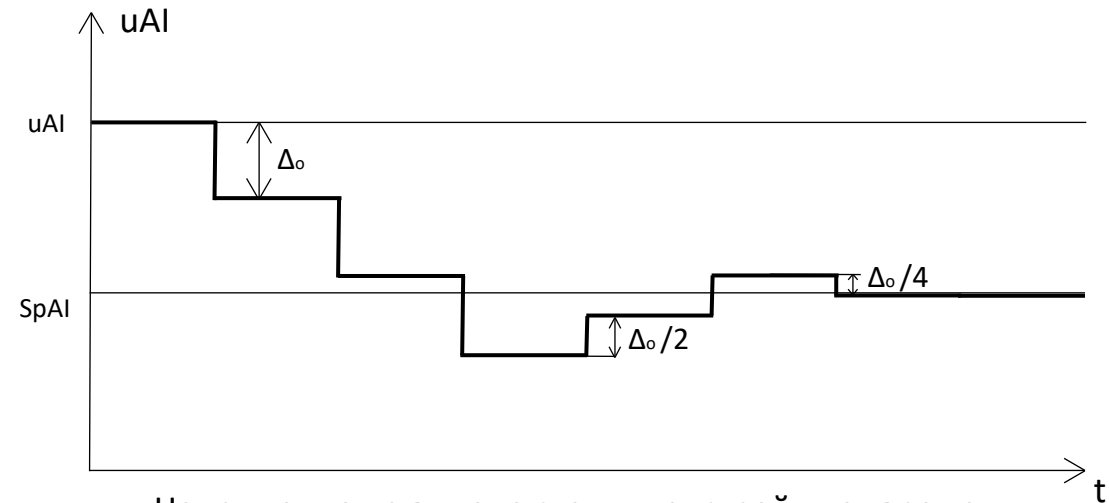


t_0 - время на переходной процесс установки выходного напряжения

t_1 - время измерения результатов управления

R – чтение DAC

W – запись в DAC



Напряжение на выходе схемы подстройки от времени

Цифровое управление. Программное обеспечение

COM7: 9600_8N1

AO, V	AI, V	No.
25.991	24.986	Ch. 0
24.970	24.970	Ch. 1

Temperature = 24 C
Humidity = 20.5 %

00:17:39.913 ID=2302, Sc=126, Bt=40, Sm=Bad

Protocol:

Timestamp	dT	Len	Data
00:17:39.913	985	12	0a fe 08 00 cc 00 70 bc 7e 28 a0 0d
00:17:38.928	1001	27	0a 75 12 17 03 16 03 c0 c1 60 00 00 0...
00:17:37.927	993	27	0a 75 12 0e 03 15 03 c0 bf 60 00 00 0...
00:17:36.934	1006	27	0a 75 12 0f 03 16 03 c0 bf 60 00 00 04...
00:17:35.928	1007	27	0a 75 12 06 03 16 03 c0 bd 60 00 00 0...
00:17:34.921	984	12	0a fe 08 00 ce 00 70 be 7e 28 a0 0d
00:17:33.937	1001	27	0a 75 12 ff 02 16 03 c0 bb 60 00 00 04...
00:17:32.936	1003	27	0a 75 12 fe 02 15 03 c0 bb 60 00 00 0...

Channel #0

Power-down

DAC: 0 => Vout

EEPROM: 0 => Vout

Status: BSY

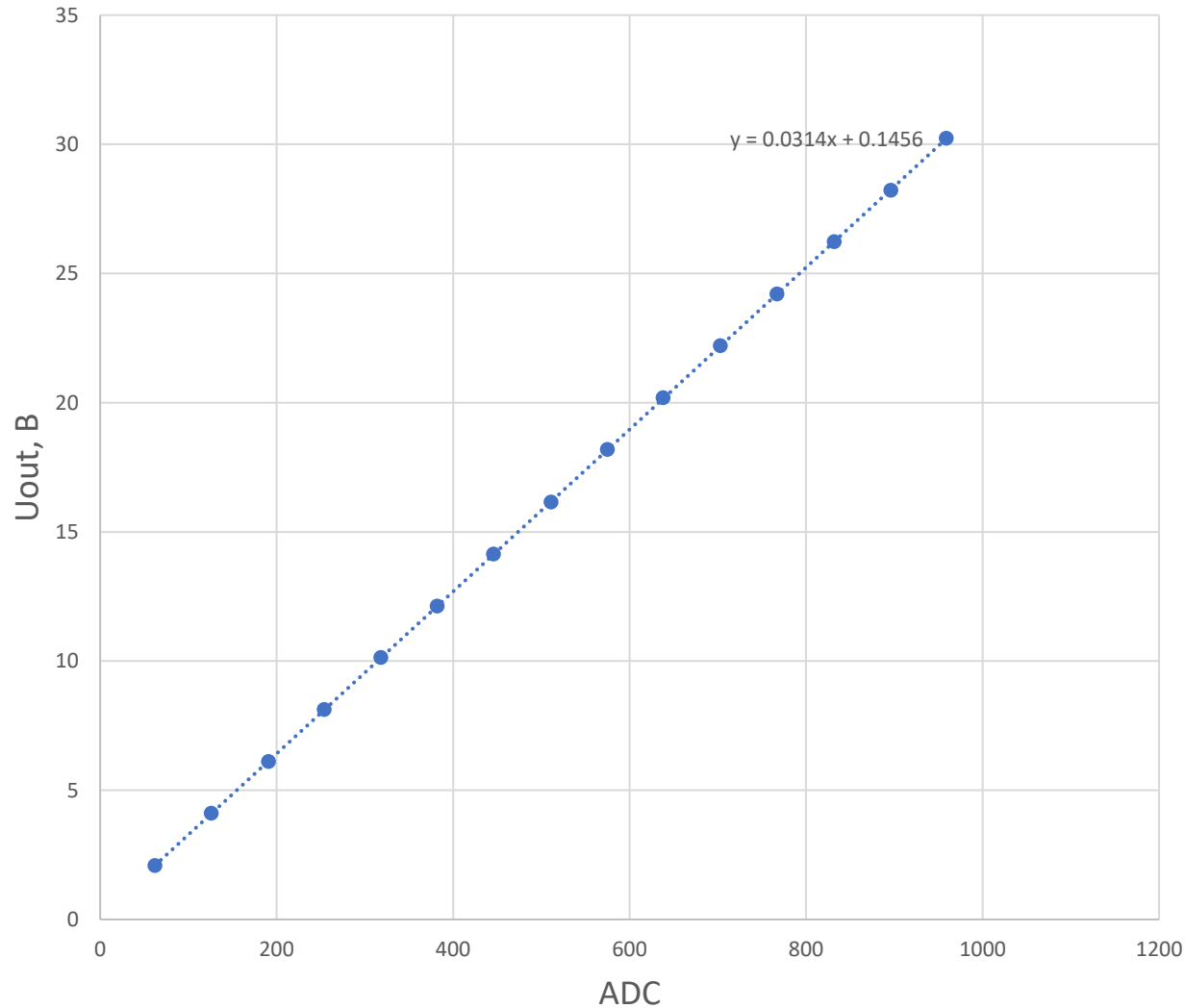
ADC: 0 max: 0 min: 0

Vout, V: 0

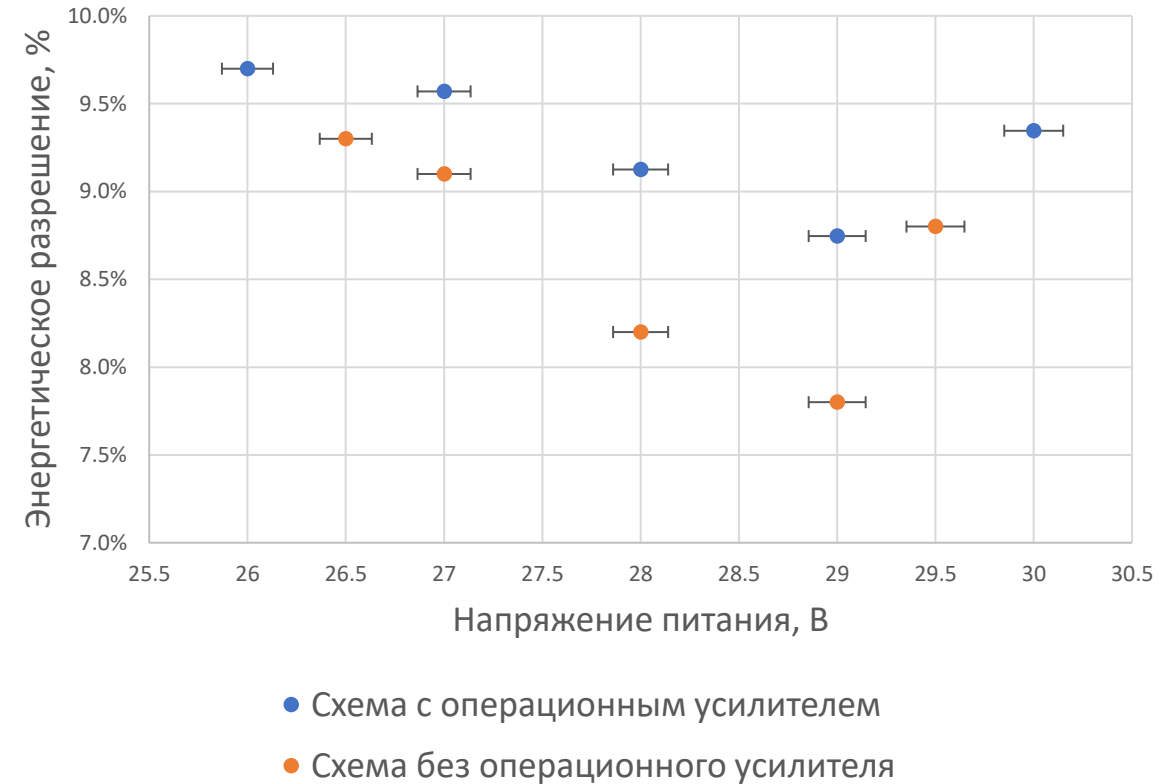
K = 0.0314

Линейность и энергетическое разрешение (1 канал)

Зависимость напряжения питания от кода ADC



Зависимость энергетического разрешения от напряжения



1. Небольшое ухудшение энергетического разрешения обусловлено меньшей статистикой набора данных
2. Аналогично наблюдается минимум в районе 29В

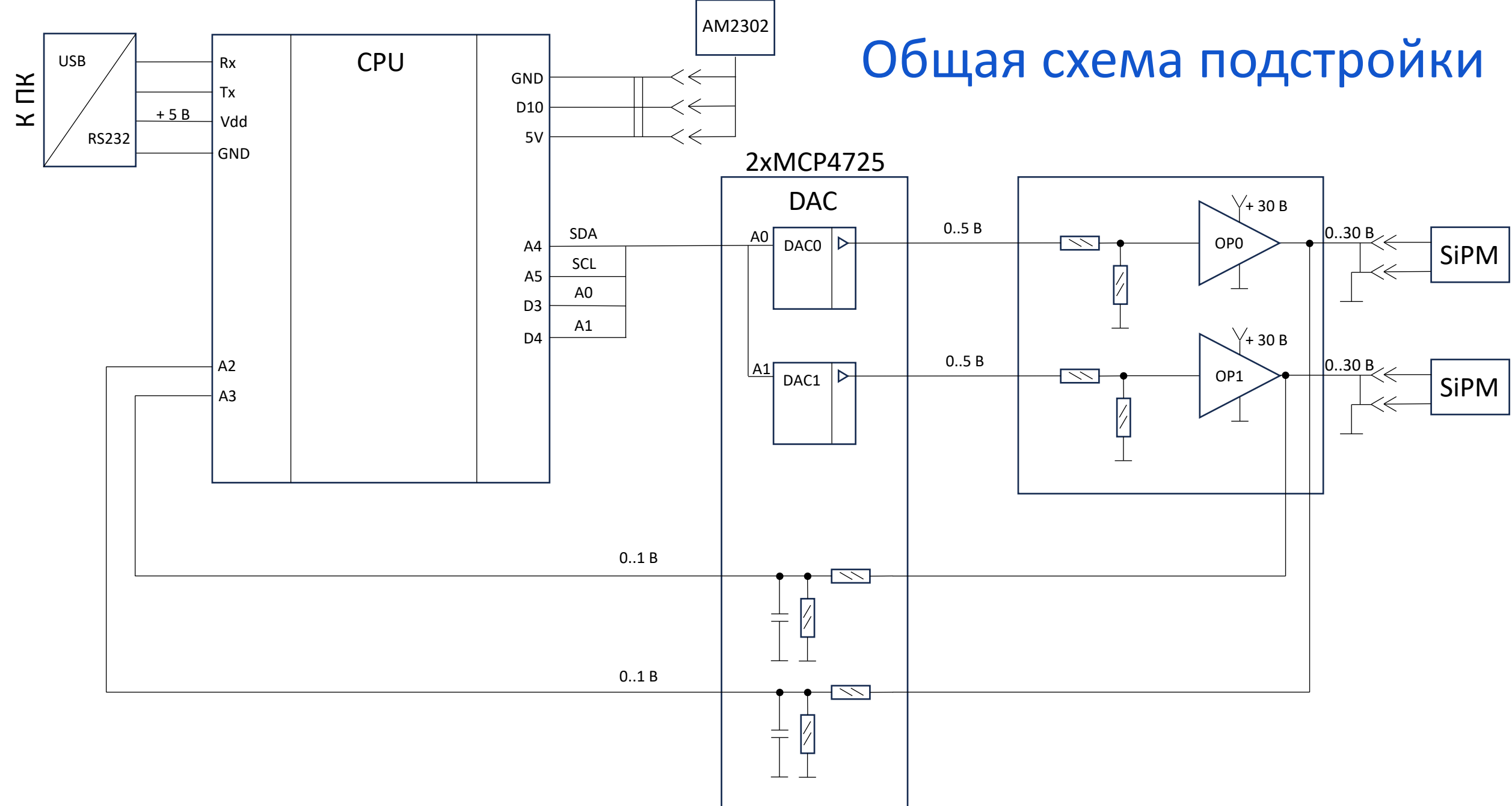
Заключение

- Созданы две схемы подстройки напряжений
- Схема на одном операционном усилителе не принесла ожидаемую стабильность и требует подбора альтернативы
- Модификация с использованием ОУ имеет высокую стабильность и линейность, сохраняя энергетическое разрешение установки
- Реализовано цифровое управление на базе микроконтроллера и DAC
- Разработано программное обеспечение для регулирования и подстройки
- Произведена соответствующая калибровка каналов
- Показано, что благодаря калибровке каналов предложенное цифровое решение не критично к точности подбора элементов схемы
- Решение имеет возможность масштабирования

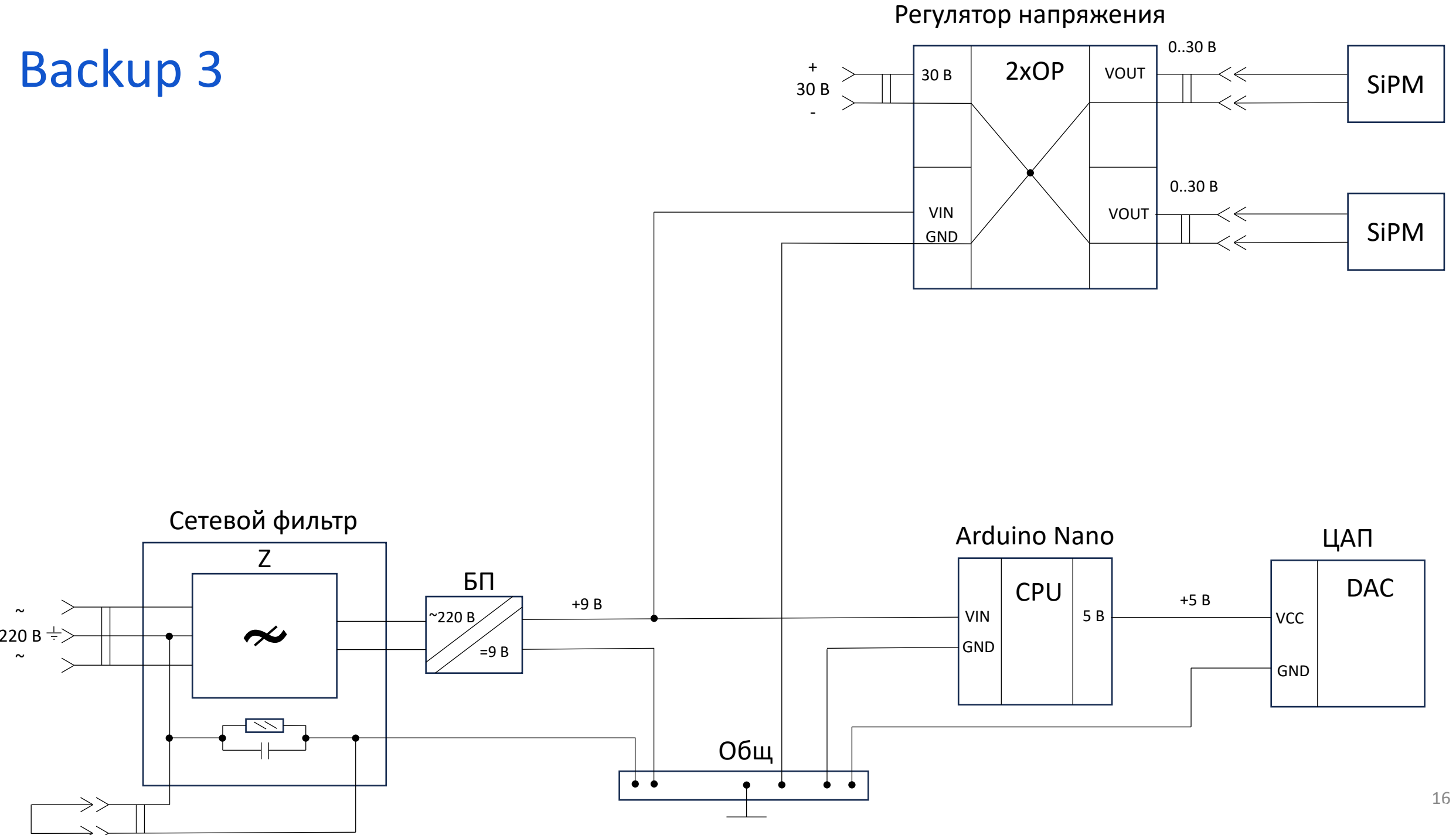
СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

По вопросам обращаться: Конотоп Алексей Давидович, +7(964)522-06-69 akonotop03@mail.ru

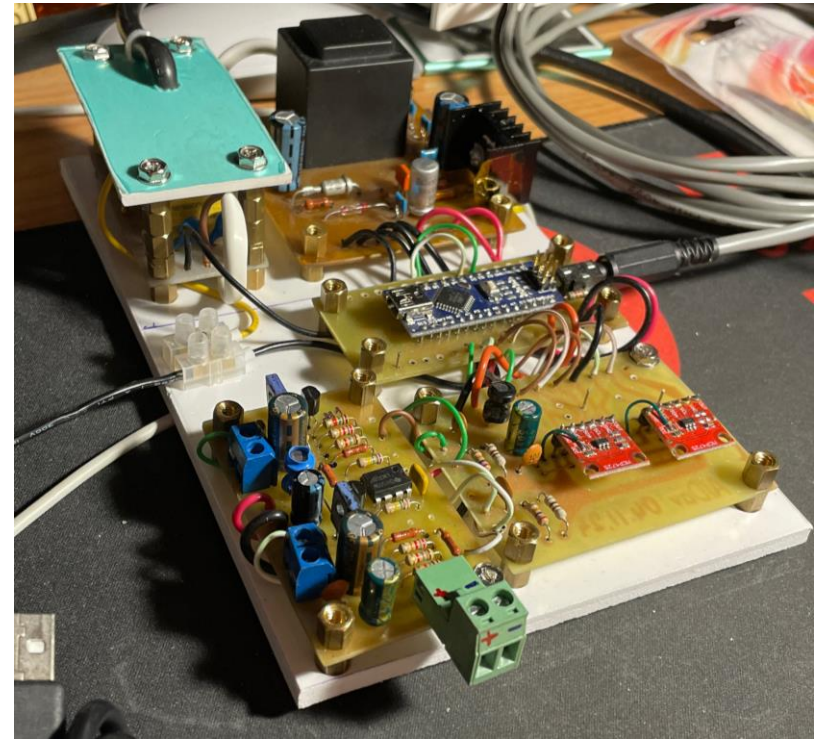
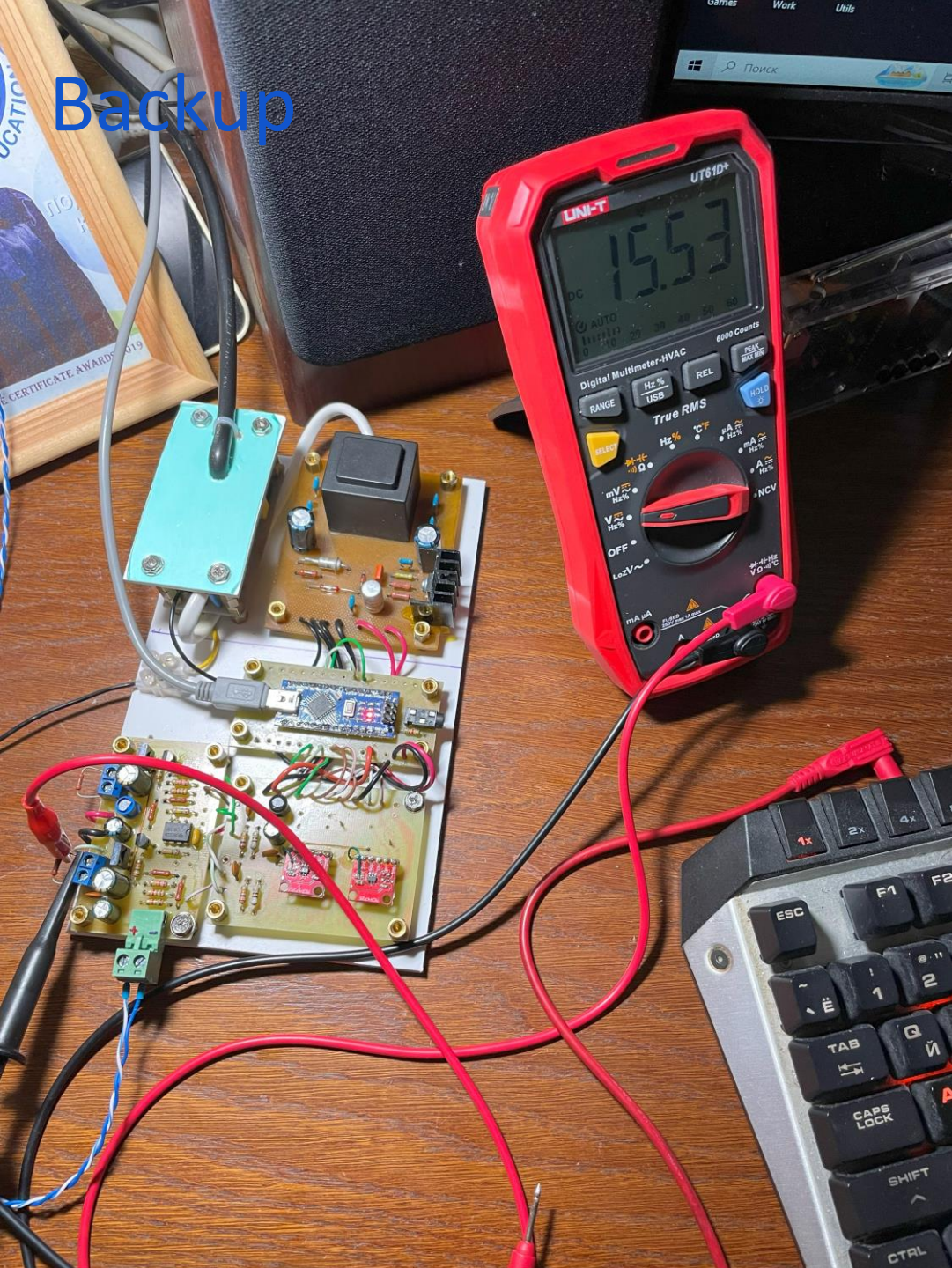
Общая схема подстройки



Backup 3



Backup

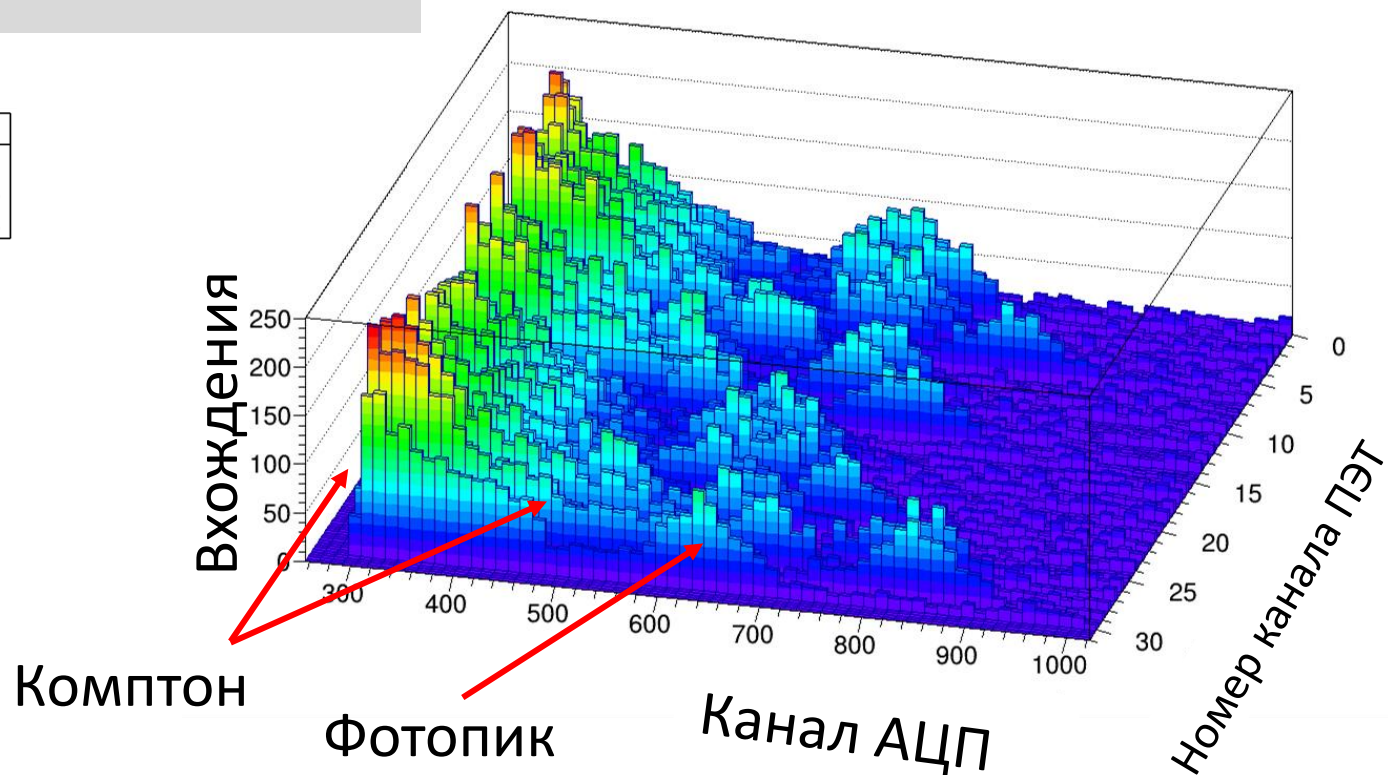
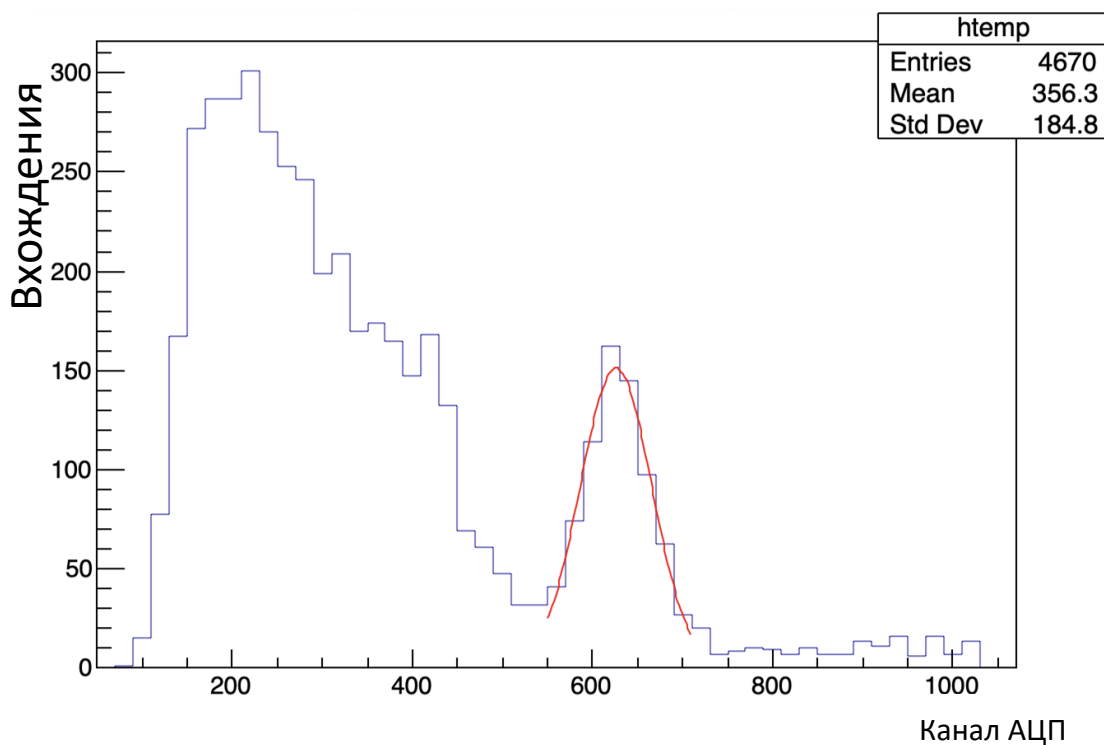


Характеристики модели ПЭТ

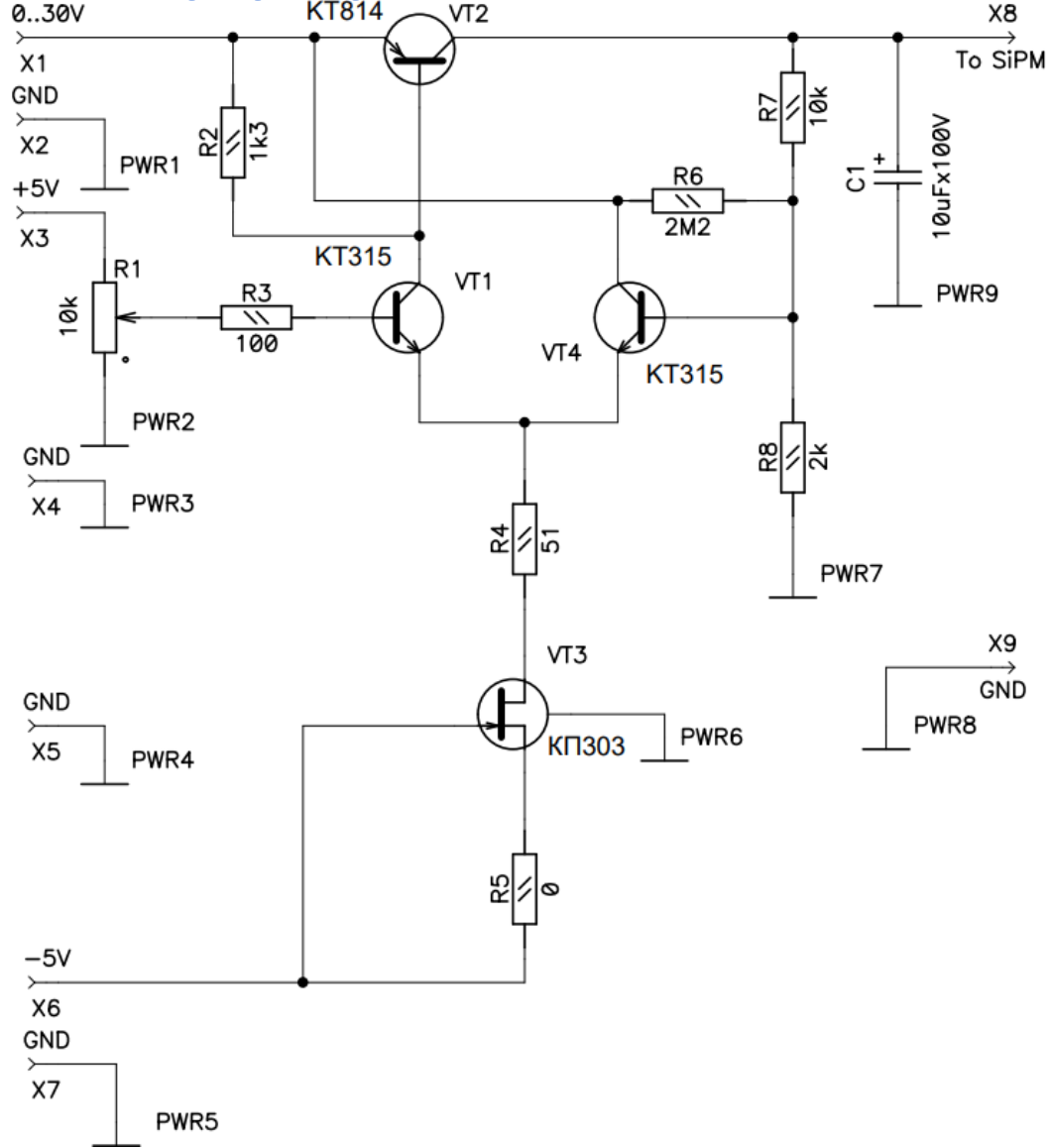
Лучшее энергетическое разрешение (511 кэВ) - 14 %

Лучшее ЭР одиночного детектора (662 кэВ) - 8%

Временное разрешение - 1.80 ± 0.07 нс (одиночный)

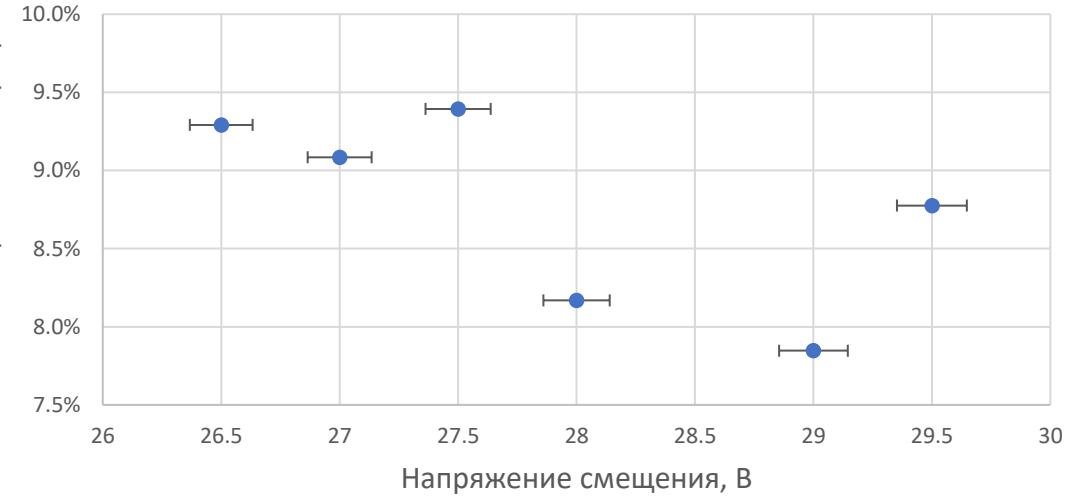


Дифференциальный каскад



Энергетическое разрешение, %

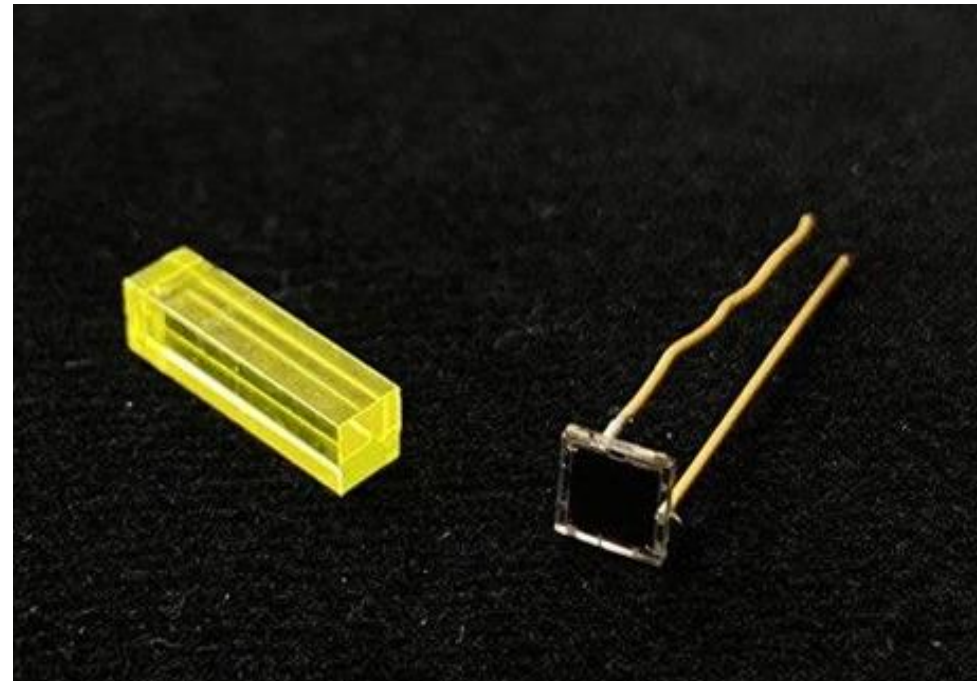
Зависимость энергетического разрешения от напряжения питания



- много различных элементов
- необходимость двуполярного питания
- необходимость использовать дополнительные измерительные приборы
- отсутствие цифрового управления

Материалы детекторов

	LYSO(Ce)	BGO	NaI(Tl)	GAGG(Ce)
Плотность, г/см ²	7.1	7.13	3.67	6.63
Z _{eff}	63	73	50	54.4
λ _{max} , нм	420	480	415	520
t, нс	40	300	230	87(90%) 255(10%)
Световыход, фотон/кэВ	30	10	38	46
Гигроскопичность	Нет	Нет	Да	Нет
Радиоактивность	Да	Нет	Нет	Нет



Неорганические сцинтилляторы GAGG(Ce) 3x3x20 мм

Фотоприёмник: SiPM Onsemi FC30035

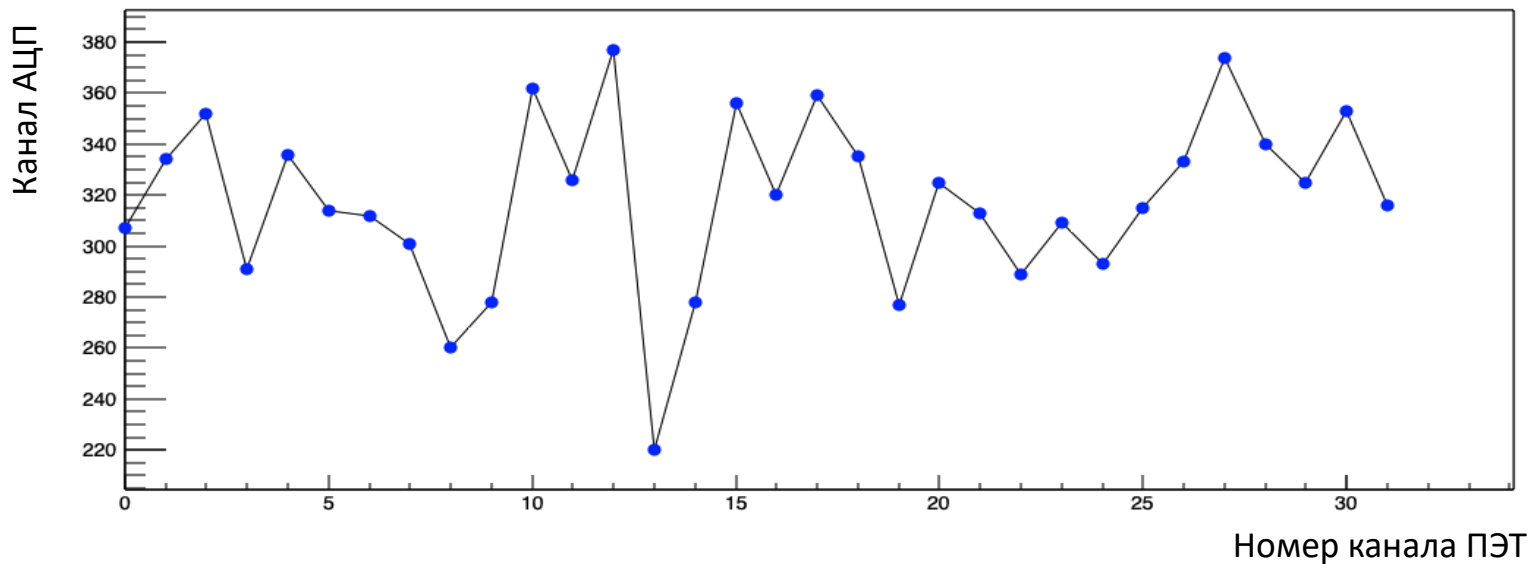
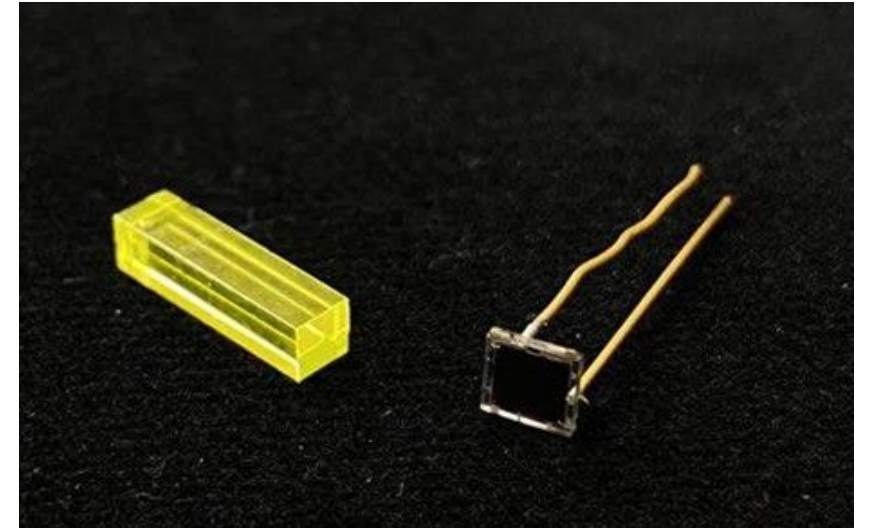
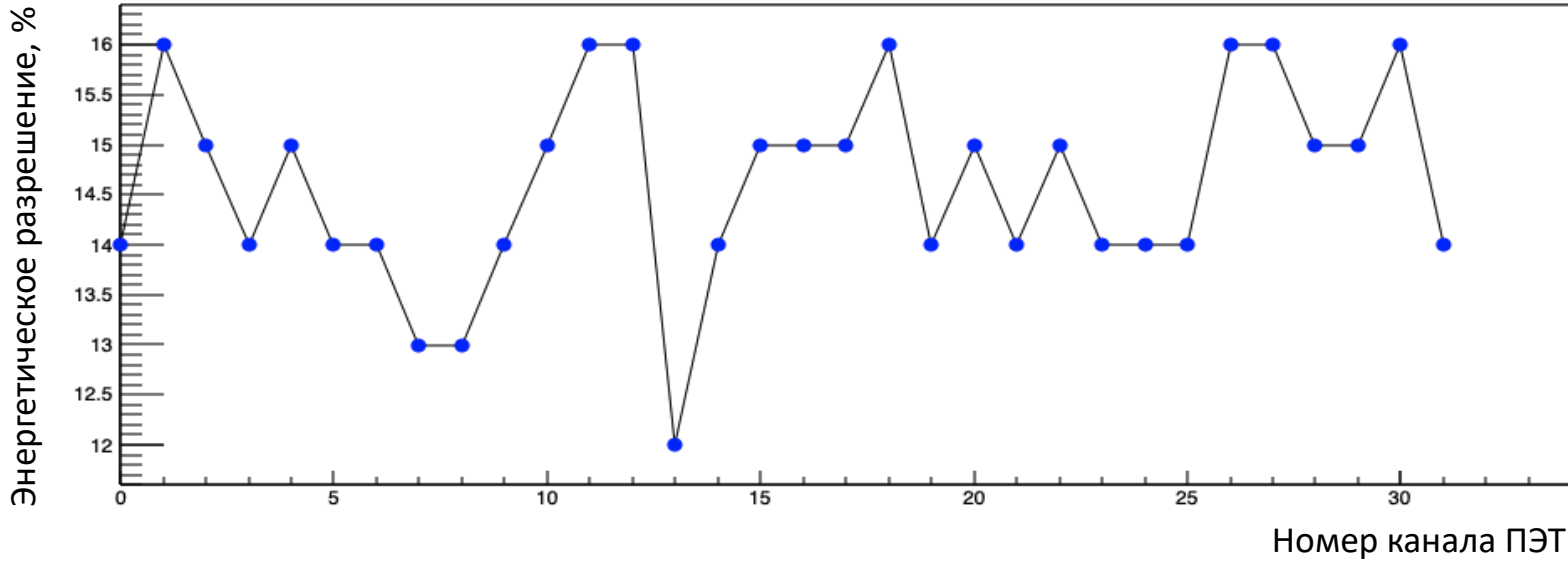
Напряжение пробоя $V_{br} = 24.2 - 24.7$ В

При длине волны 520 нм и перенапряжении 3 В:

Эффективность регистрации (PDE) = 17%

Усиление = 3×10^6

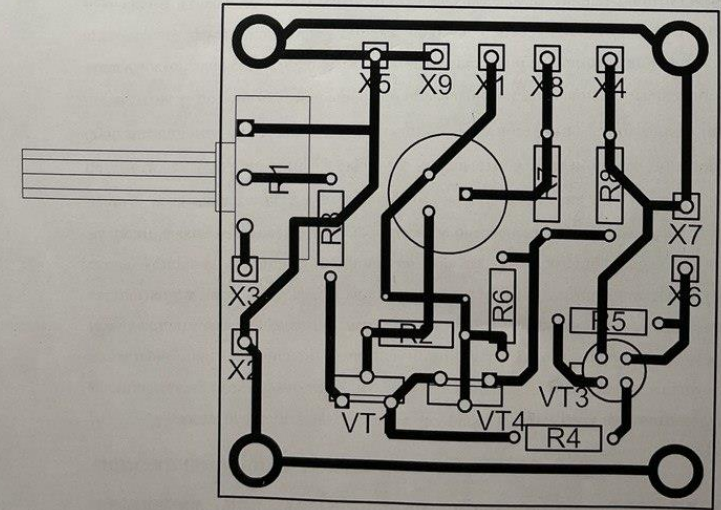
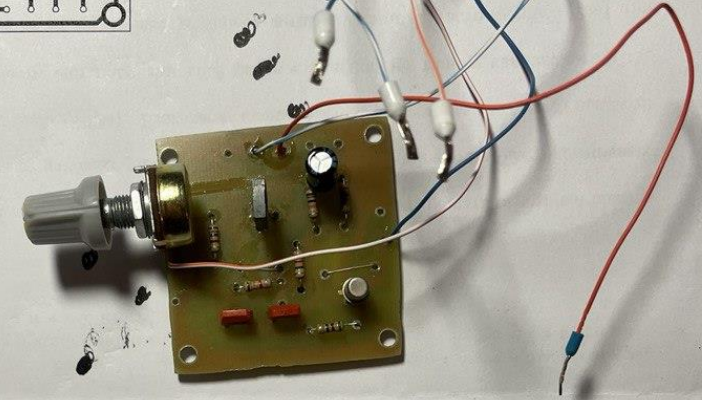
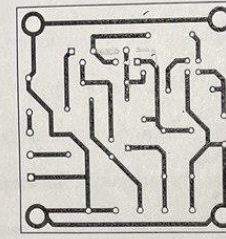
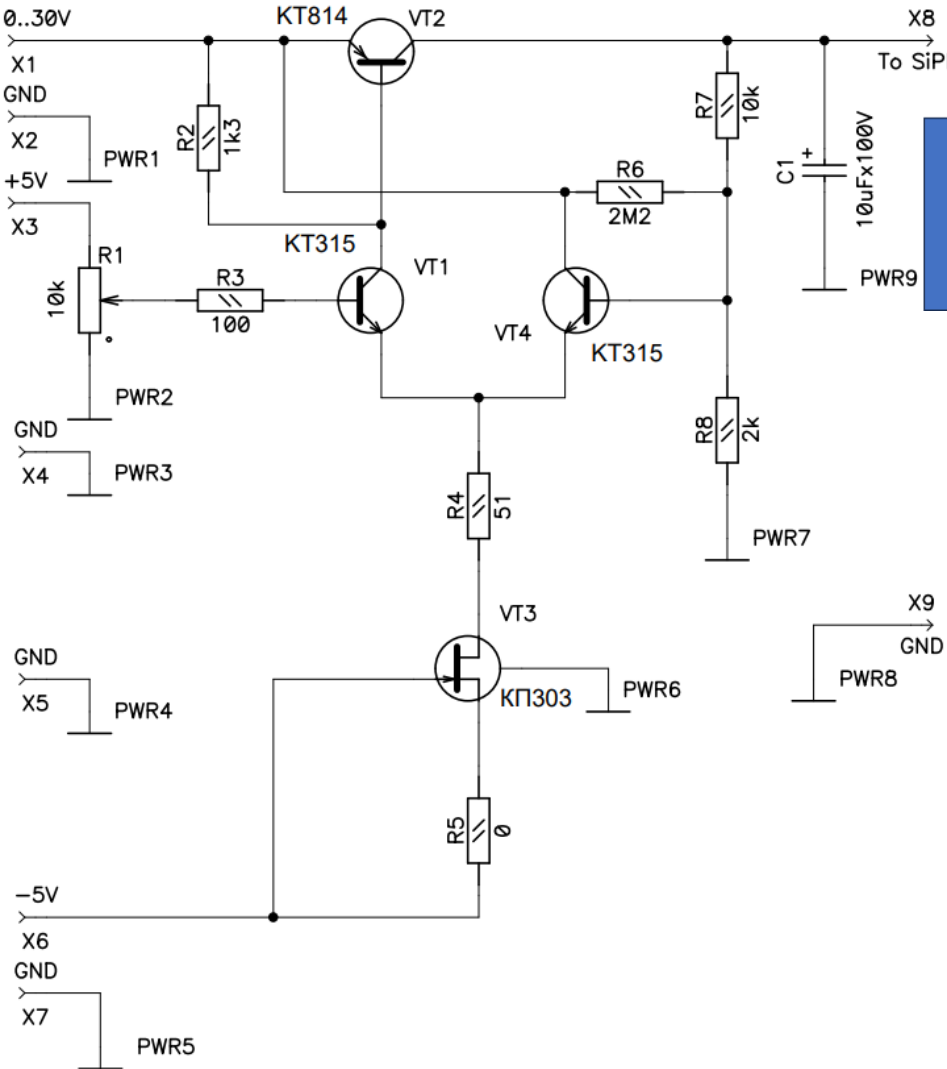
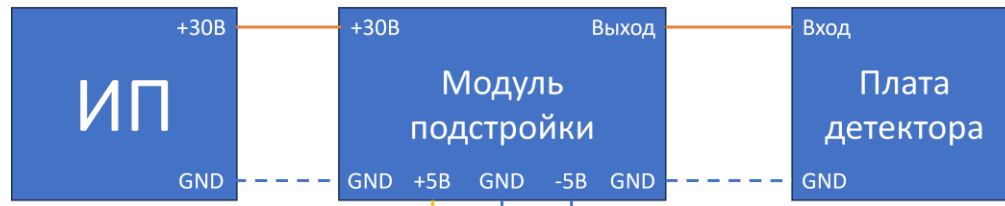
Неоднородность установки



Ср. энергетическое разрешение = 15%
Разброс значений = 9%

Ср. положение фотопика = 318 канал АЦП
Разброс значений = 20%

Backup 1



Backup 2

