



Прототип 8-канального источника питания с заземлённым электродом для кремниевых фотоумножителей

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»

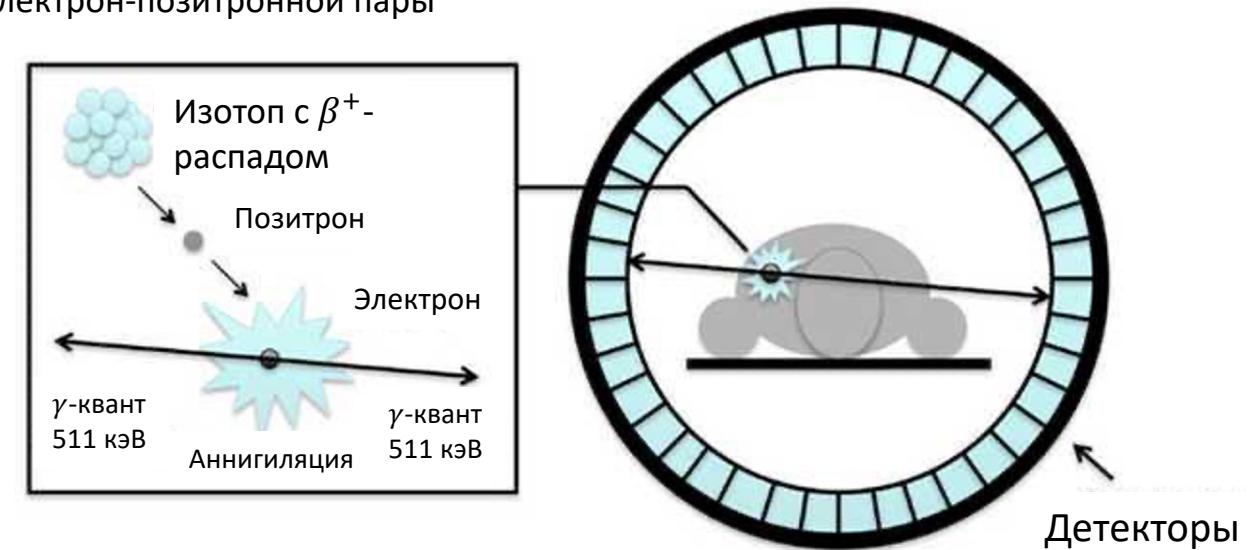
Научный руководитель: Дубинин Филипп Андреевич, старший преподаватель кафедры №40 «Физика элементарных частиц и космология», лаборант-исследователь ЛФРП ОФН НИЦ «Курчатовский институт»

Принципы ПЭТ-сканирования

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

Позитронный распад и аннигиляция электрон-позитронной пары

ПЭТ



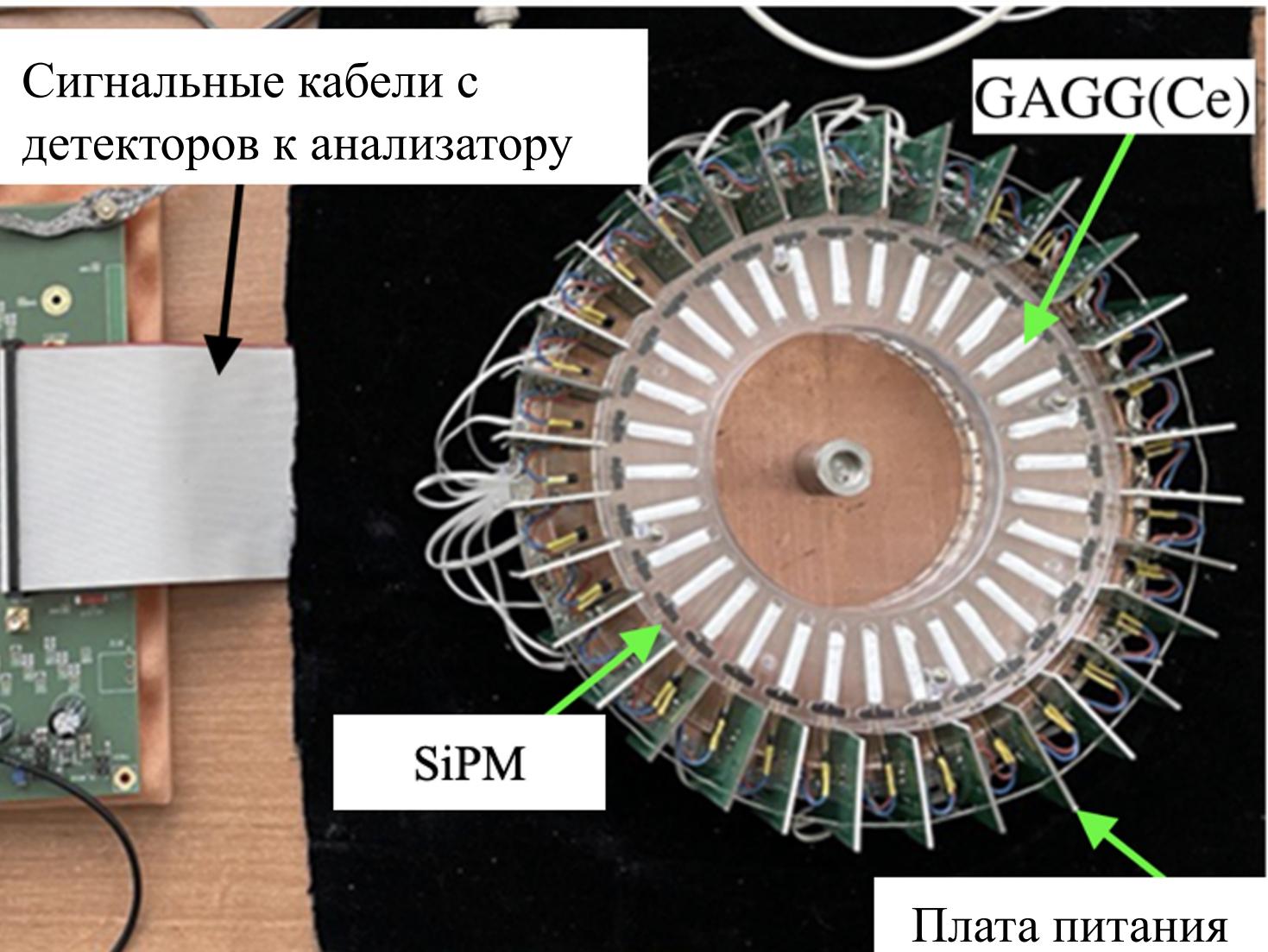
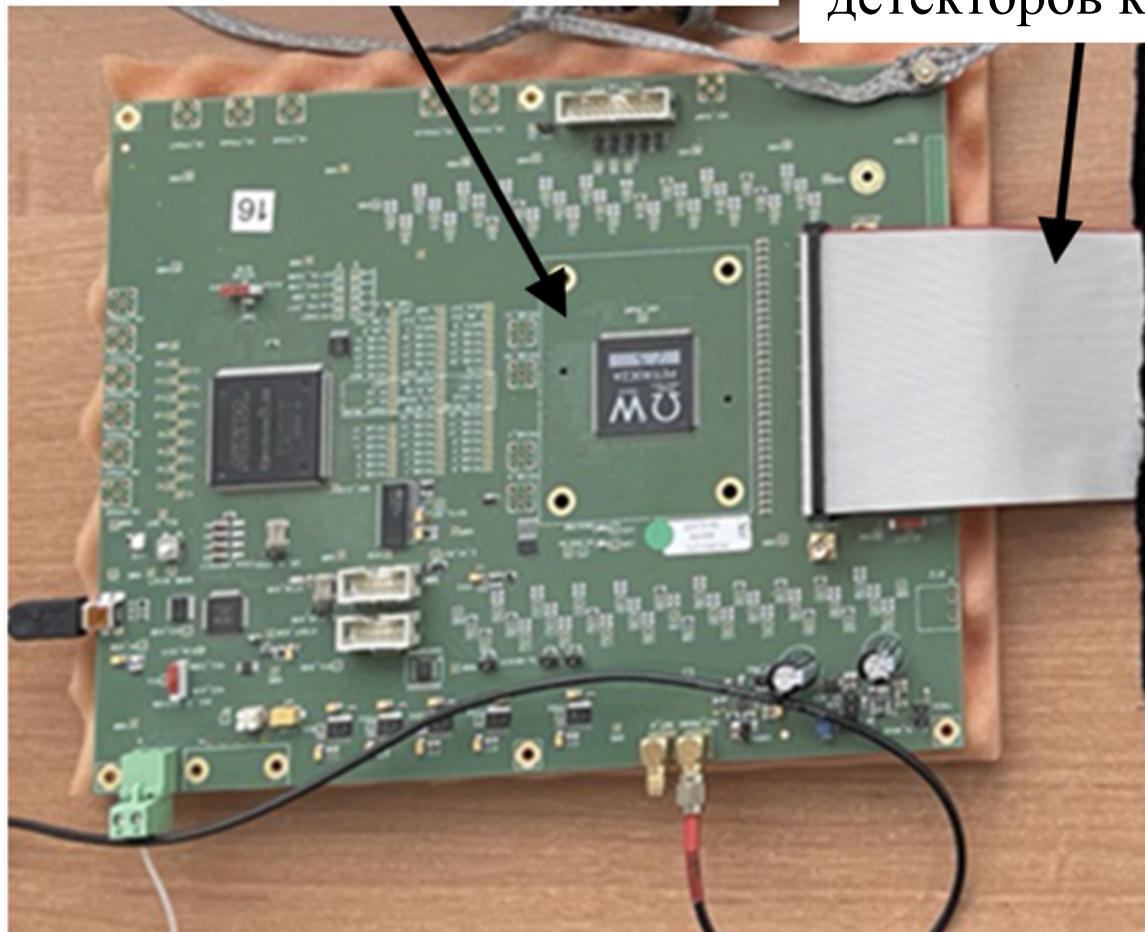
Фтордизоксиглюкоза (FDG)

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 Petiroc2A



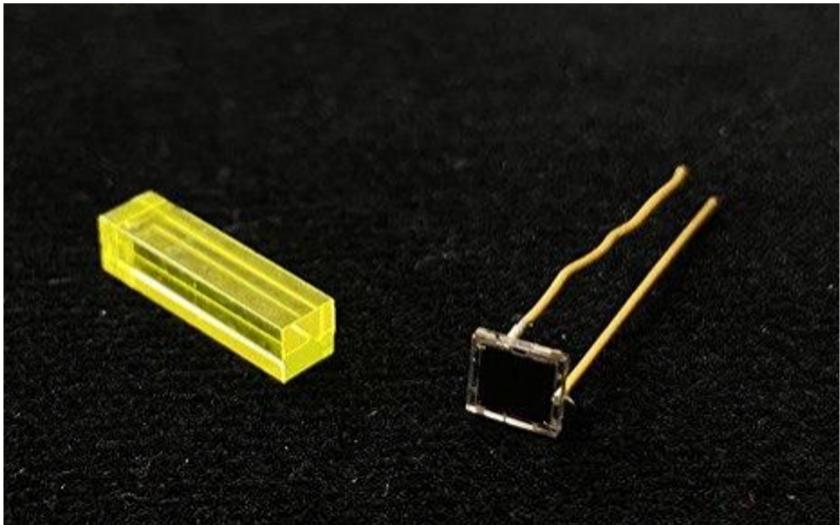
Сигнальные кабели с
детекторов к анализатору

GAGG(Ce)

SiPM

Плата питания

Неоднородность установки



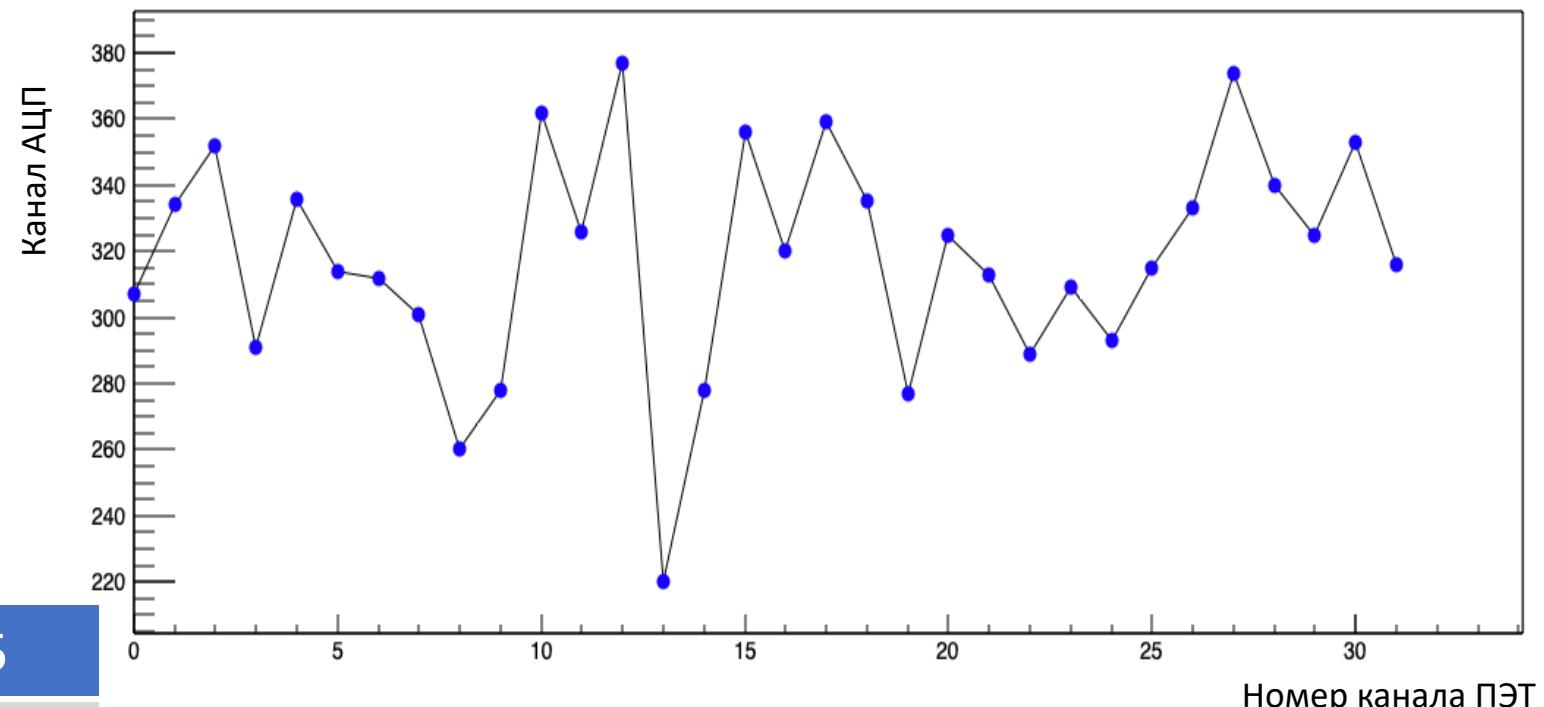
Фотоприёмник: SiPM Onsemi FC30035

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

При длине волны 520 нм и перенапряжении 3 В:

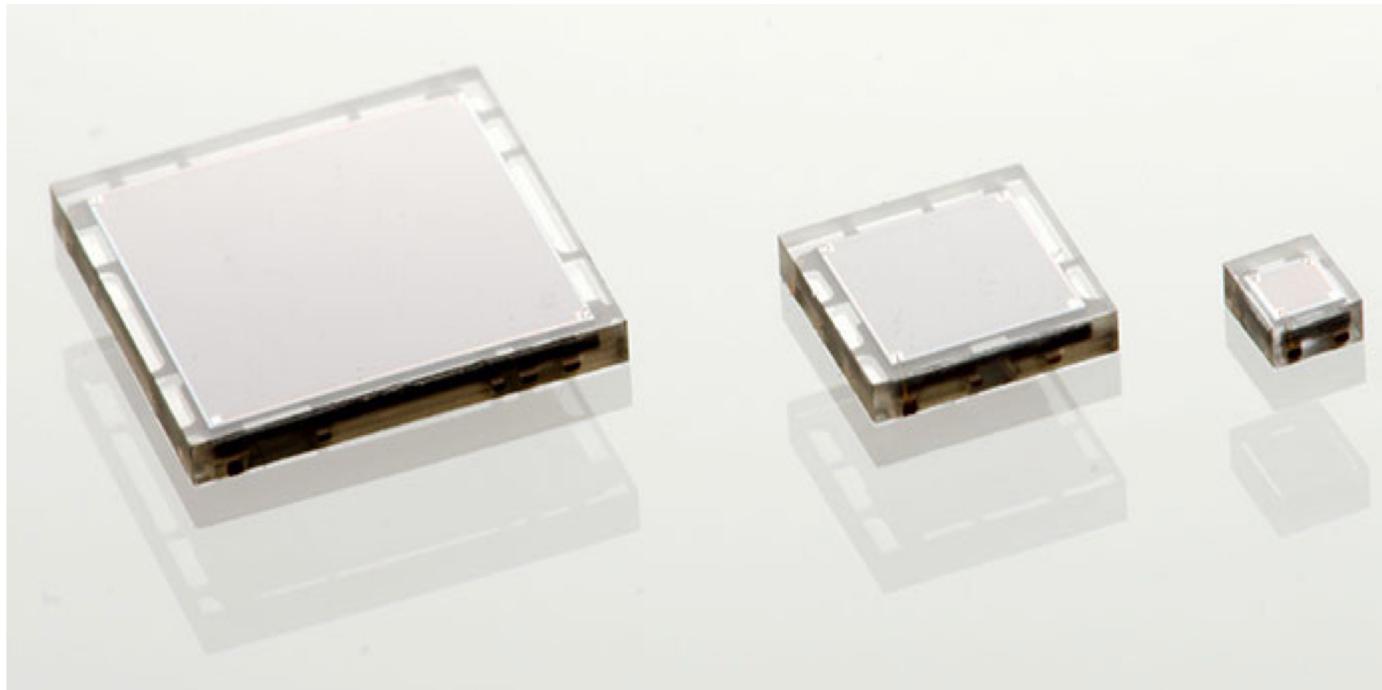
Эффективность регистрации (PDE) = 17%

Усиление = 3×10^6



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

Кремниевый фотоумножитель



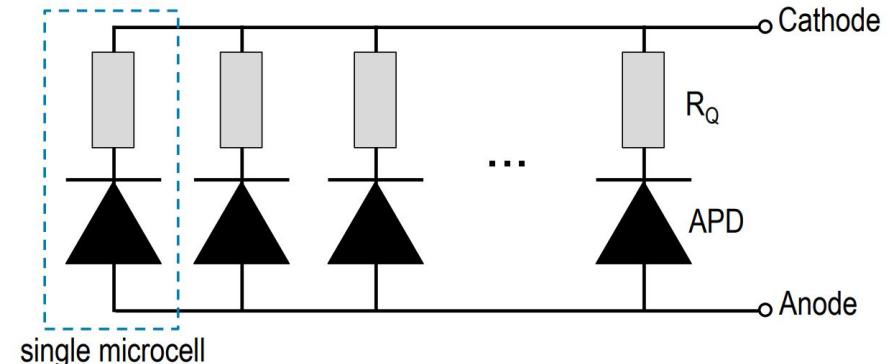
Температурная зависимость напряжения пробоя V_{br}

21.5 мВ/°C

Температурная зависимость усиления

-0.8 %/°C

SiPM structure

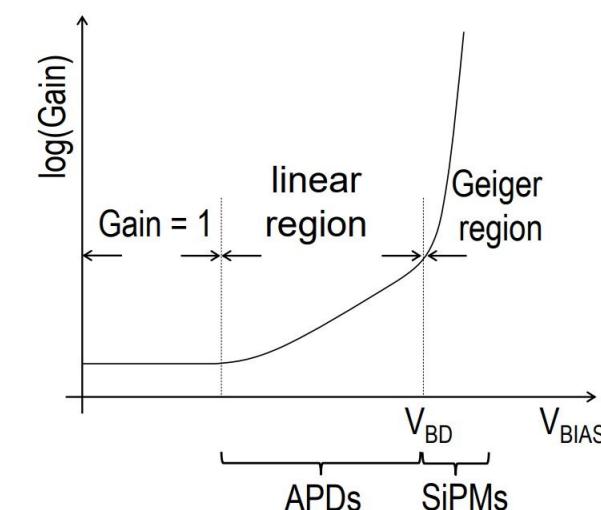


single microcell

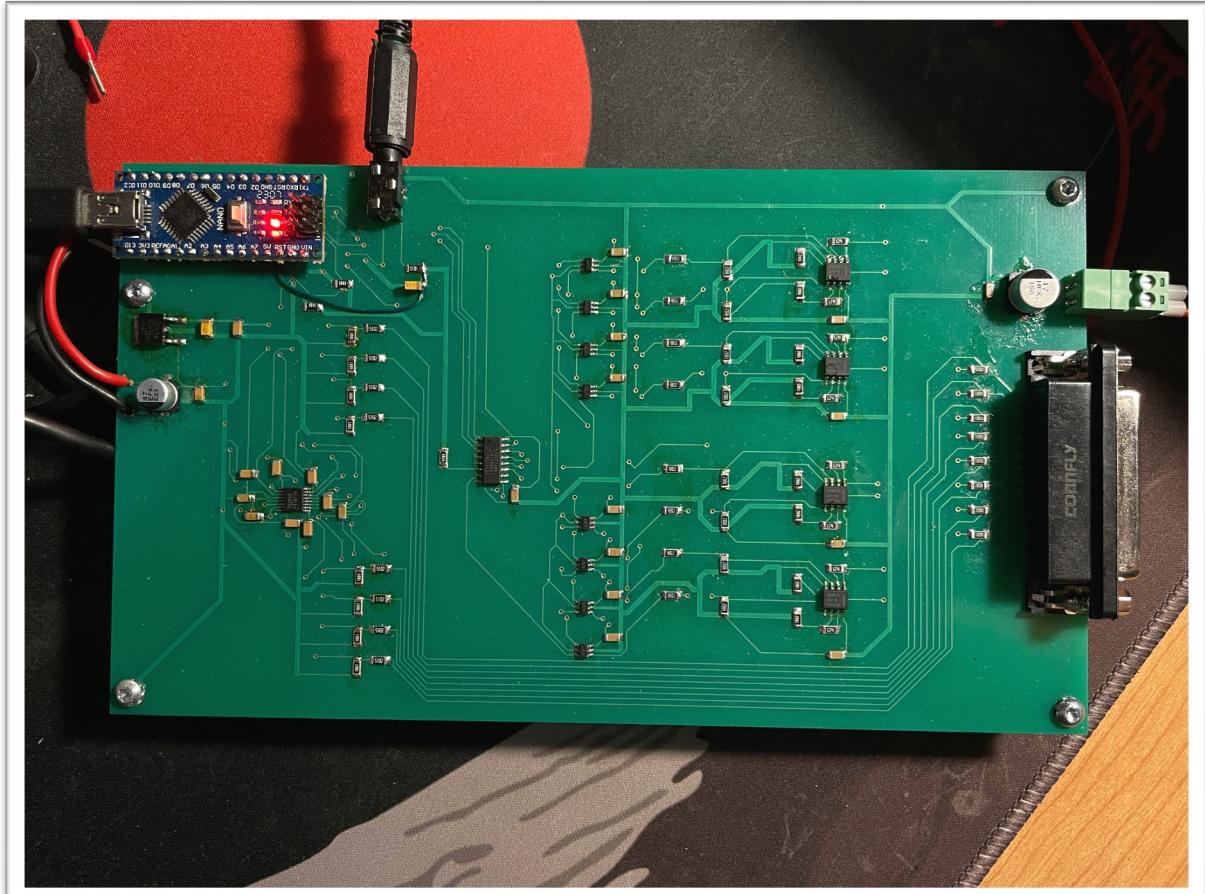
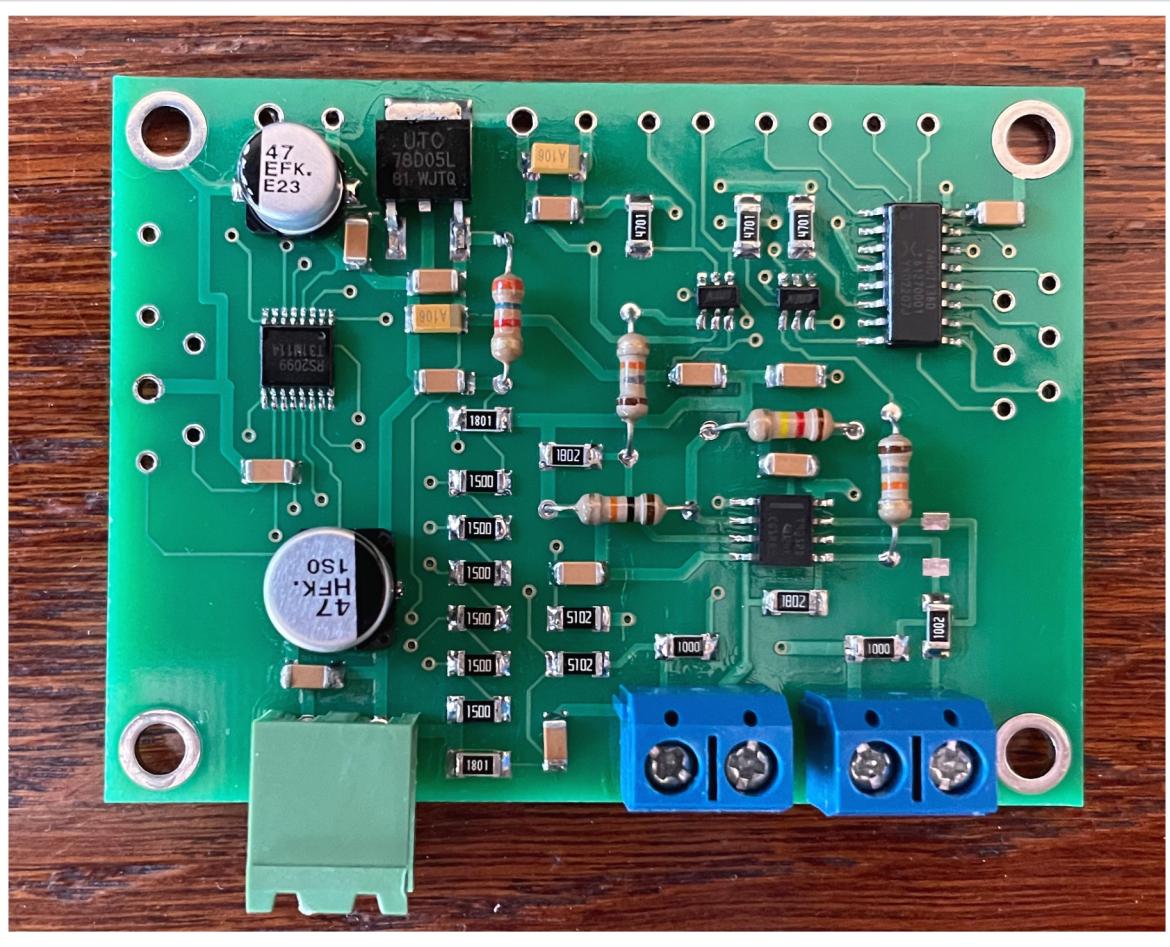
All of the microcells are connected in parallel

SiPM versus APD

- Differ in construction
- $\text{Gain}_{\text{SiPM}} \gg \text{Gain}_{\text{APD}}$
- $F_{\text{SiPM}} \ll F_{\text{APD}}$



Масштабирование модуля подстройки



Восьмиканальный модуль подстройки

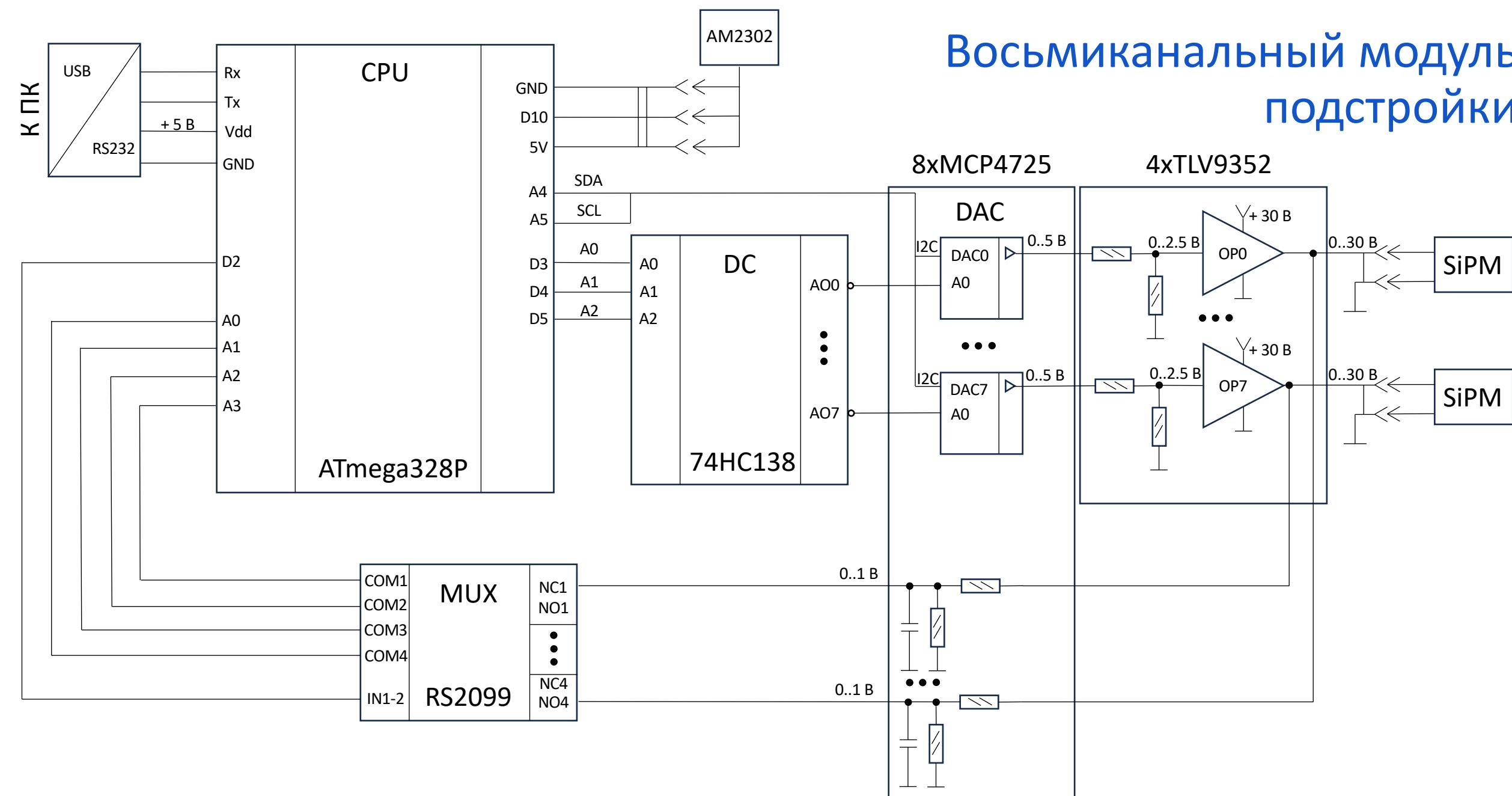
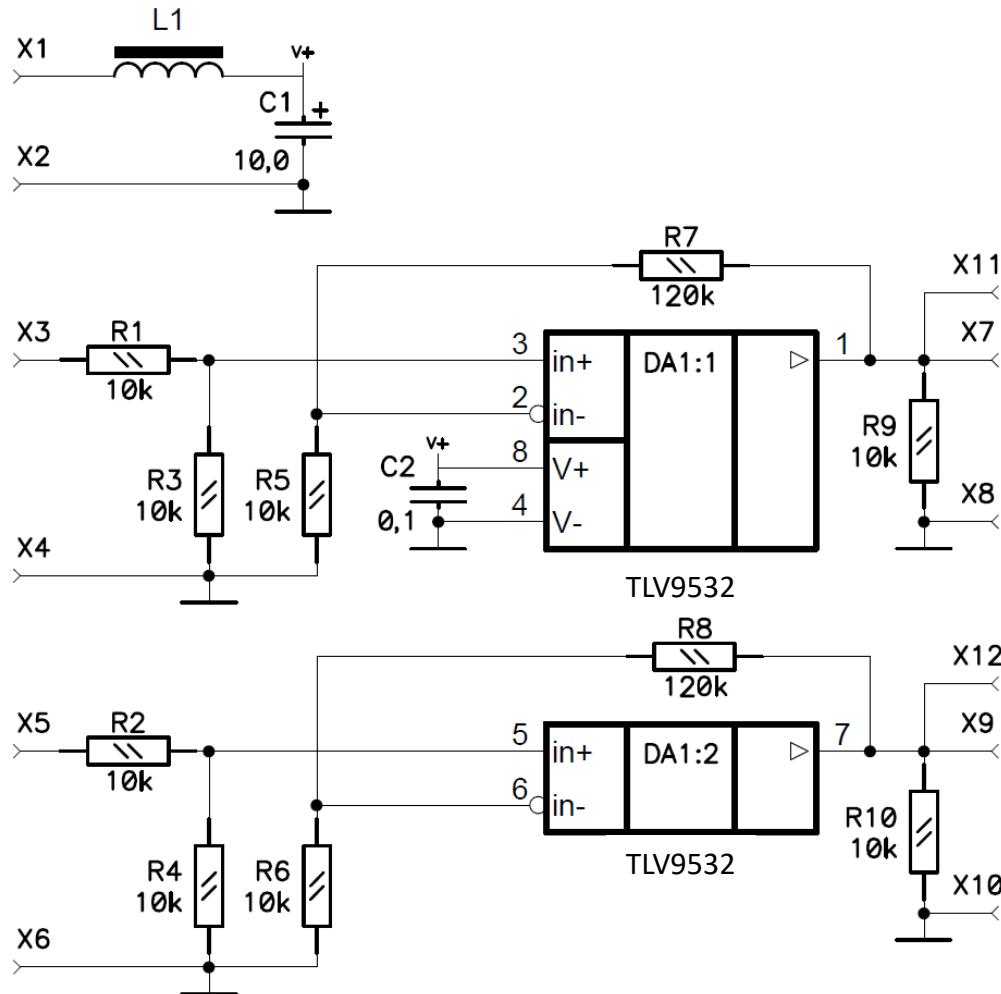


Схема на базе операционного усилителя ‘Rail-to-Rail’

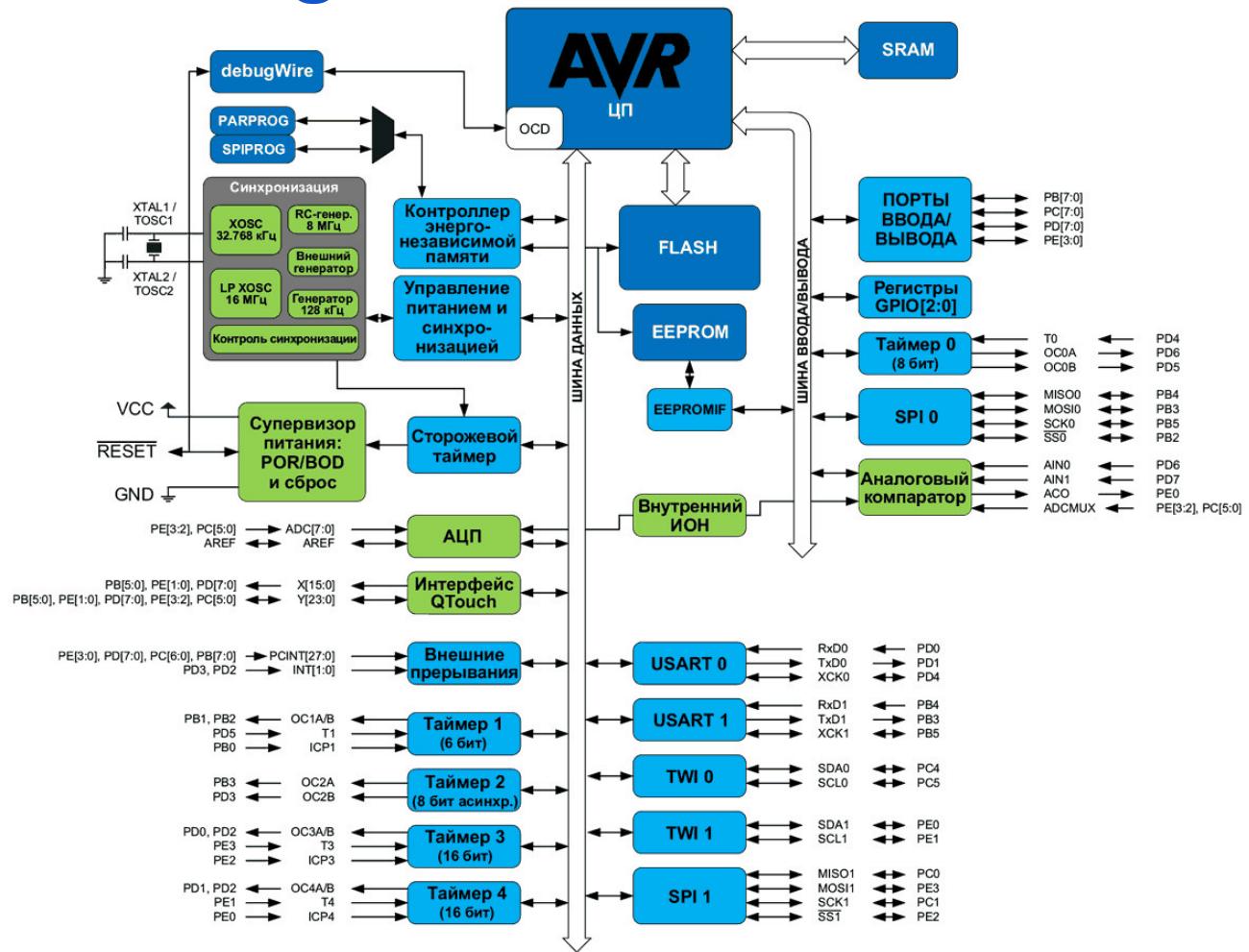


- простота исполнения
- компактность
- возможность внедрения цифрового управления



- Необходим заказ печатной платы

Цифровое управление. ATmega328P

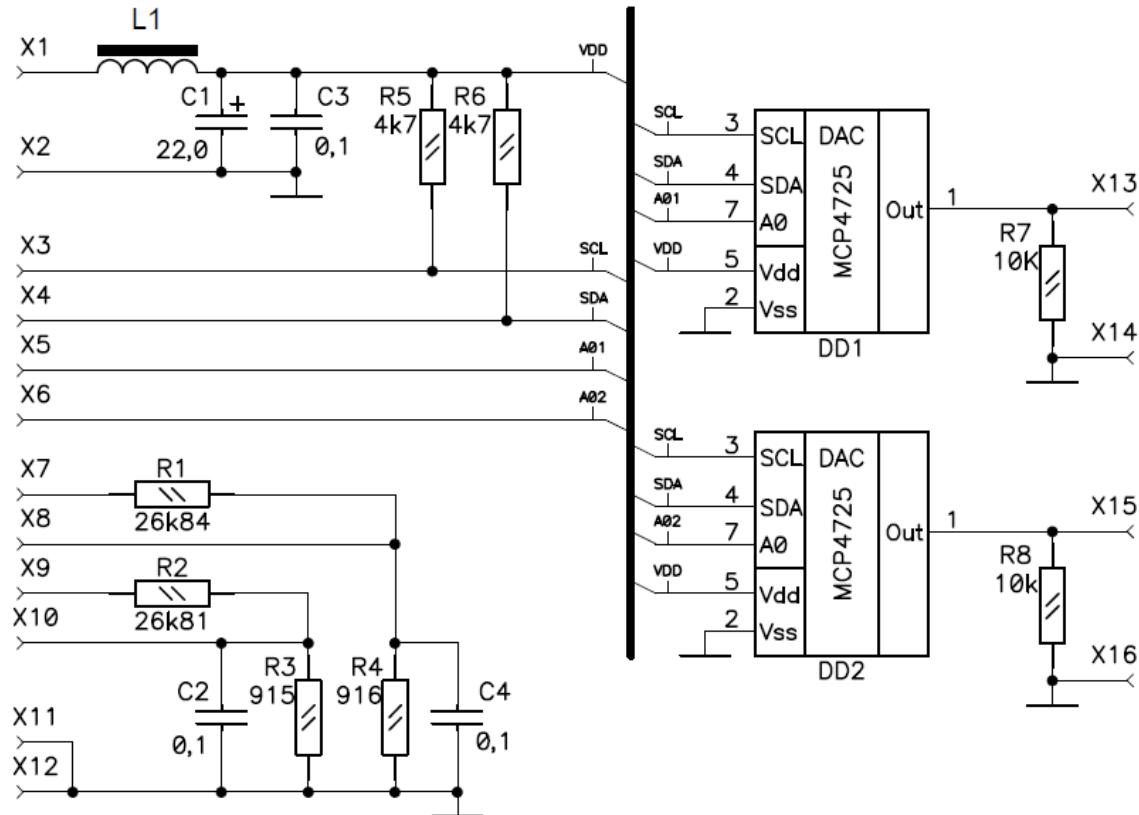


- Дешевизна
- Достаточное быстродействие (16 МГц)
- Поддержка интерфейсов I2C и RS232
- Встроенный 10-разрядный АЦП
- Поддержка прерываний

Цифровое управление. ЦАП

MCP4725

- 12 разрядов
- поддержка I2C



Выходное сопротивление делителя:
 $R_o = R_2 \parallel R_3 = 27 \cdot 0,91 / (27 + 0,91) = 0,88 \text{ к}\Omega$

Постоянная времени делителя

$$R_o \cdot C_2 = 0,088 \text{ мс}$$

Коэффициент передачи по постоянному току:

$$K = R_3 / (R_2 + R_3) = 0,033$$

$$U_{30} = 30 \cdot K = 0,99 \text{ В}$$

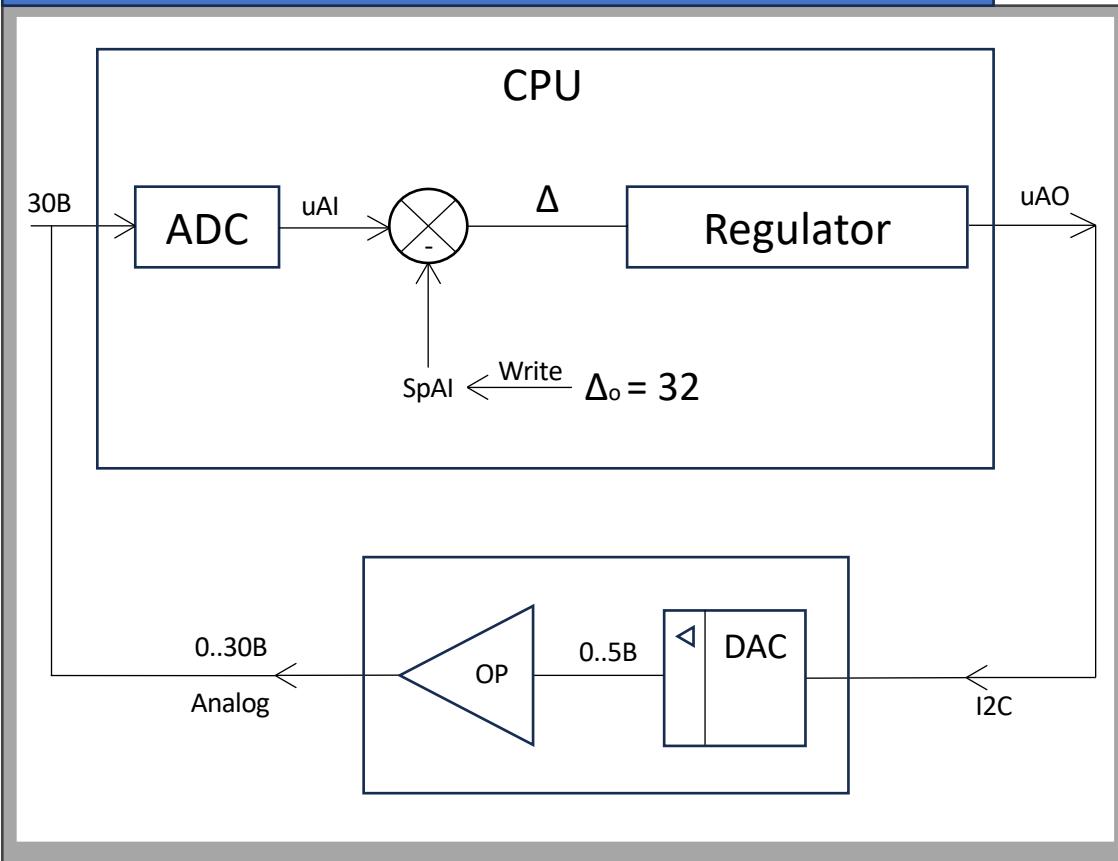
При качественном подборе компонентов
напряжения при одинаковом коде ЦАП
отличаются на 150 мВ!

При длительной работе (8 часов) напряжение на
выходе стабильно (на уровне 5 мВ)

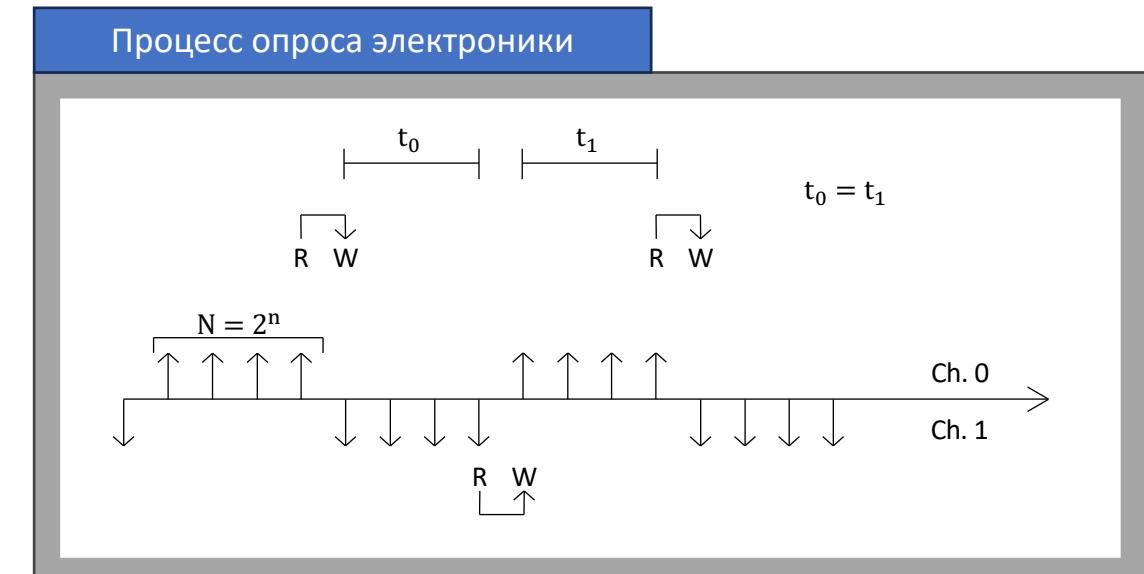
Измерение производится с наблюдением за температурой

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

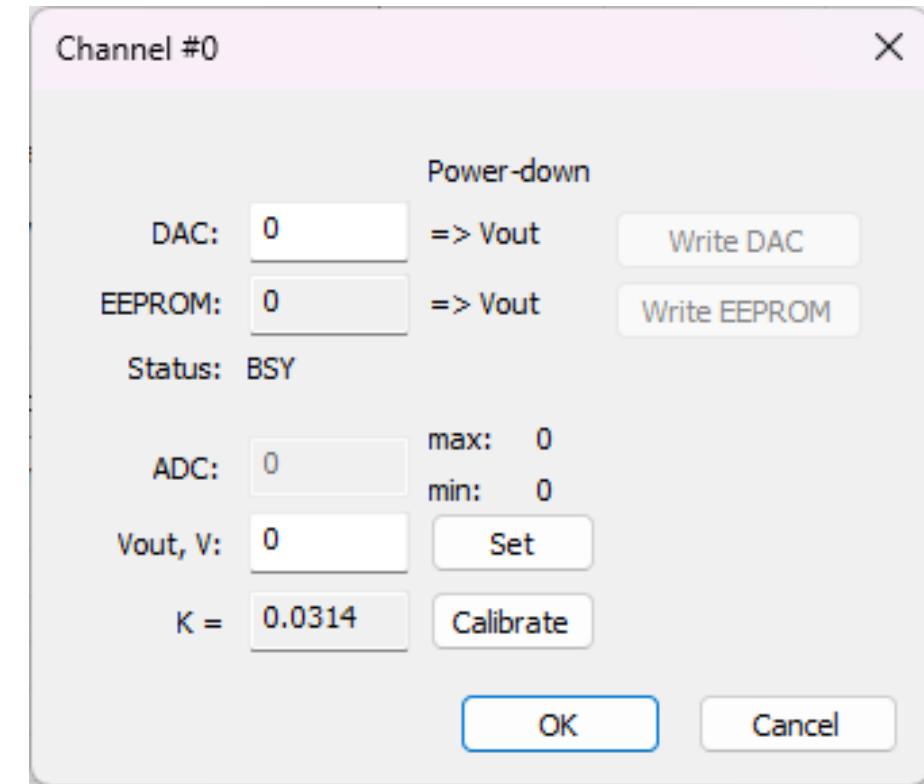
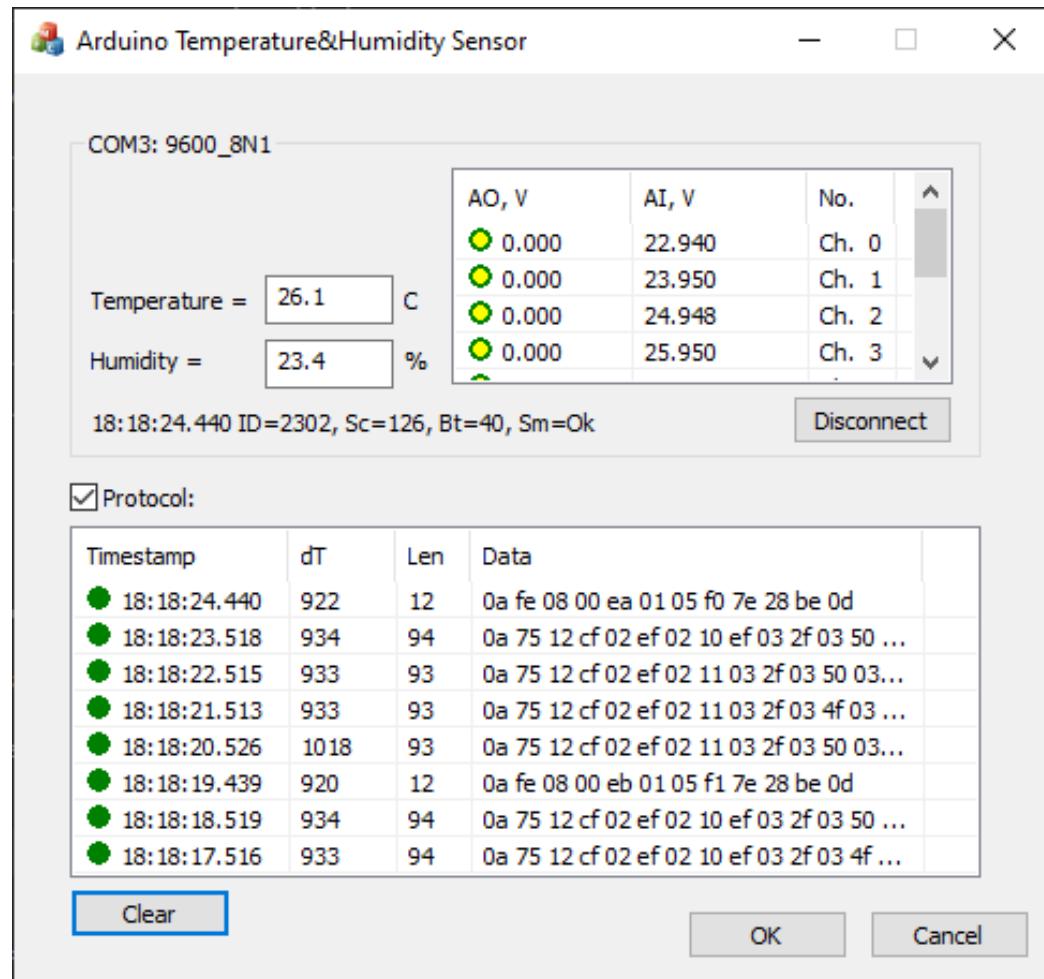
R – чтение DAC

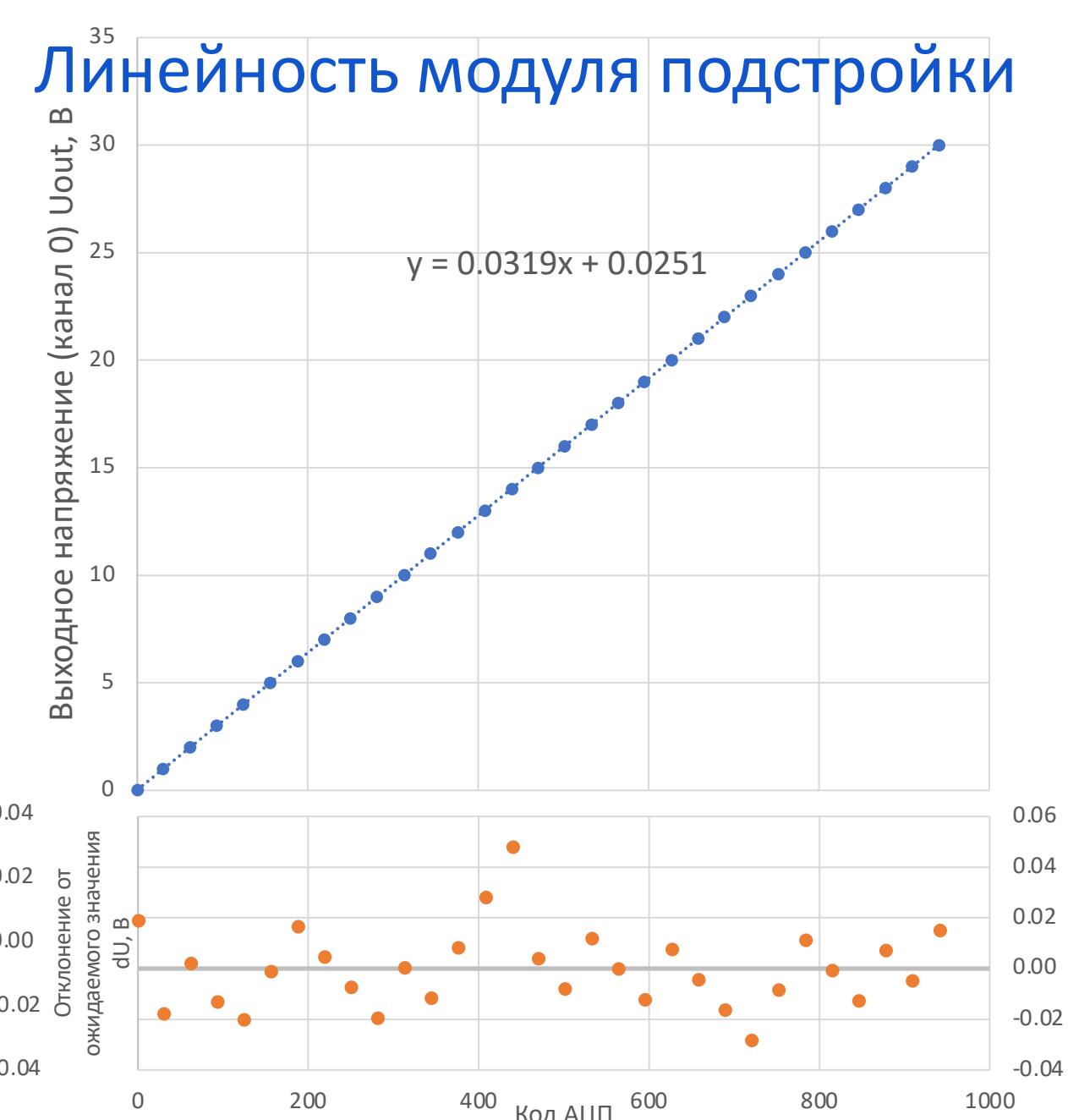
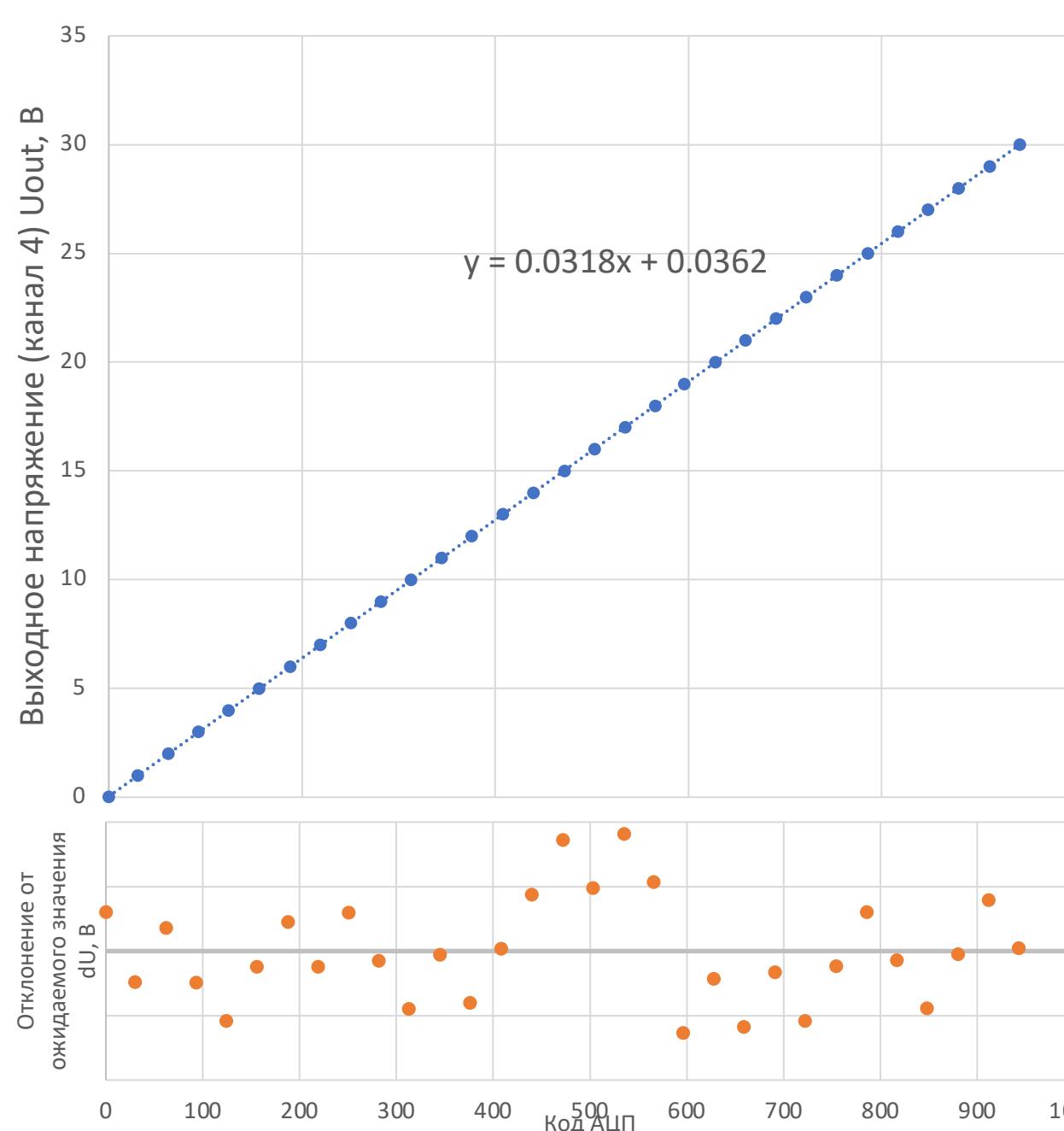
W – запись в DAC



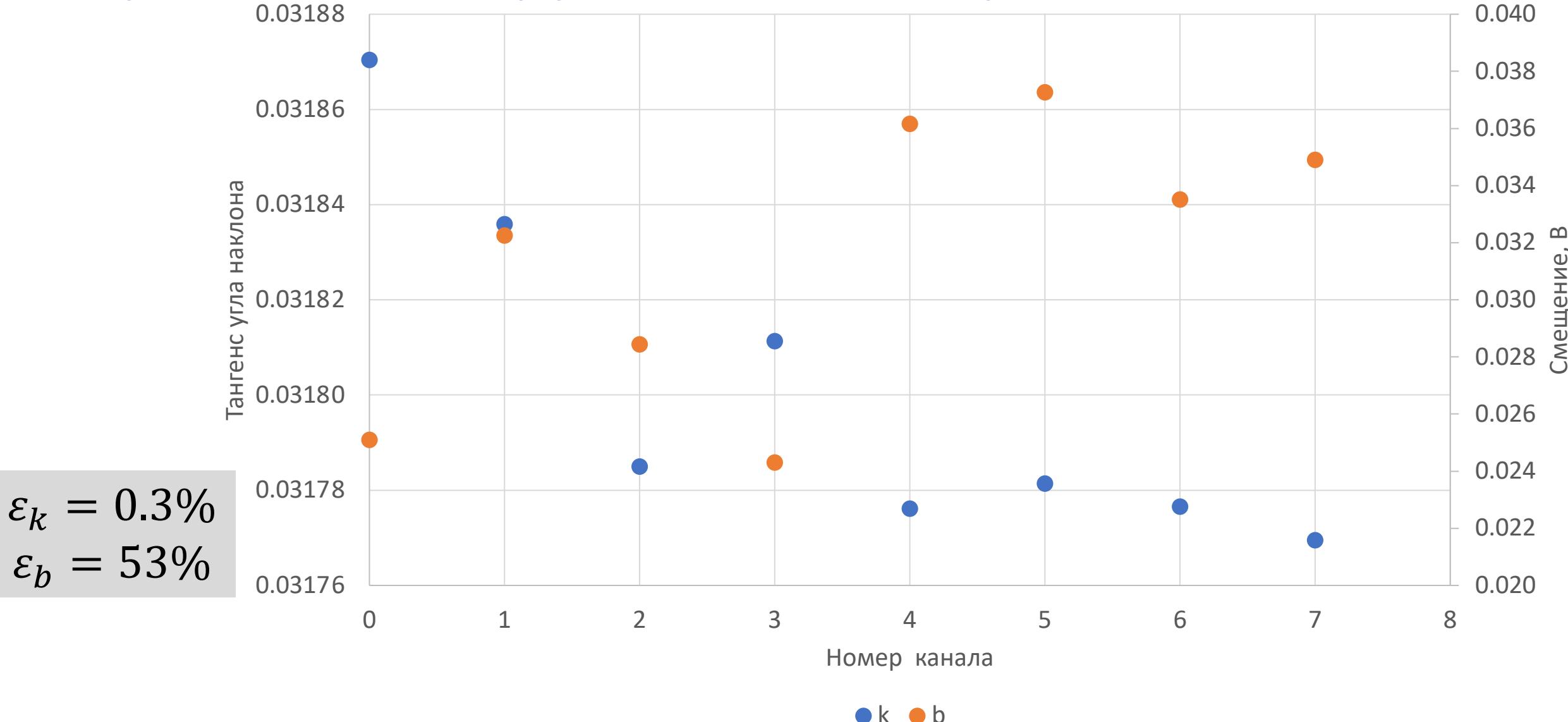
Напряжение на выходе схемы подстройки от времени

Цифровое управление. Программное обеспечение



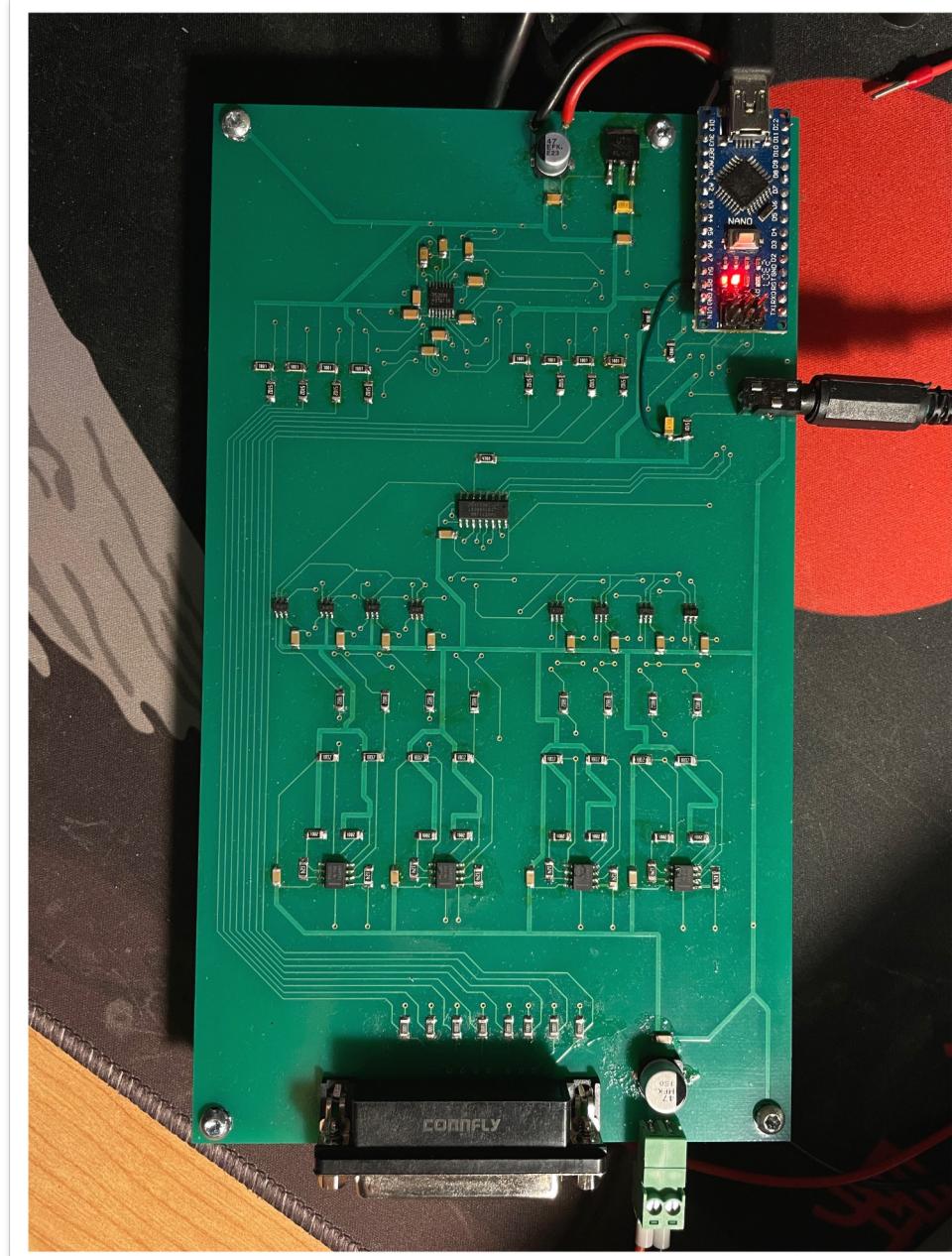


Распределение коэффициентов подстройки



Заключение

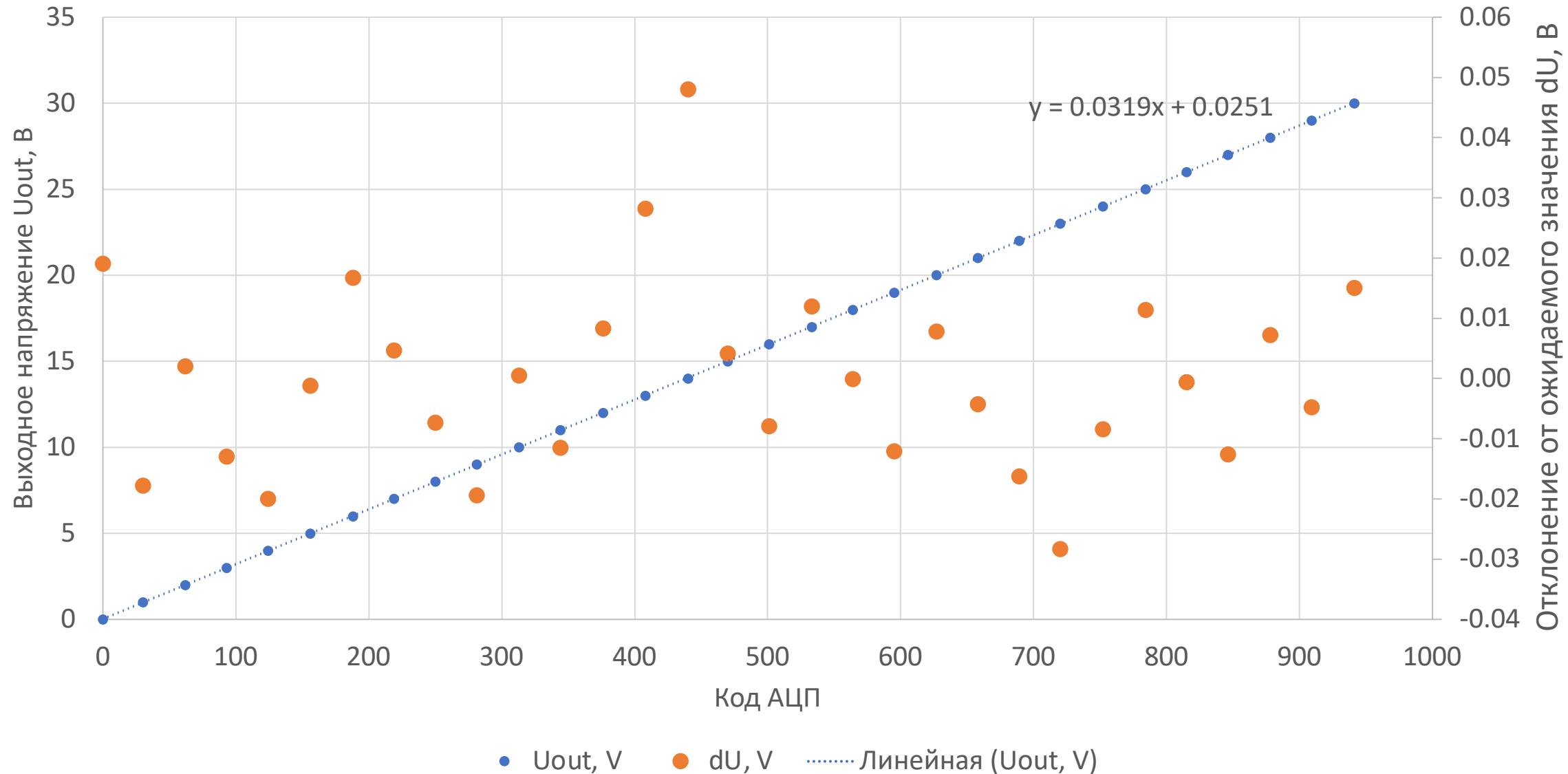
- Произведено масштабирование прототипа
- Реализовано цифровое управление на базе микроконтроллера и ЦАП для восьми каналов
- Модифицировано программное обеспечение для регулирования и подстройки напряжения
- Произведена соответствующая калибровка каналов
- Показано, что благодаря калибровке каналов и алгоритму регулирования, предложенное цифровое решение не критично к точности подбора элементов схемы
- Заложена возможность внедрения дополнительного модуля измерения потребляемого тока на каналах



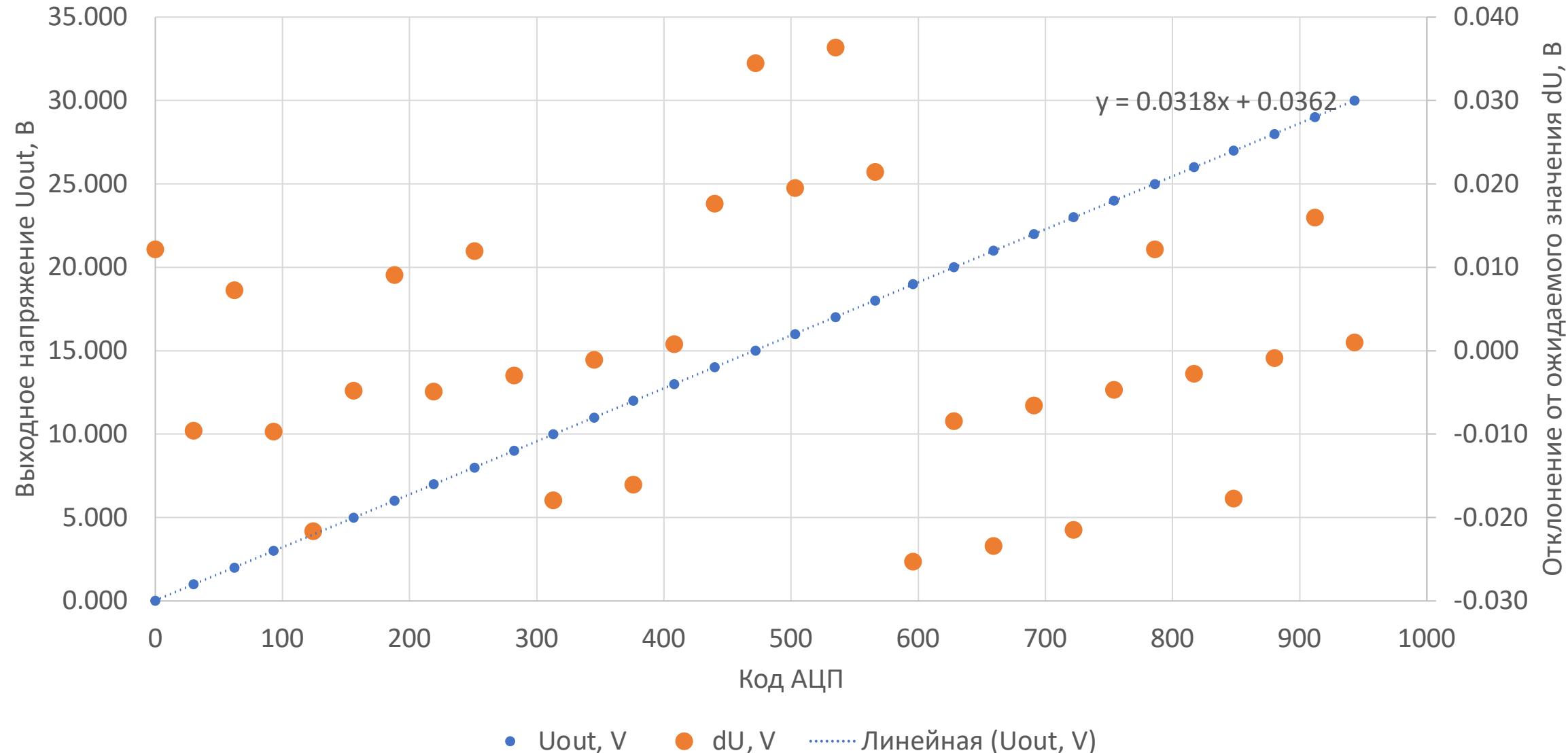
СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

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

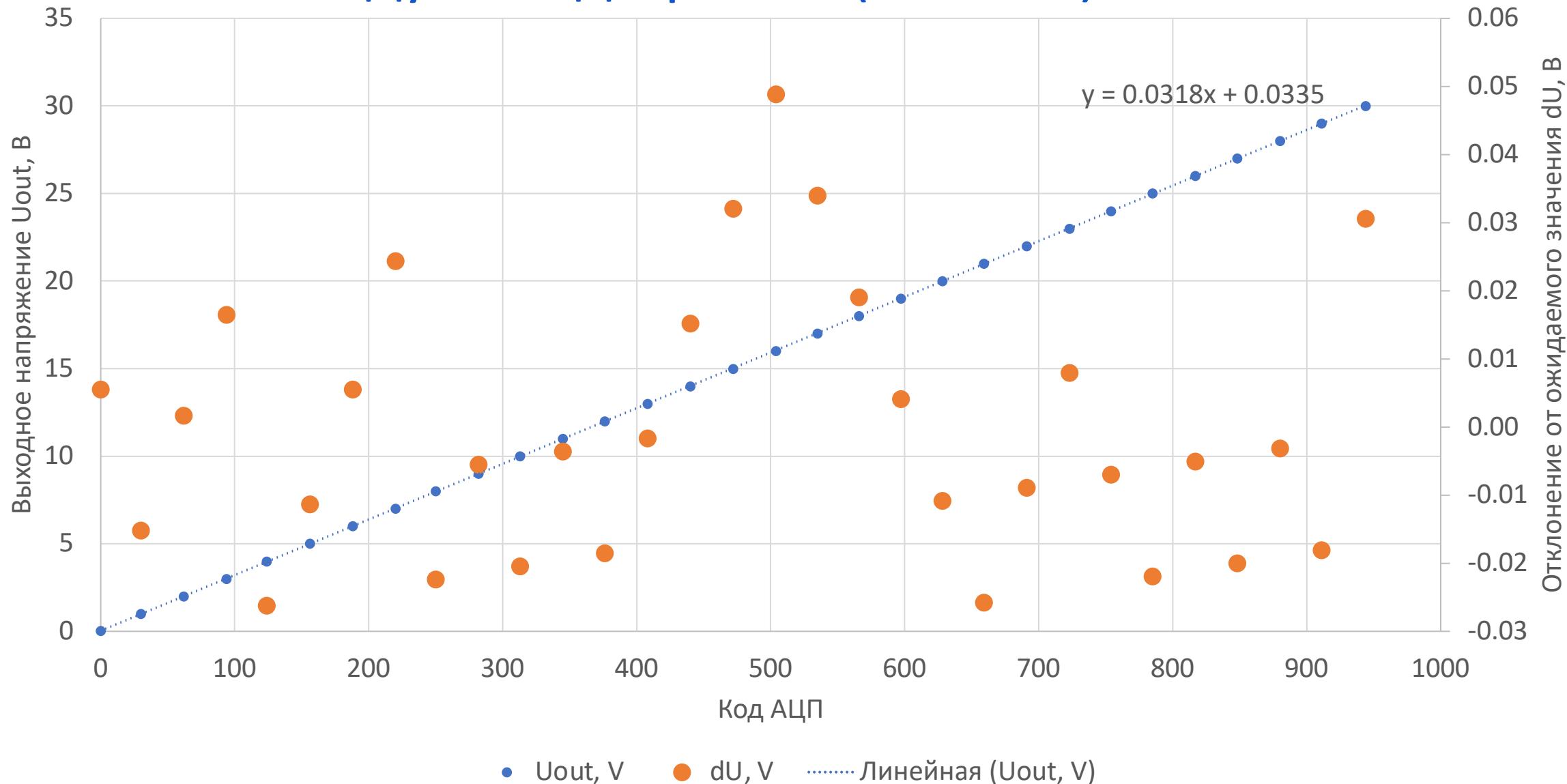
Линейность модуля подстройки (канал 0)



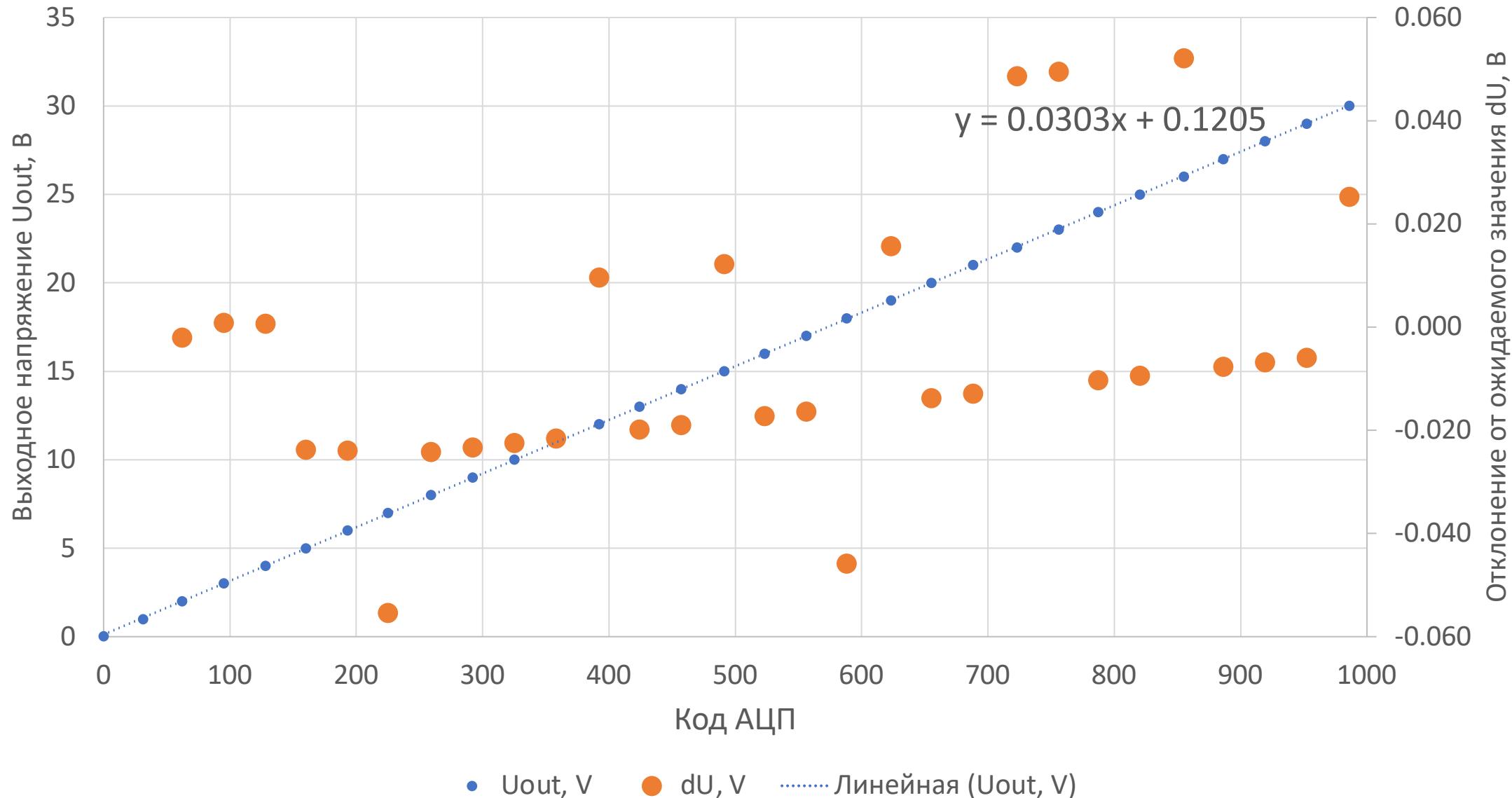
Линейность модуля подстройки (канал 4)



Линейность модуля подстройки (канал 6)

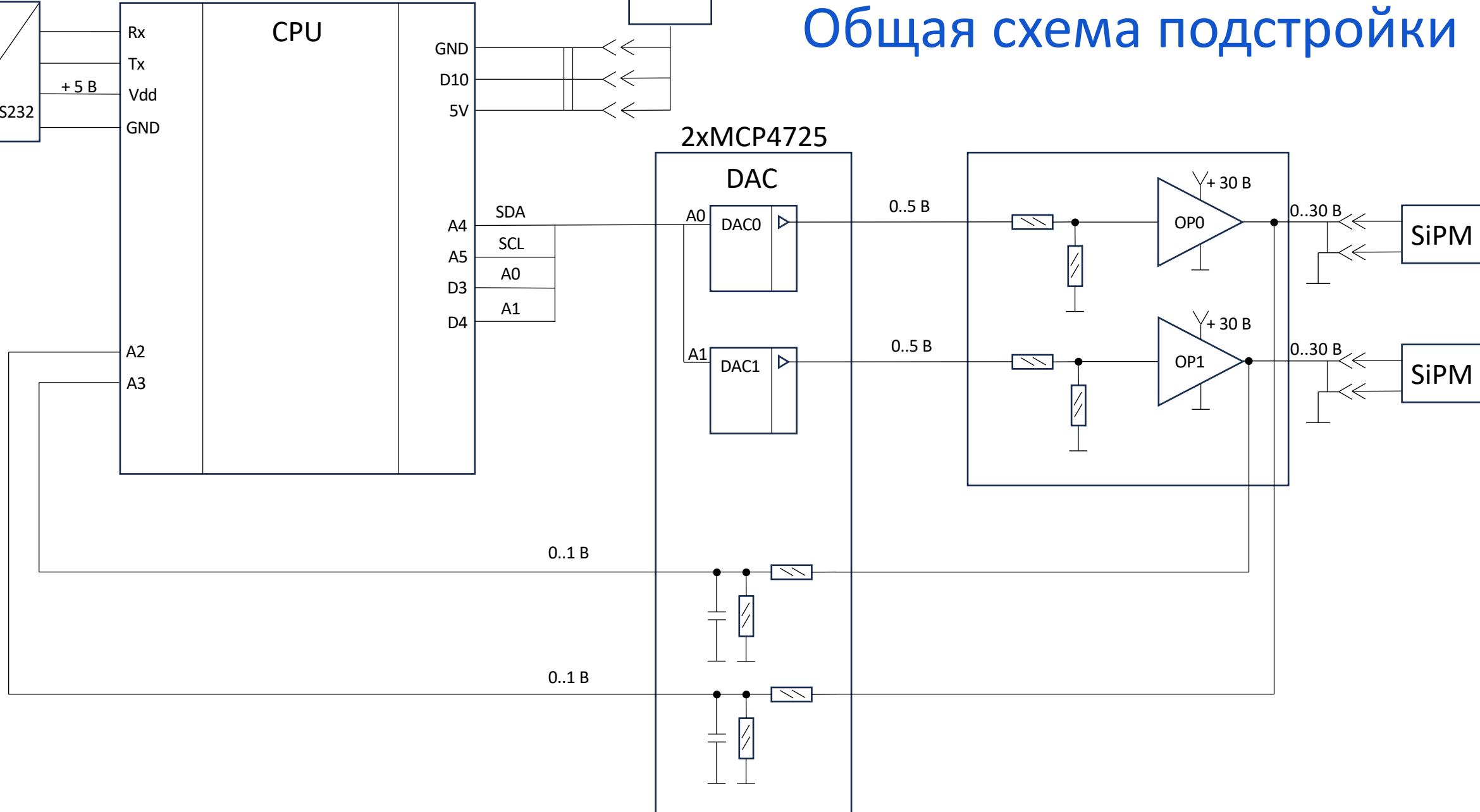


Линейность тестового модуля



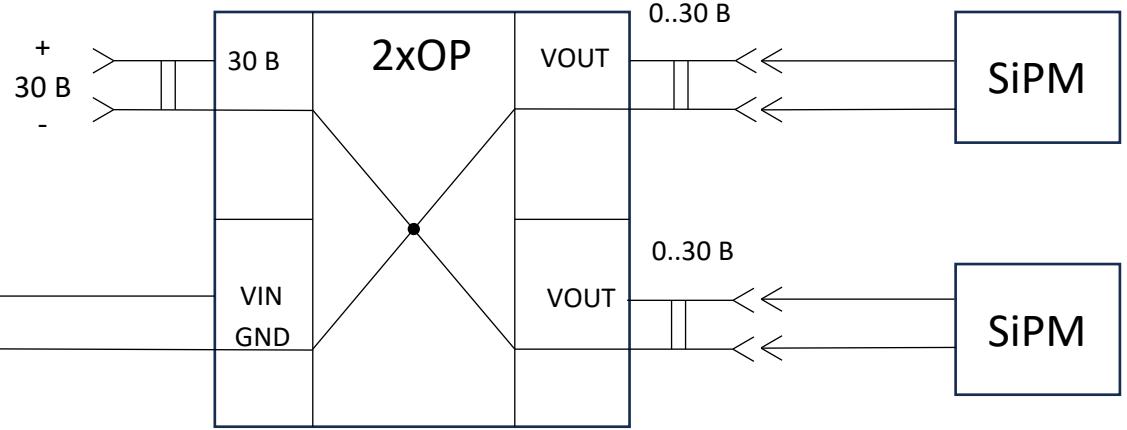
Общая схема подстройки

КПК

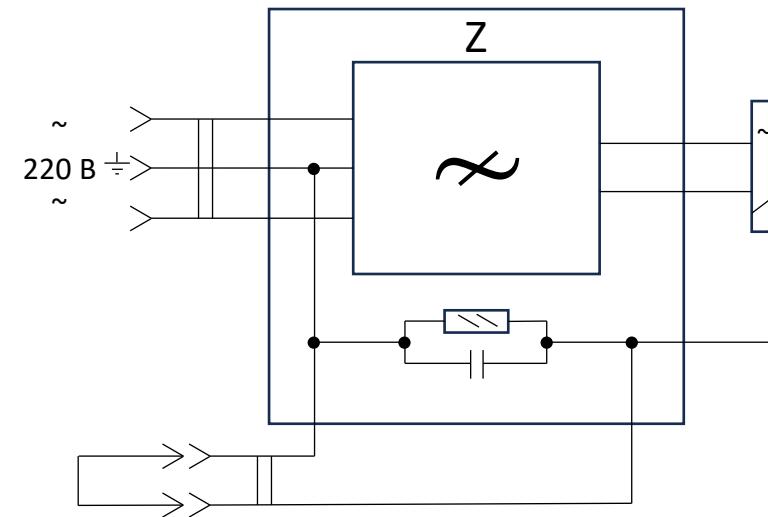


Backup 3

Регулятор напряжения

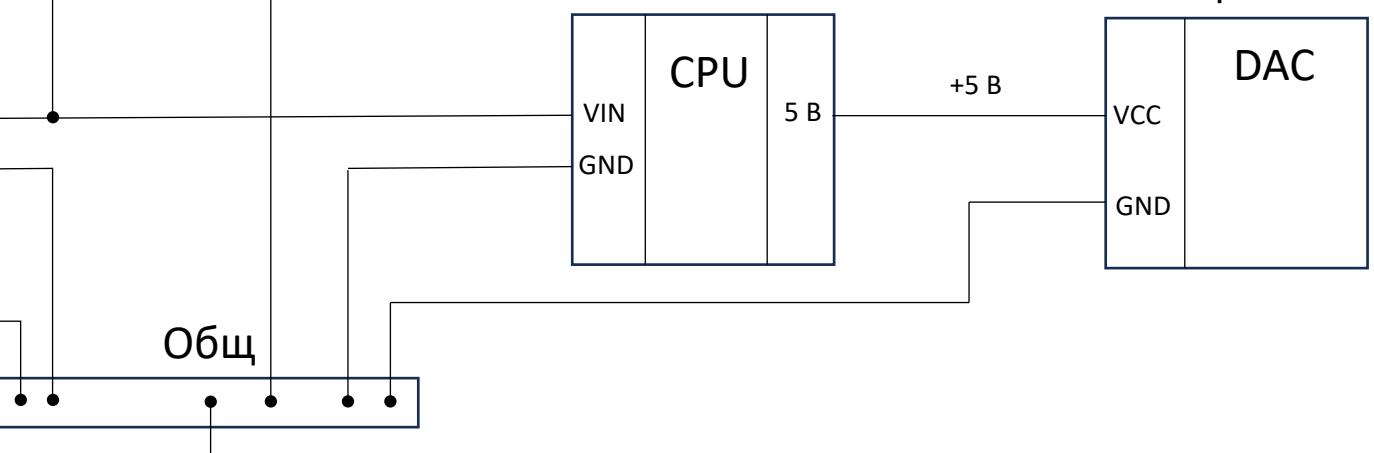


Сетевой фильтр

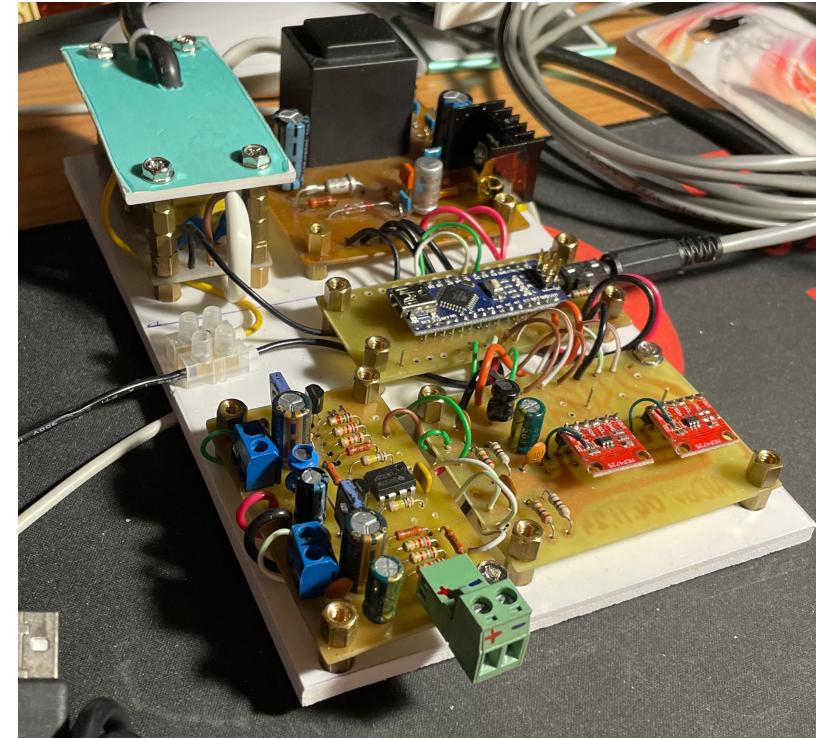
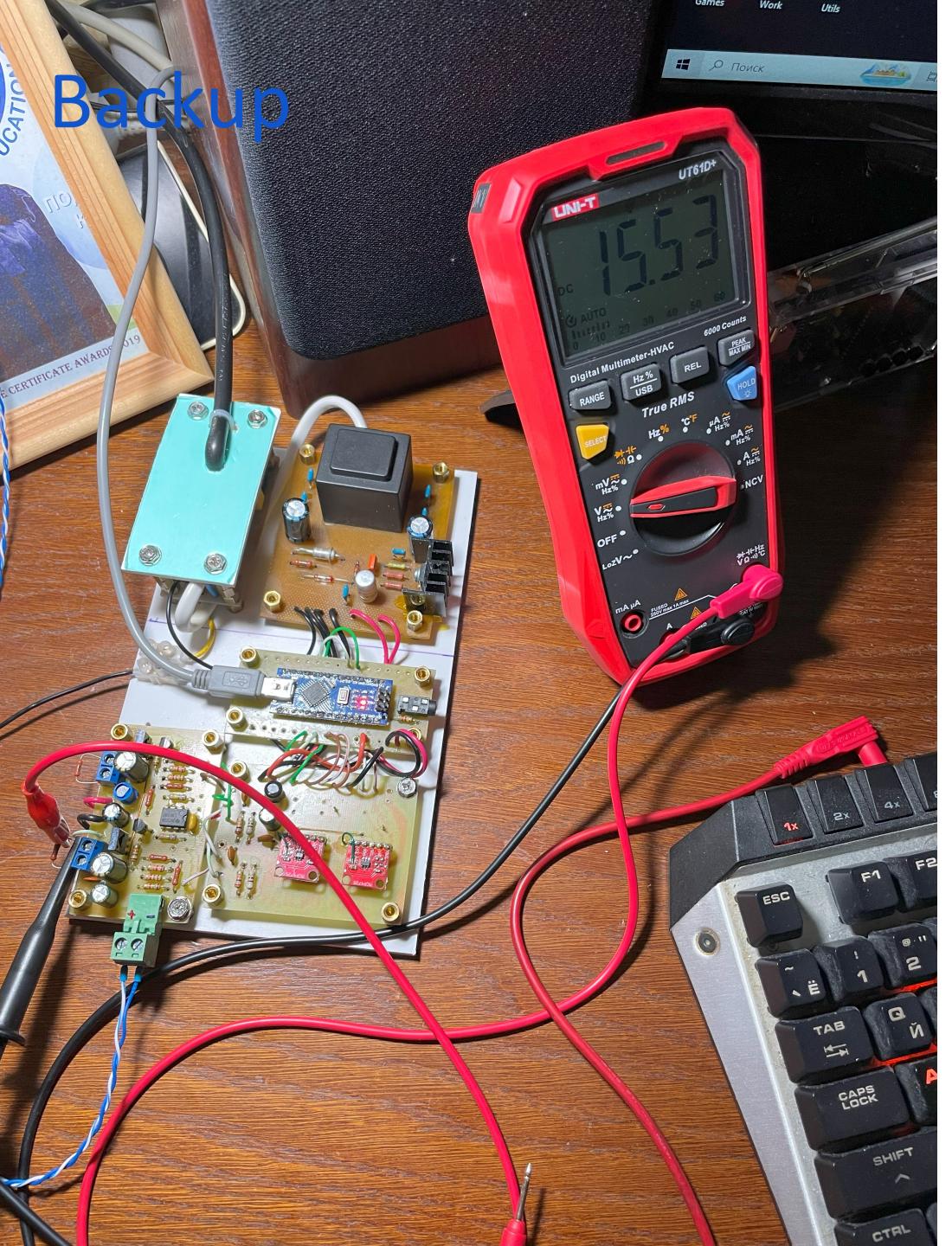


Общ

Arduino Nano



Backup

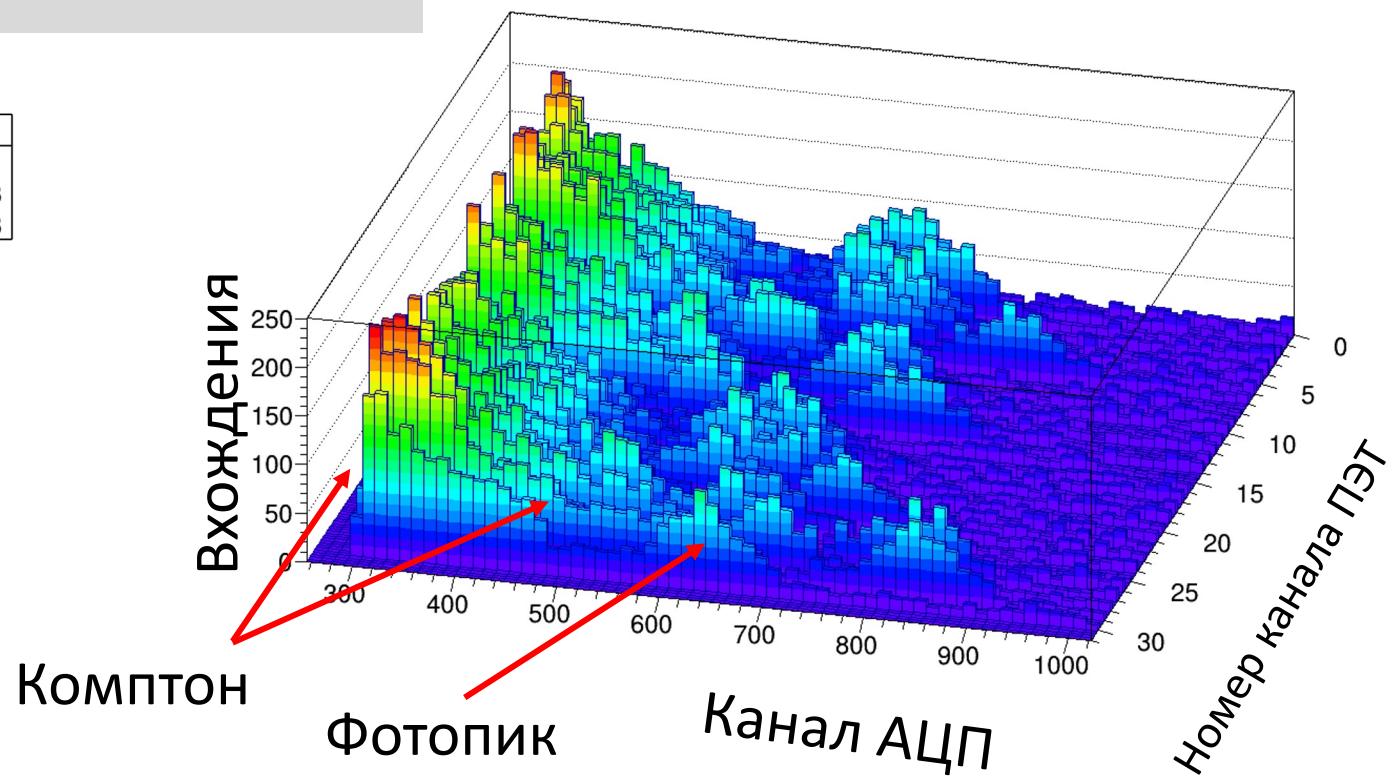
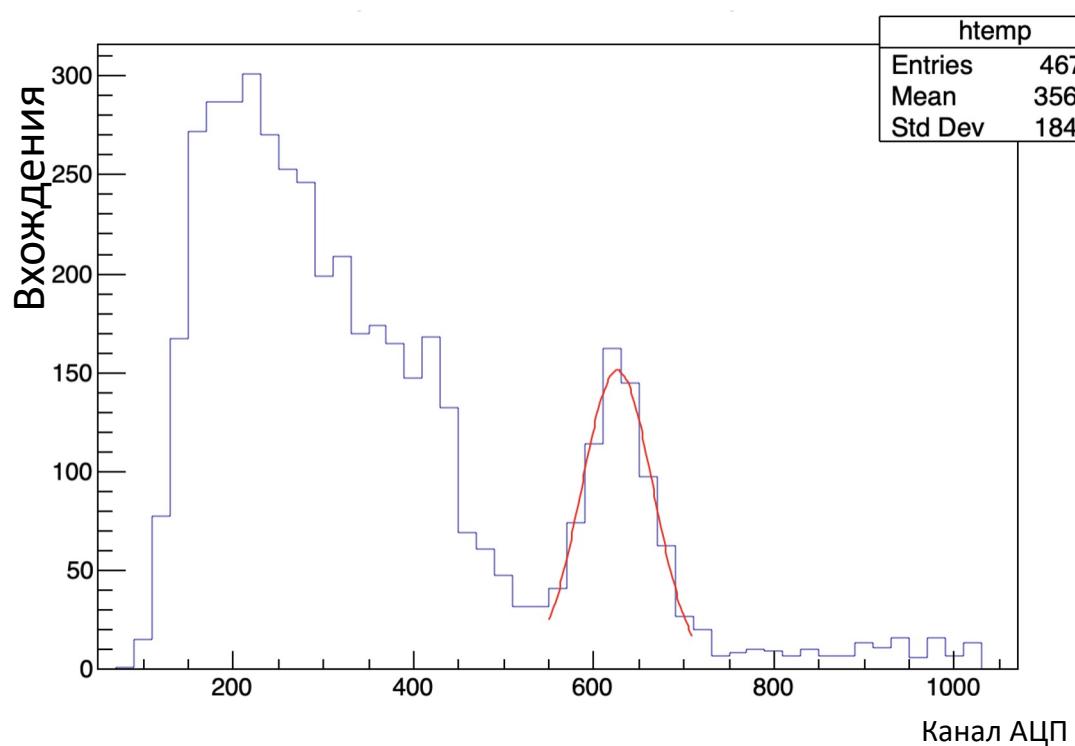


Характеристики модели ПЭТ

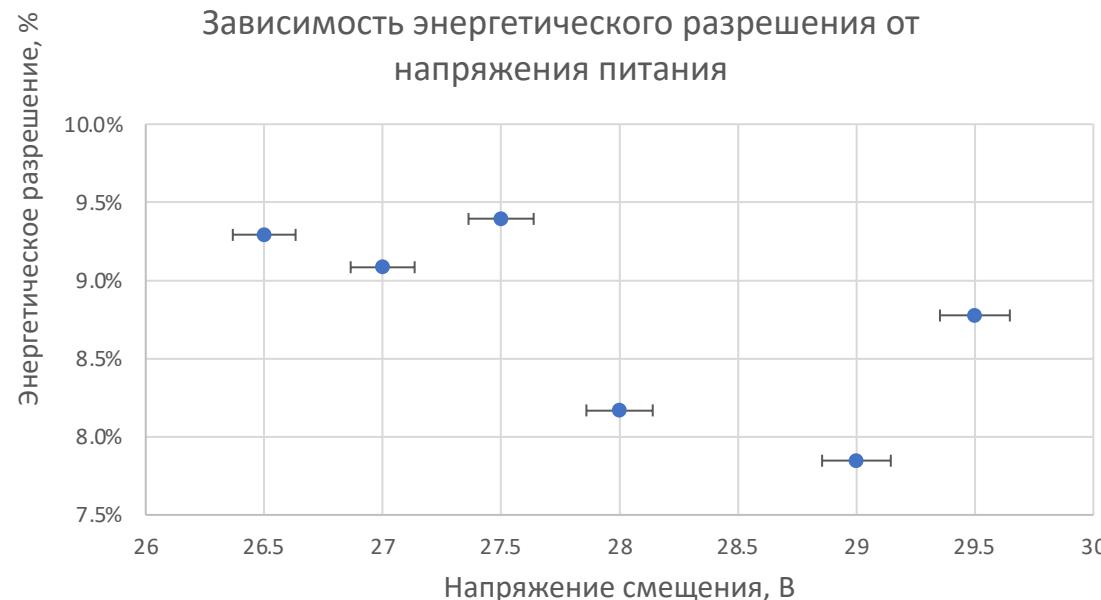
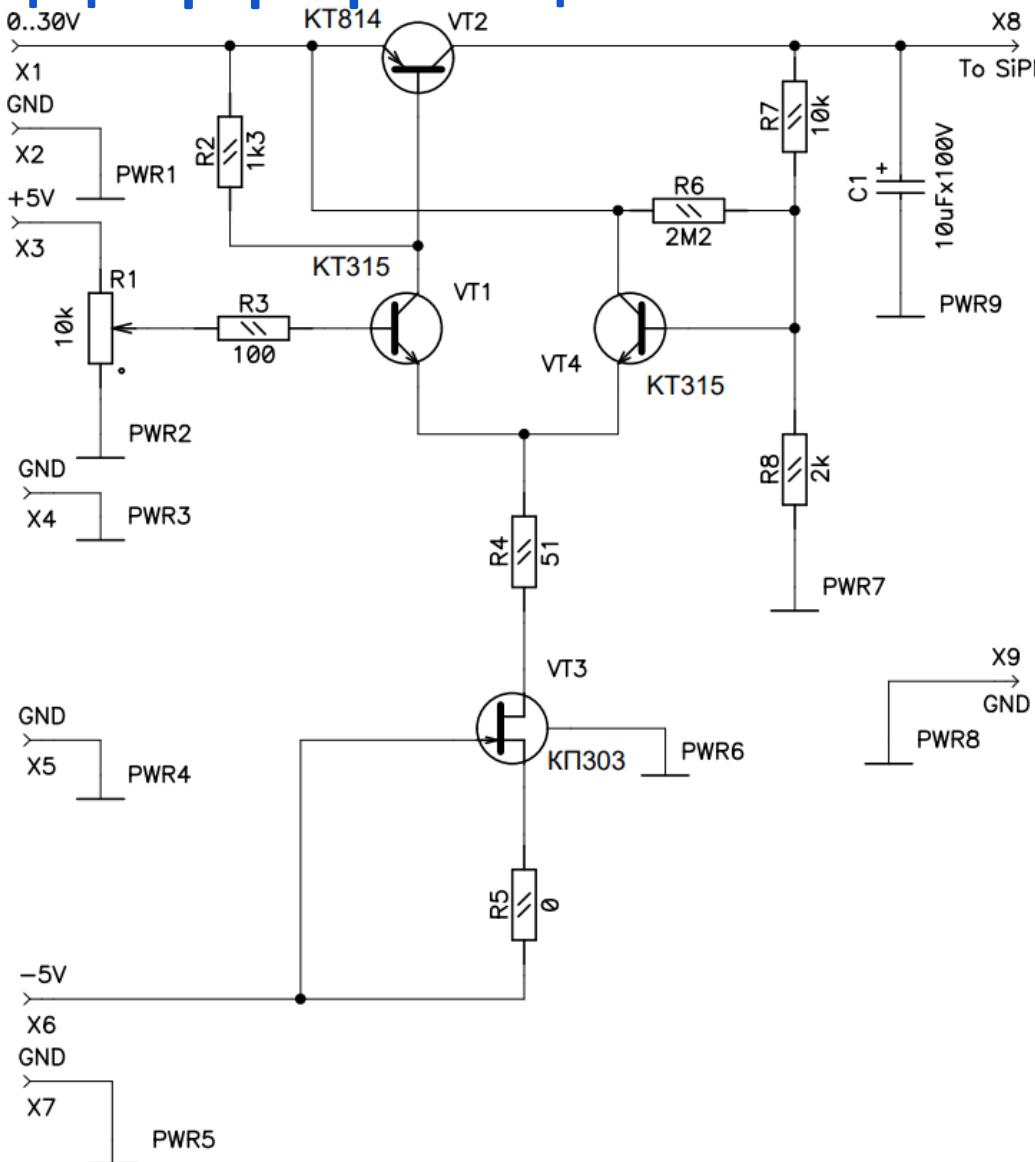
Лучшее энергетическое разрешение (511 кэВ) - 14 %

Лучшее ЭР одиночного детектора (662 кэВ) - 8%

Временное разрешение - 1.80 ± 0.07 нс (одиночный)



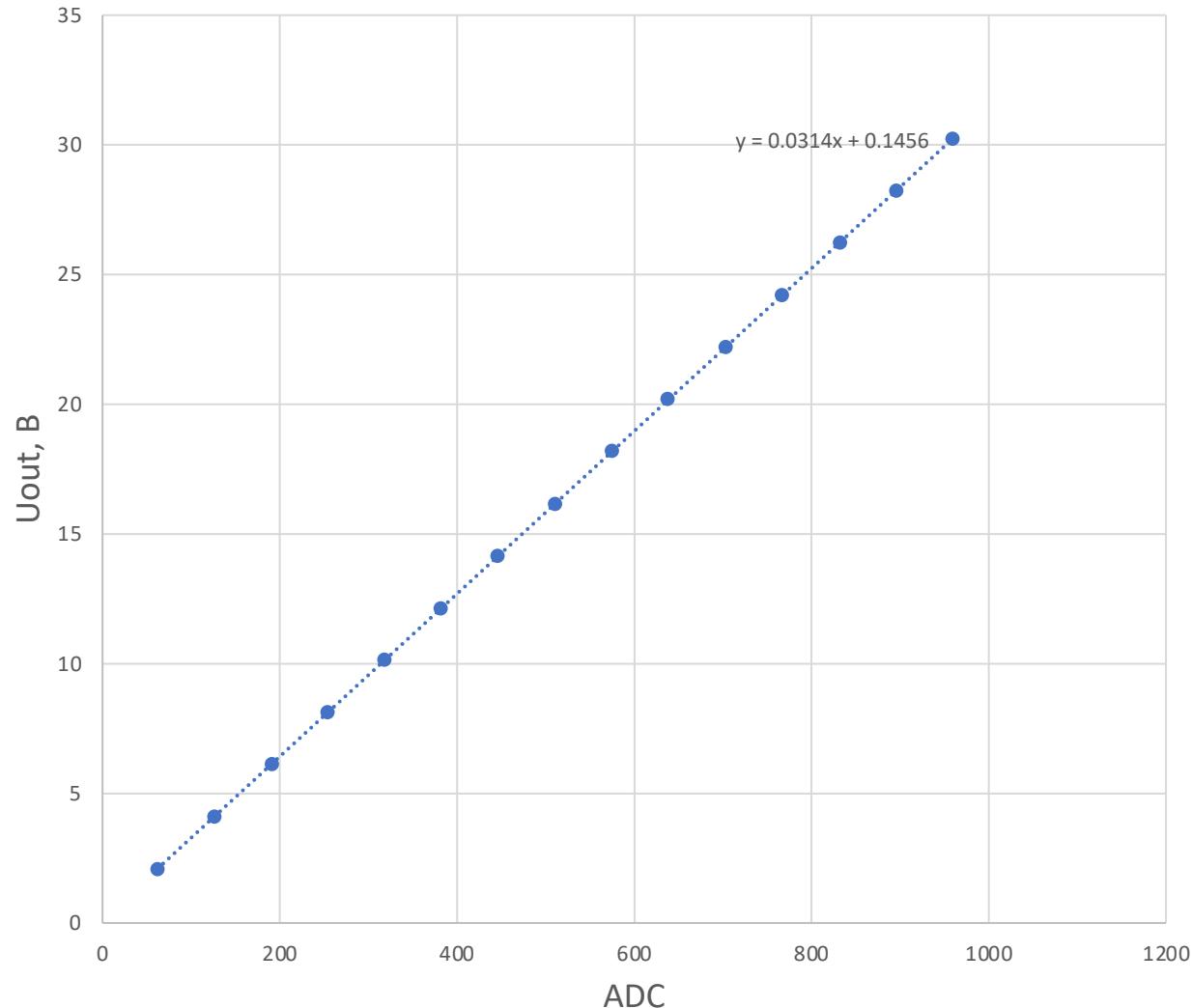
Дифференциальный каскад



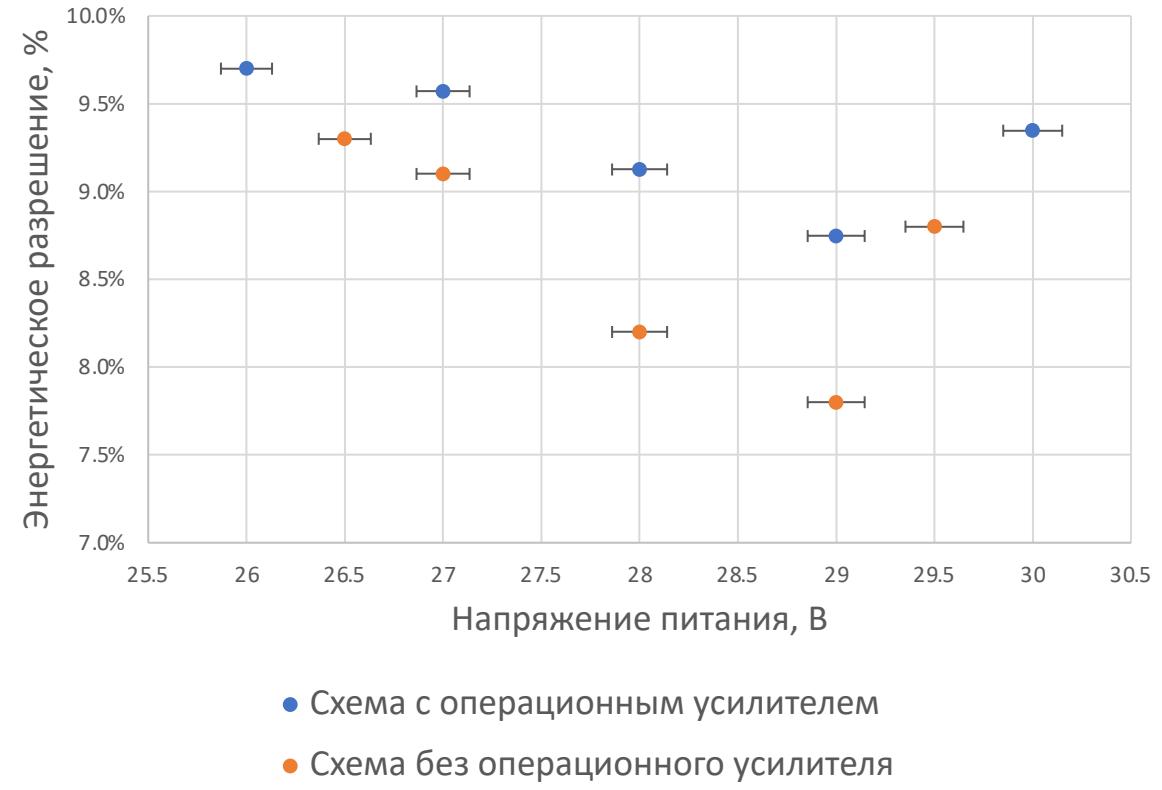
-
- много различных элементов
 - необходимость двуполярного питания
 - необходимость использовать дополнительные измерительные приборы
 - отсутствие цифрового управления

Линейность и энергетическое разрешение (1 канал)

Зависимость напряжения питания от кода ADC



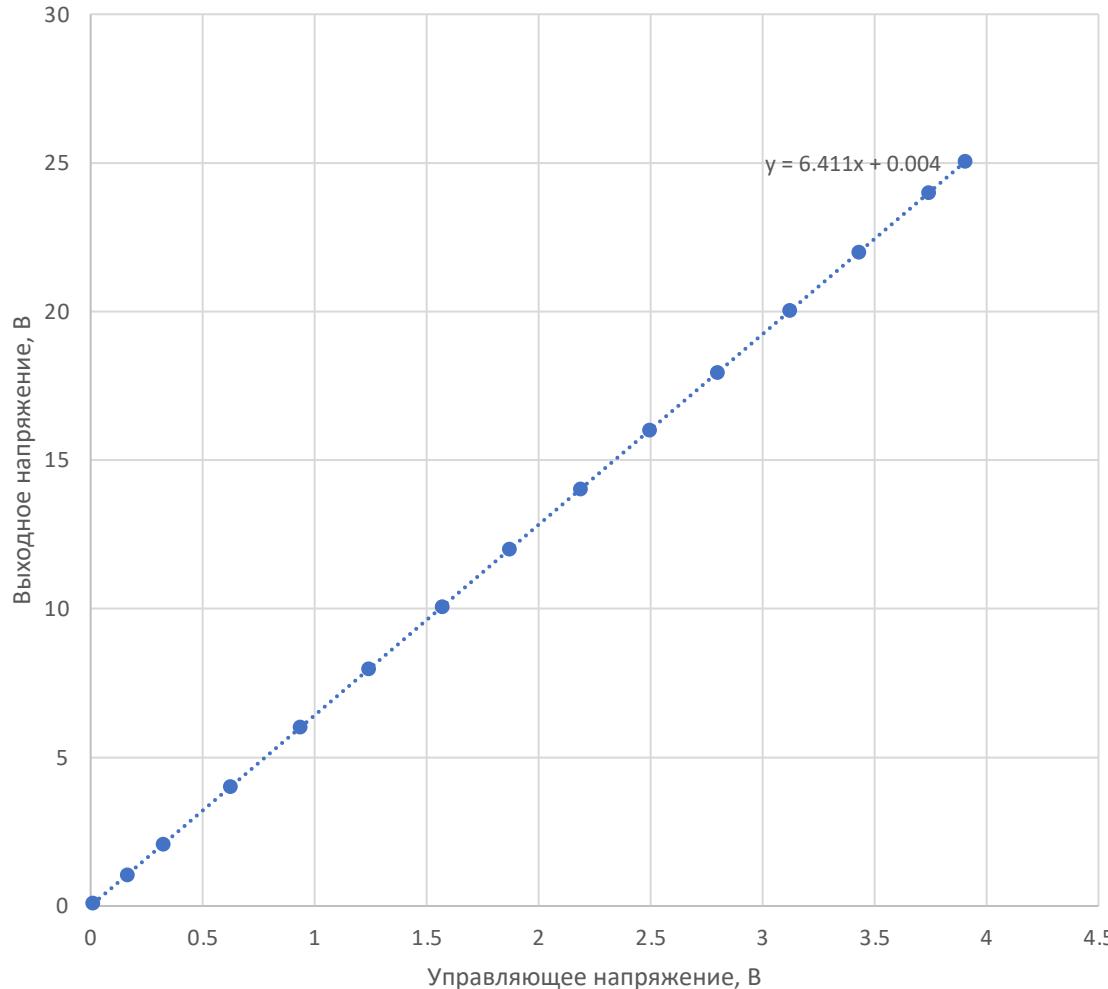
Зависимость энергетического разрешения от напряжения



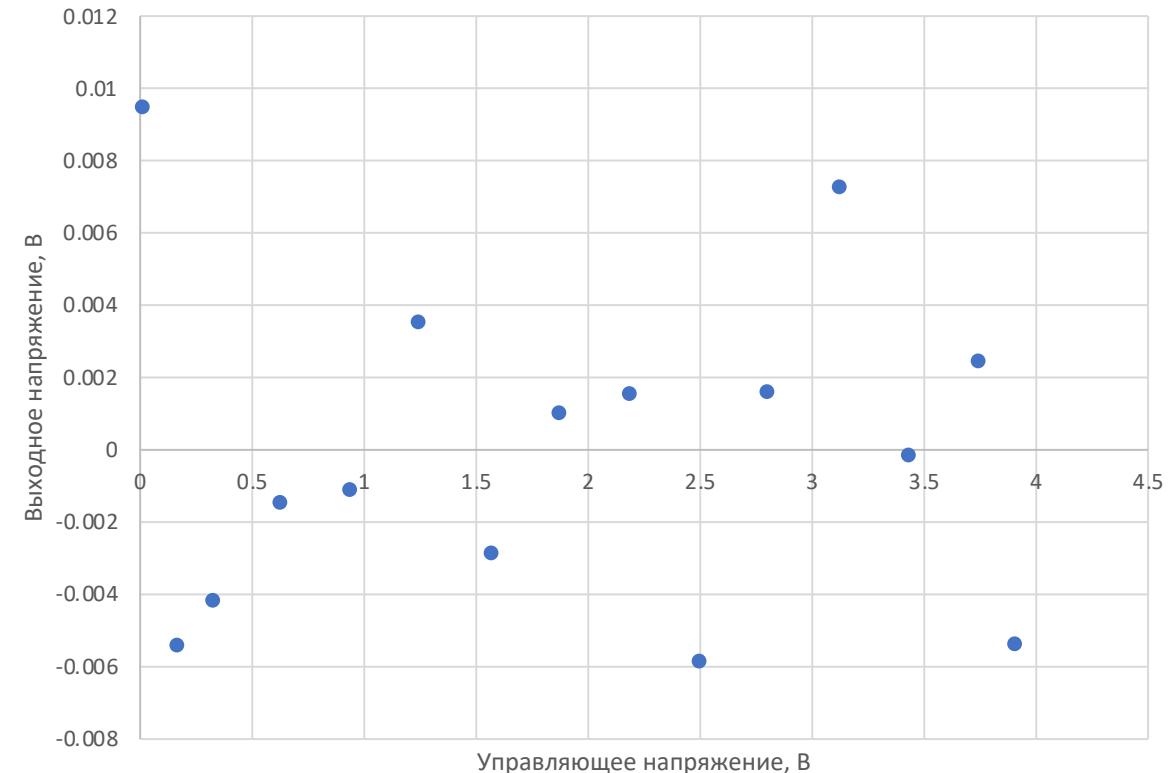
1. Небольшое ухудшение энергетического разрешения обусловлено меньшей статистикой набора данных
2. Аналогично наблюдается минимум в районе 29В

Линейность универсального блока

Зависимость выходного напряжения от управляющего напряжения



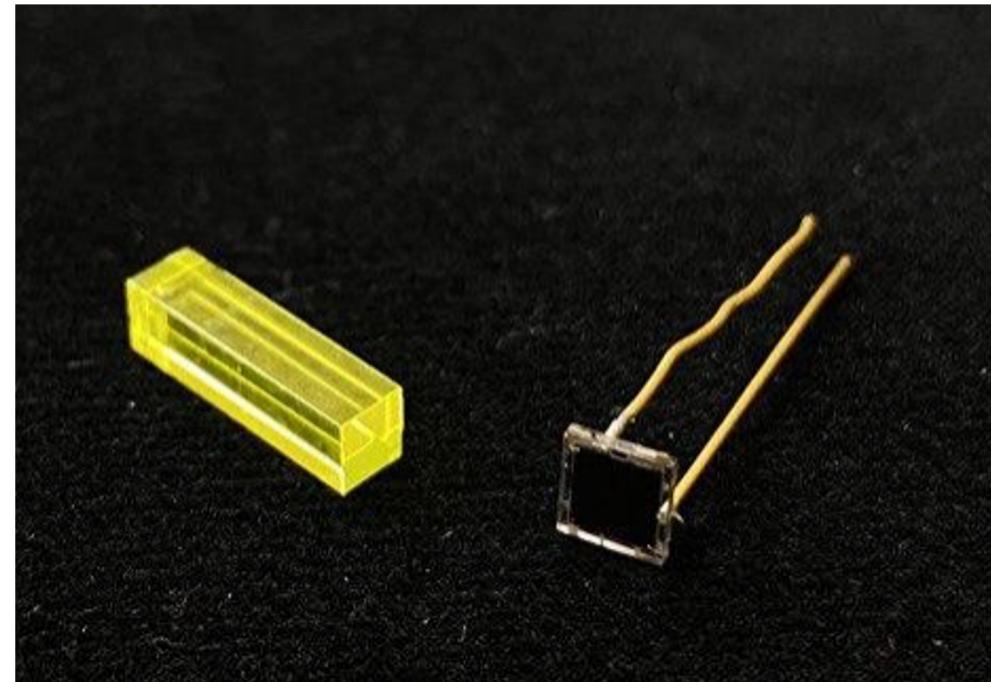
Отклонение наблюдаемого выходного значения от ожидаемого



Универсальное решение полностью подходит для заданной подстройки

Материалы детекторов

	LYSO(Ce)	BGO	Nal(Ti)	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%)
Световойход, 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

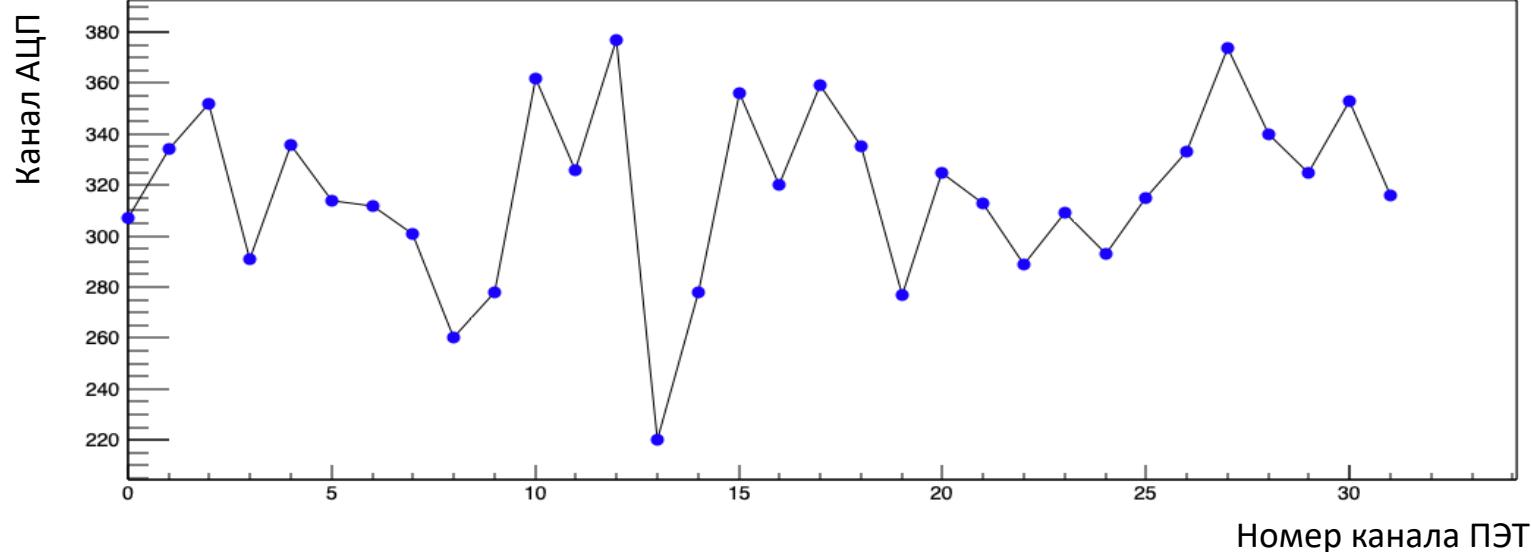
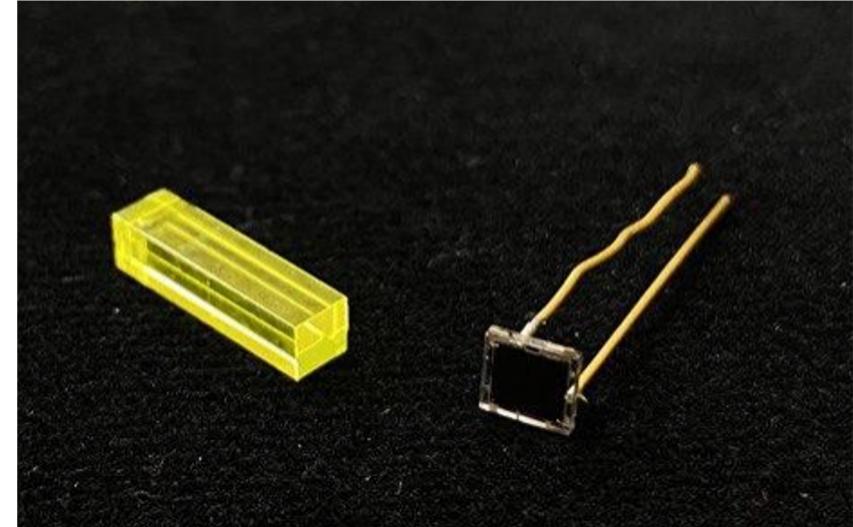
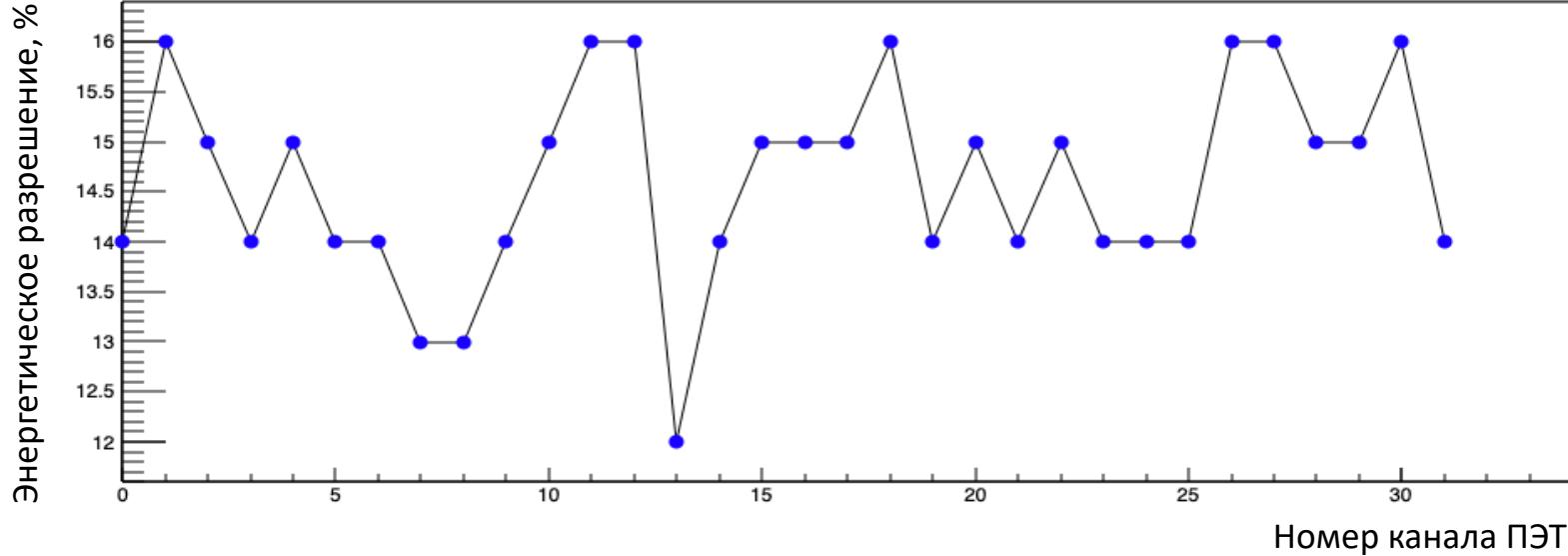
Напряжение пробоя $V_{\text{br}} = 24.2 - 24.7$ В

При длине волны 520 нм и перенапряжении 3 В:

Эффективность регистрации (PDE) = 17%

Усиление = 3×10^6

Неоднородность установки

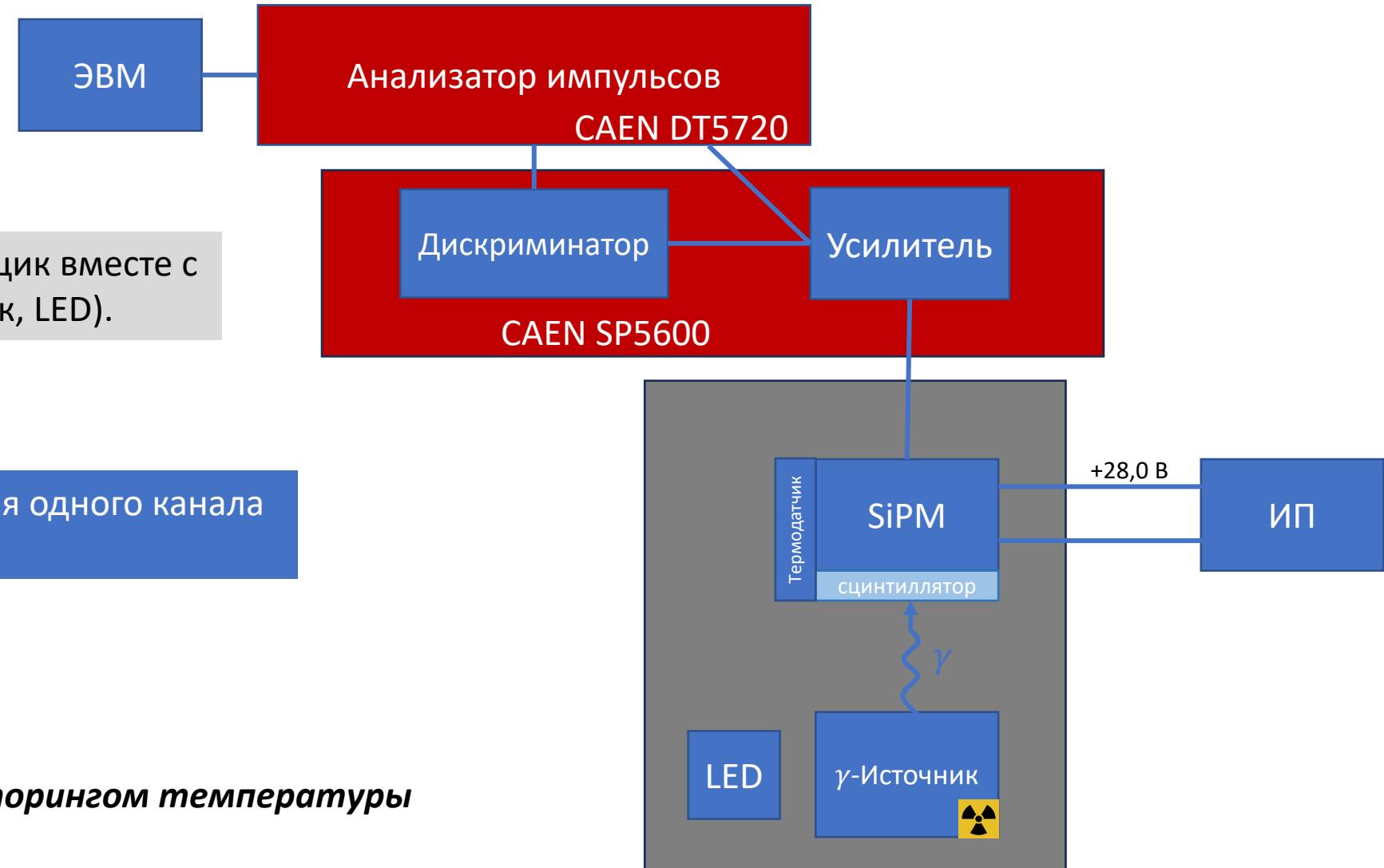


Ср. энергетическое разрешение = 15%
Разброс значений = 9%

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

Установка для изучения неоднородности отклика

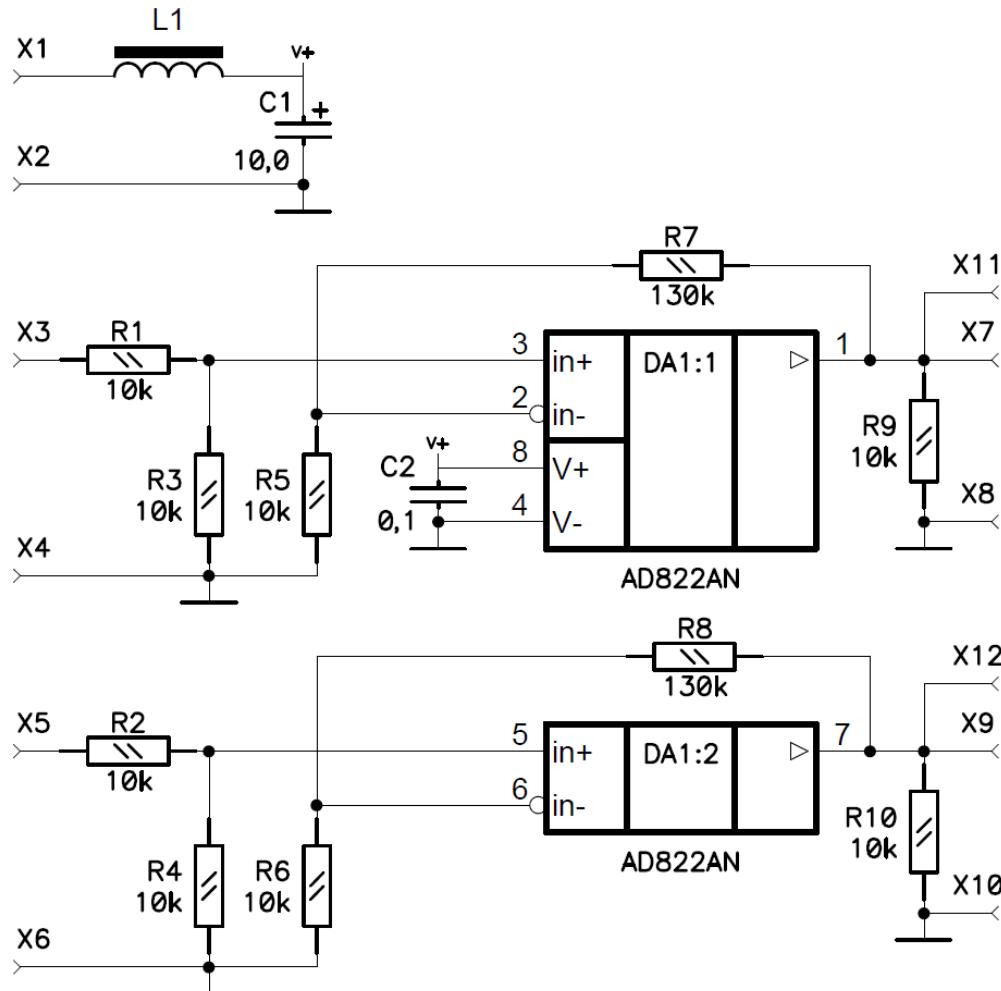
Детектор помещается в чёрный ящик вместе с источником излучения (γ -Источник, LED).



Измерение проводилось для одного канала
сцинтиллятор + SiPM

Измерения производились с мониторингом температуры

Схема на базе операционного усилителя ‘Rail-to-Rail’

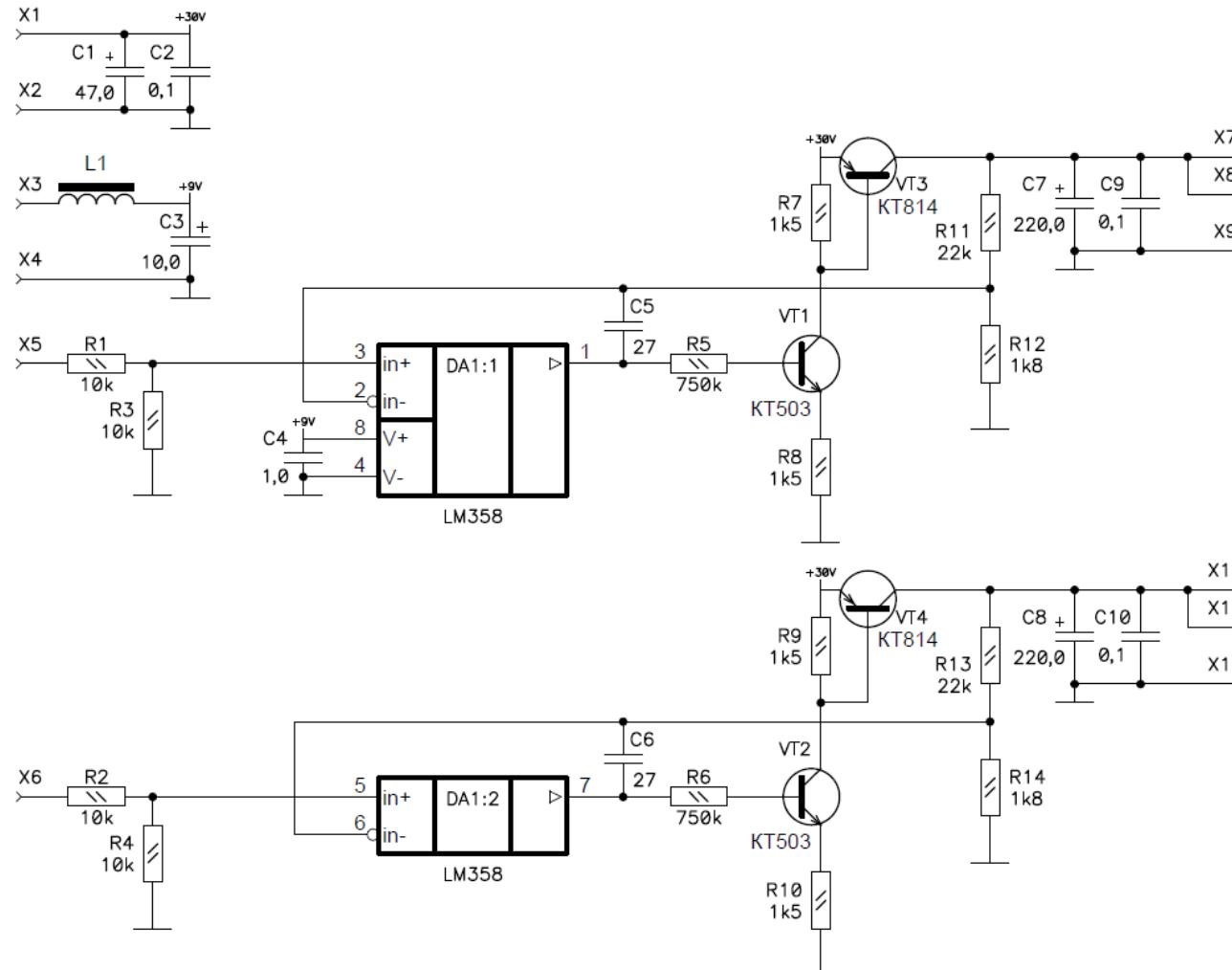


- простота исполнения
- компактность
- возможность внедрения цифрового управления



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

Модификация с операционным усилителем

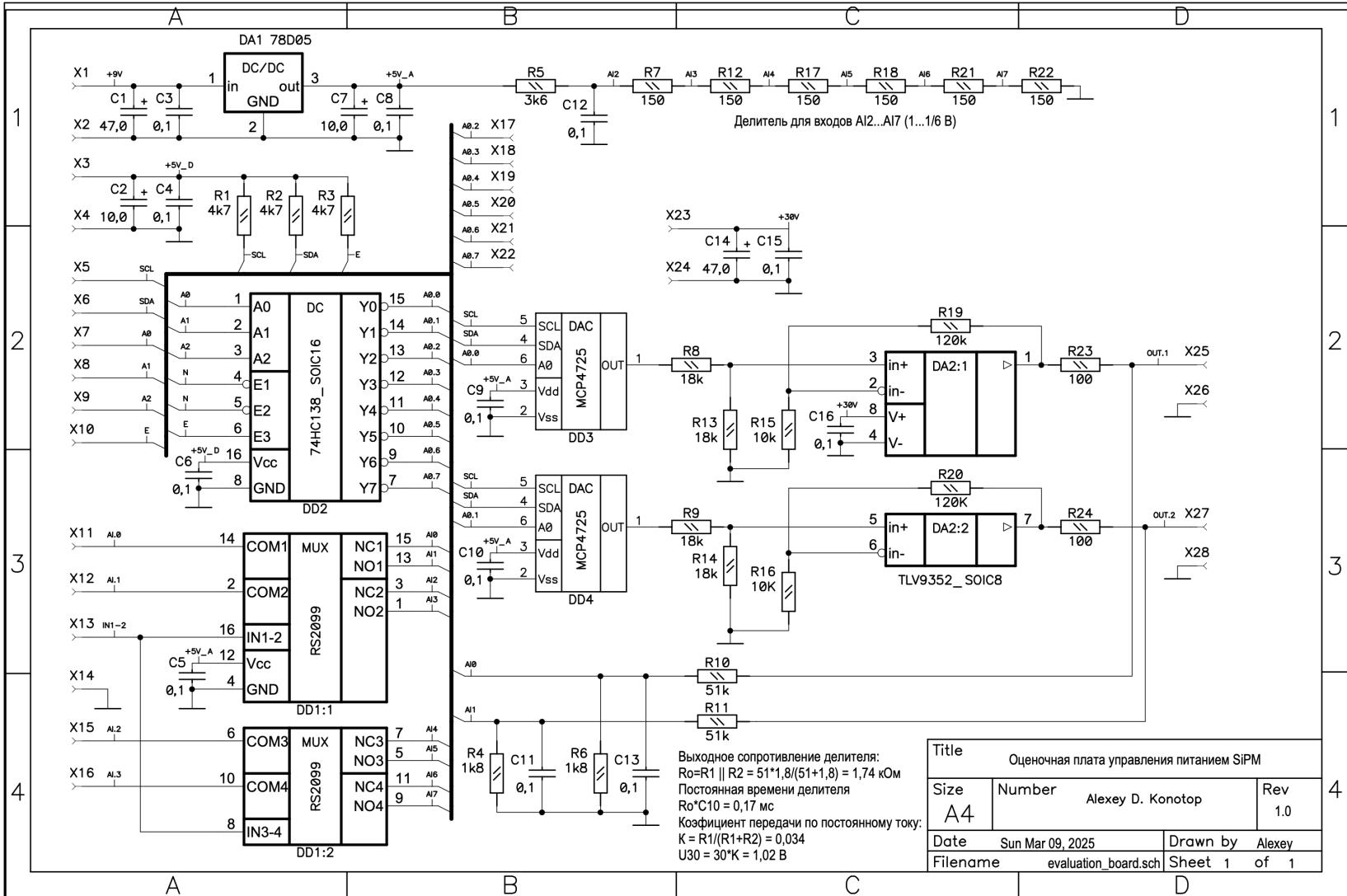


- однополярное питание
- высокая стабильность
- удешевление
- возможность внедрить цифровое управление



- много компонентов
- сложность изготовления

Универсальный блок подстройки

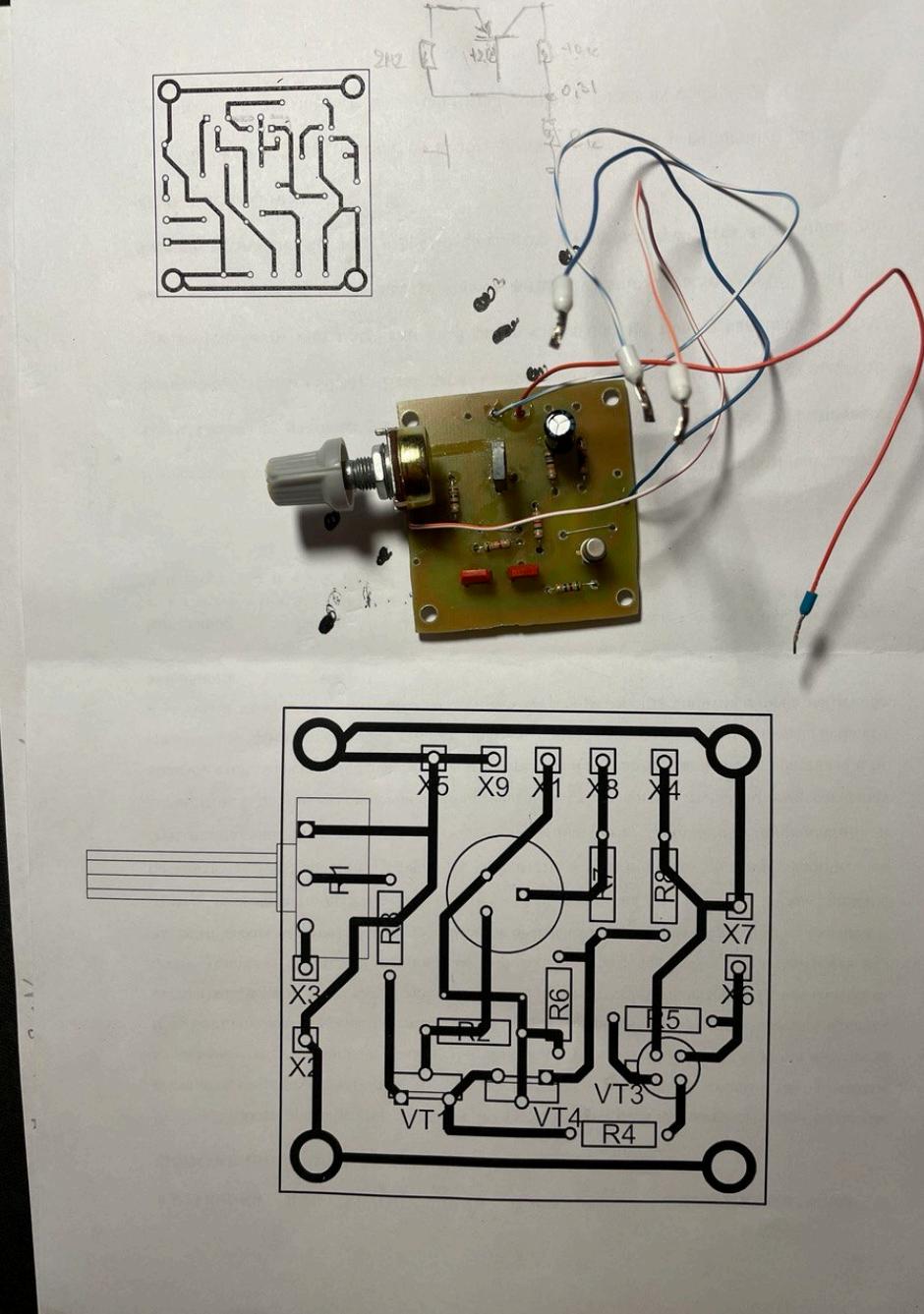
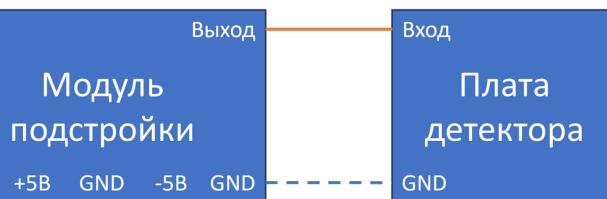
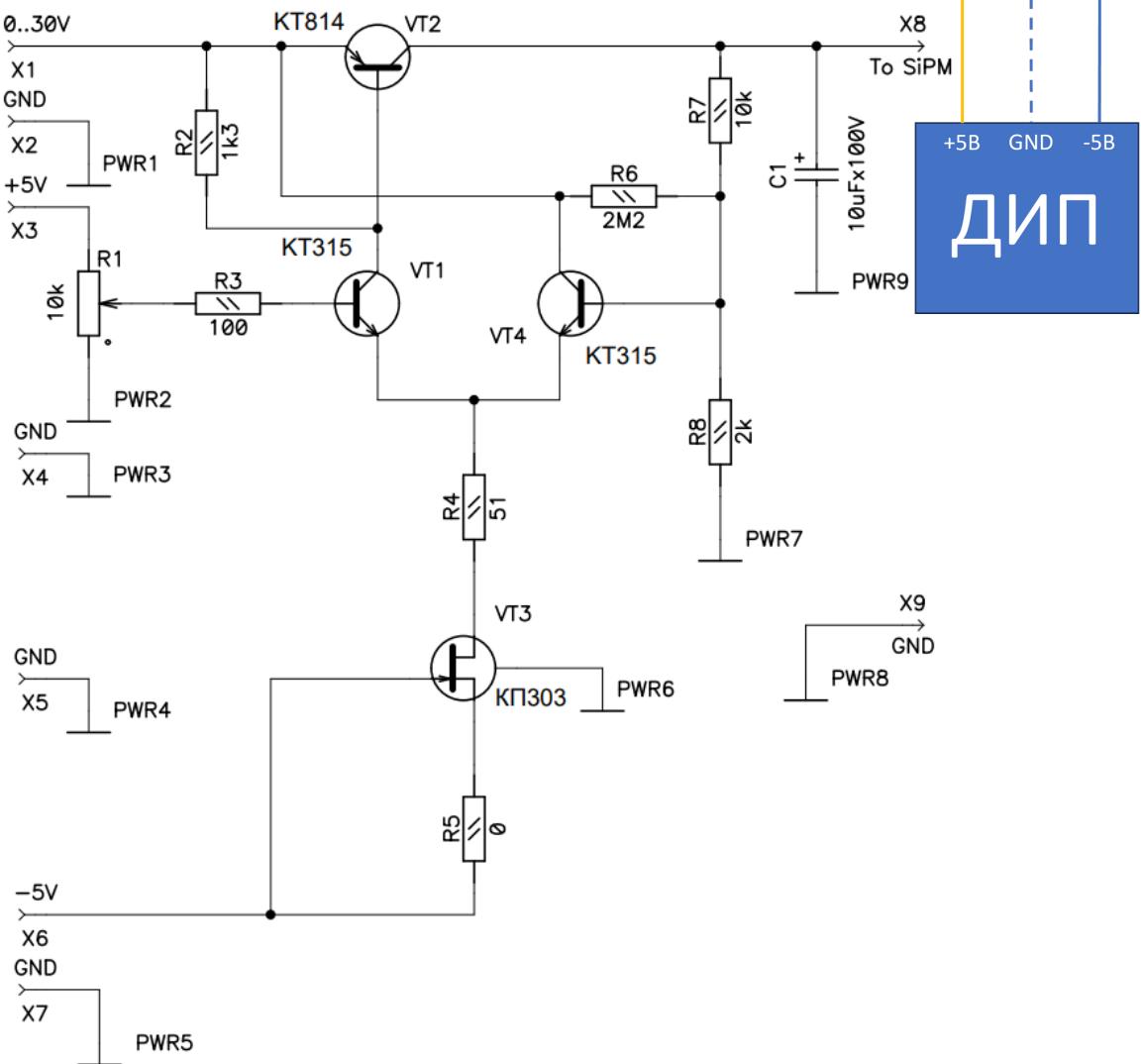


- однополярное питание
- высокая стабильность
- удешевление
- одновременная поддержка нескольких каналов



- сложность изготовления
- производство требует заказ печатных плат

Backup 1



Backup 2

