

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»**



**Факультет «Автоматика и электроника»  
Кафедра № 26 «Электронные измерительные системы»**

**Выпускная квалификационная работа  
«Измерительная схема дифференциального емкостного  
датчика перемещения для системы позиционирования  
сканирующего зондового микроскопа»**

Студент: Канунникова В.Н.

Руководитель: к.т.н. Мещеряков В.В.

Рецензент: д.т.н. Сясько В.А.



# Цель работы

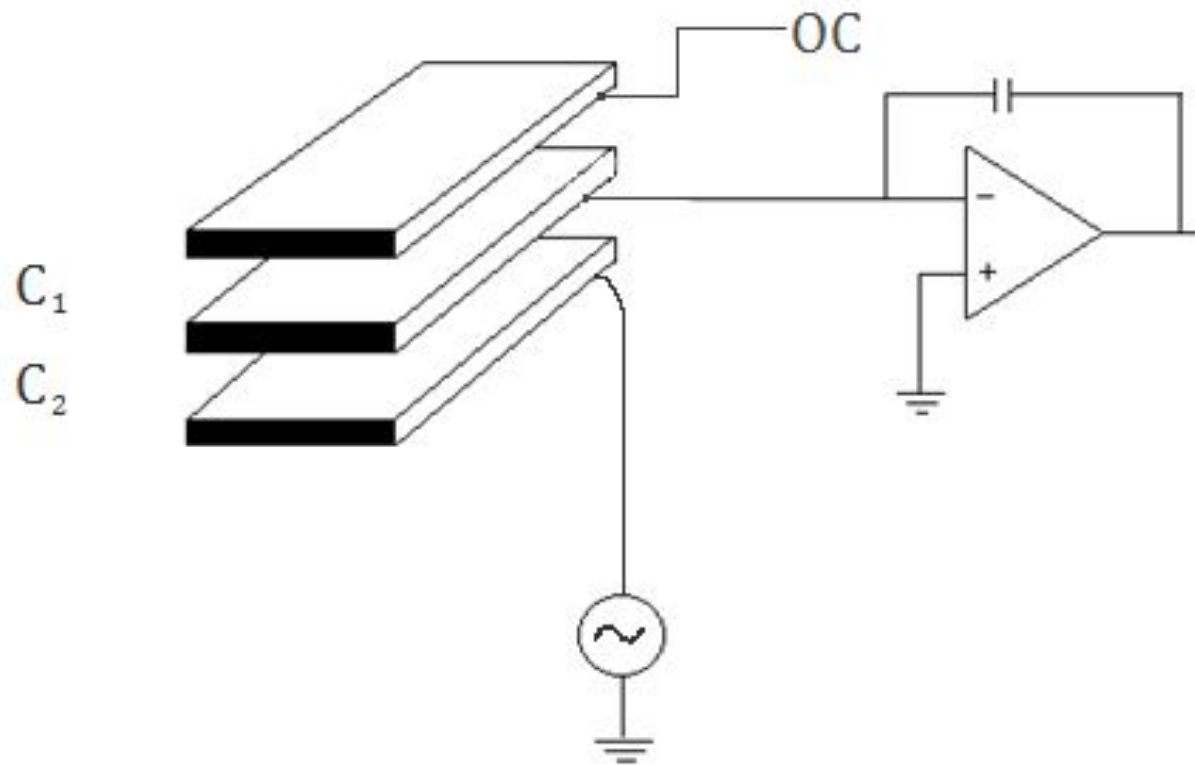
Разработка макета и исследование точностных и динамических свойств емкостного датчика перемещения для системы позиционирования СЗМ.



# Актуальность работы

Зондовые сканирующие микроскопы являются основным инструментом исследования физико-механических свойств поверхности наноструктурированных материалов. Емкостные датчики перемещения являются составной необходимой частью систем позиционирования современных зондовых сканирующих микроскопов.

# Схема включения дифференциального емкостного датчика перемещений

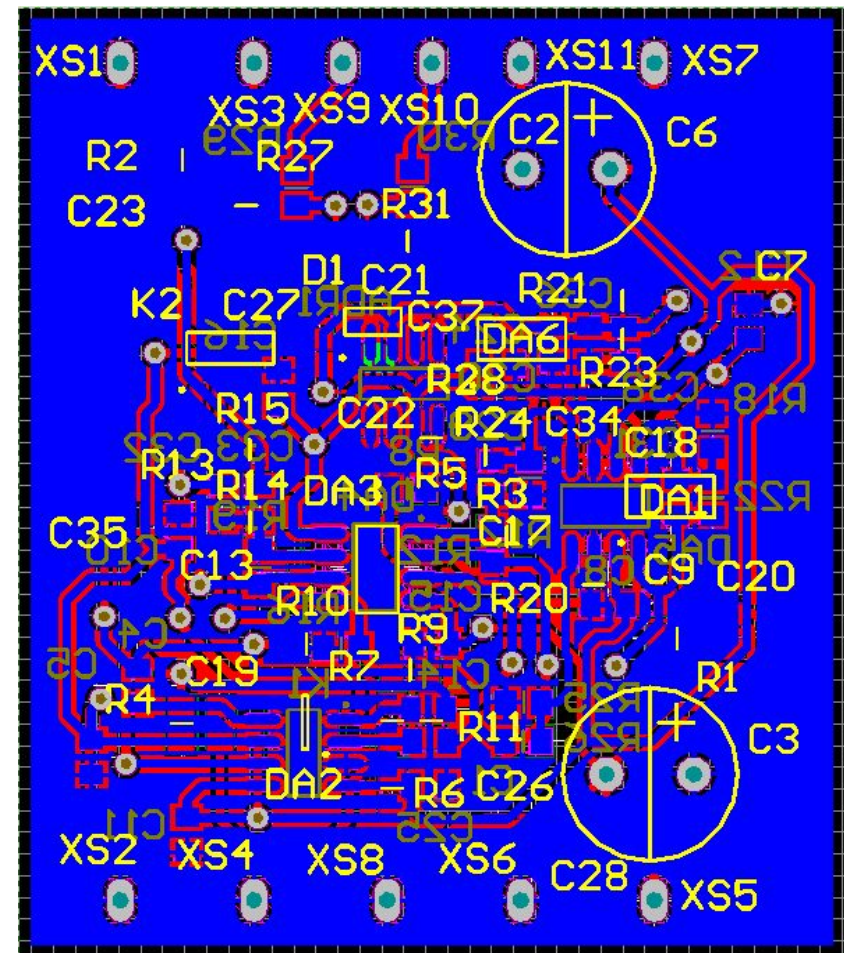
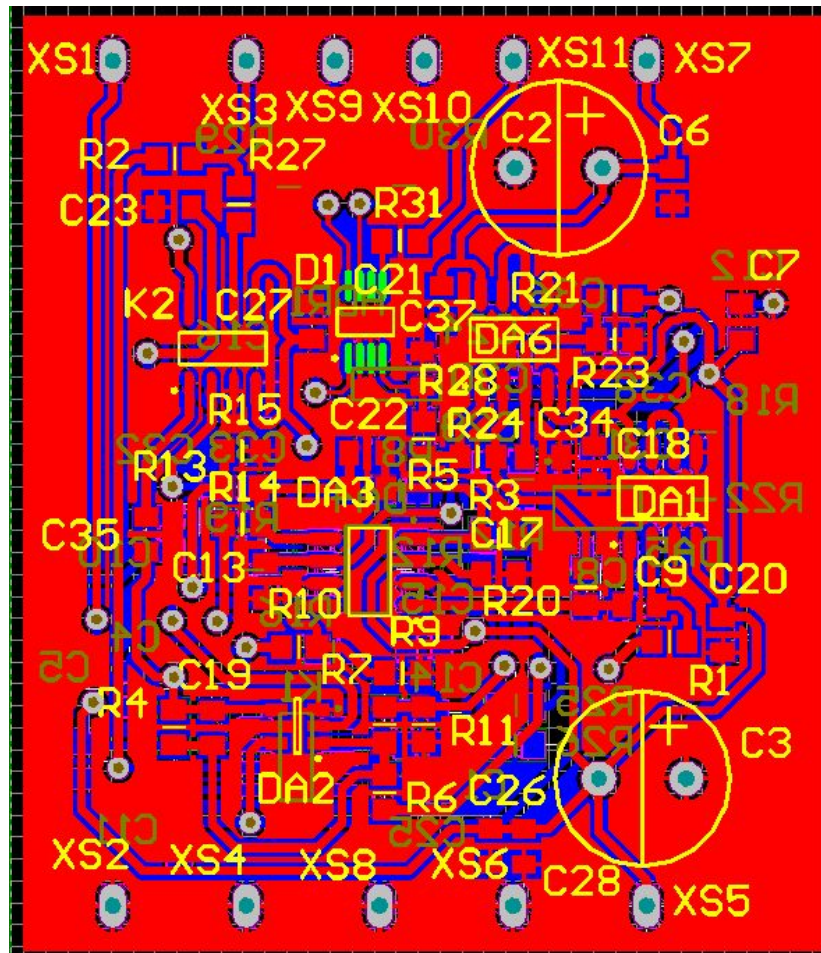






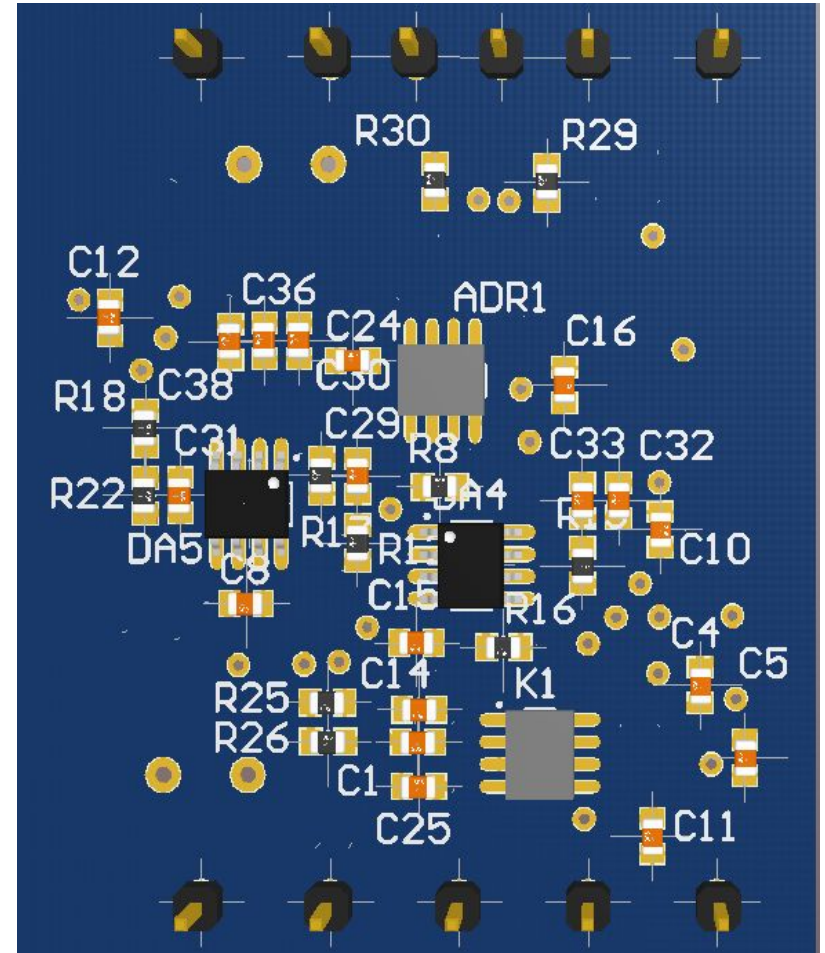
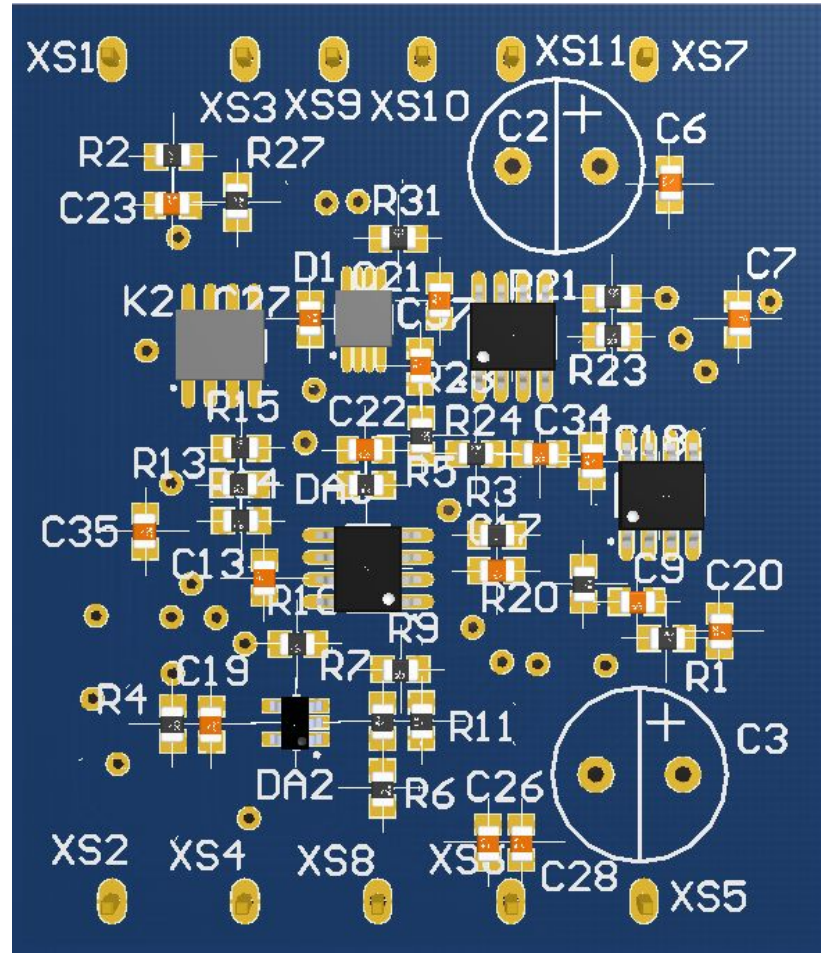


# Разработка печатной платы





# Вид печатной платы в 3D



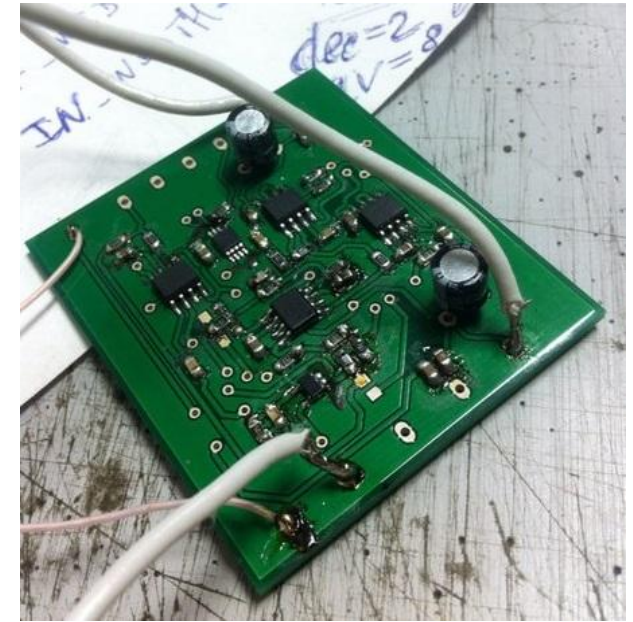
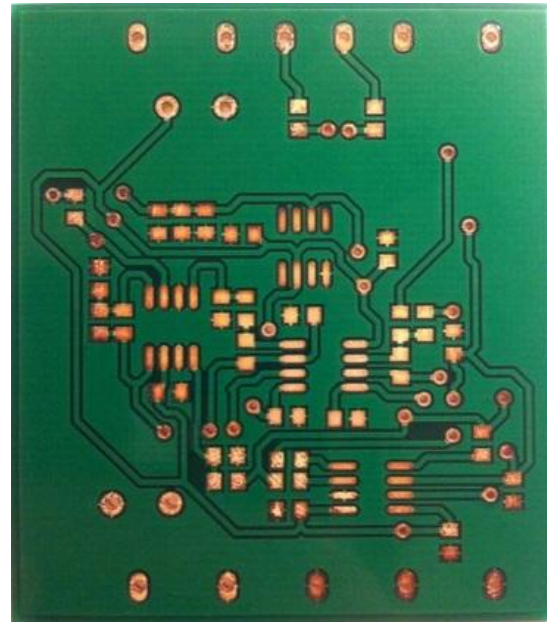
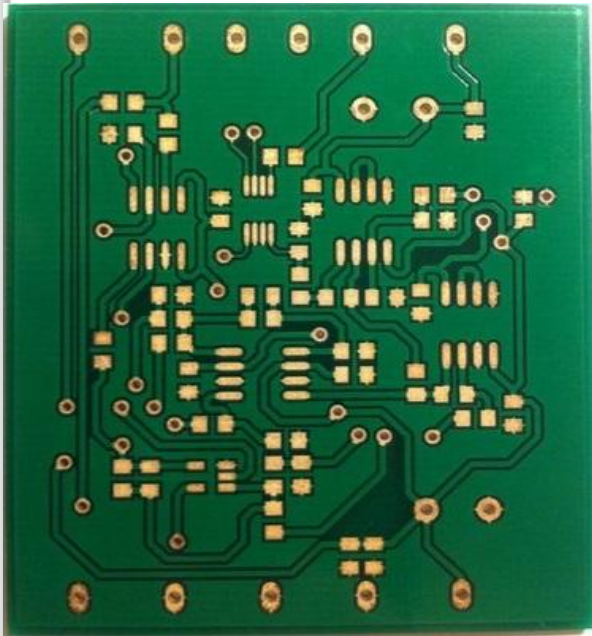
# Характеристики печатной платы



1. Материал печатной платы: текстолит;
2. Толщина печатной платы: 1.5 мм;
3. Площадь печатной платы: 0.258 кв.дм;
4. Количество слоев: двусторонняя;
5. Паяльная маска: зеленая паяльная маска;
6. Толщина дорожек: 1мм;
7. Переходные отверстия открыты от паяльной маски: да.



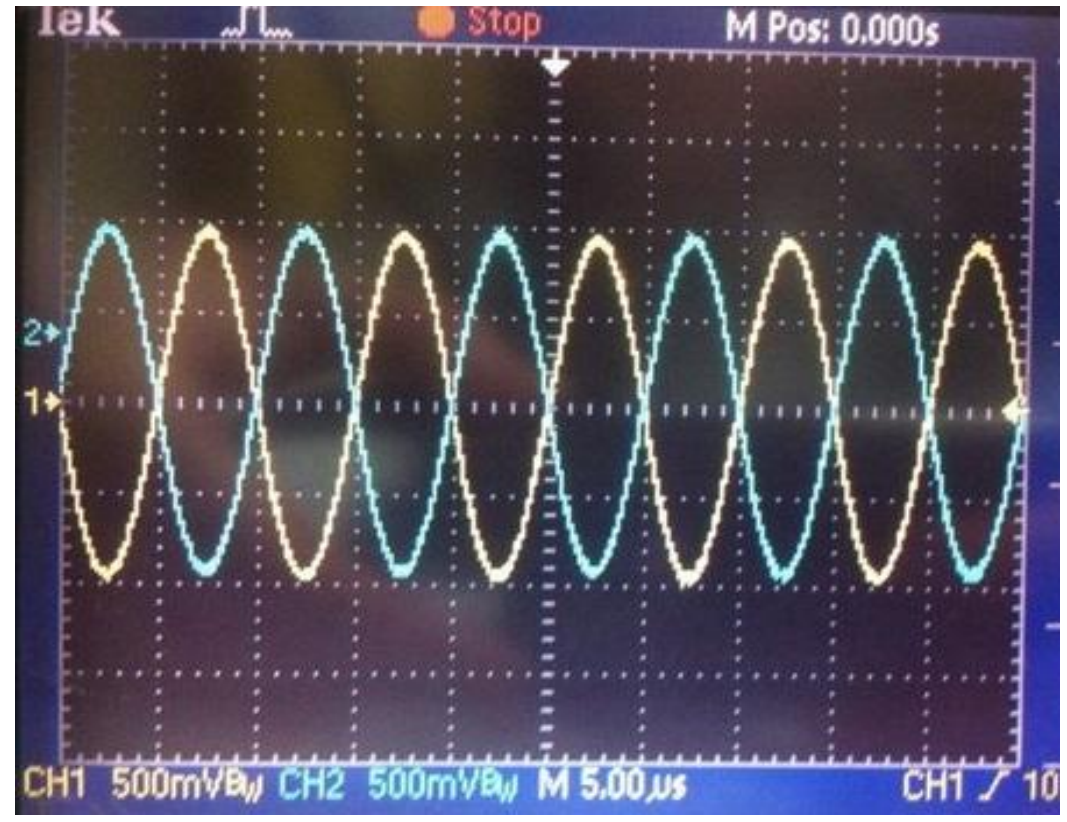
# Вид изготовленной печатной платы



Печатная плата

Макет

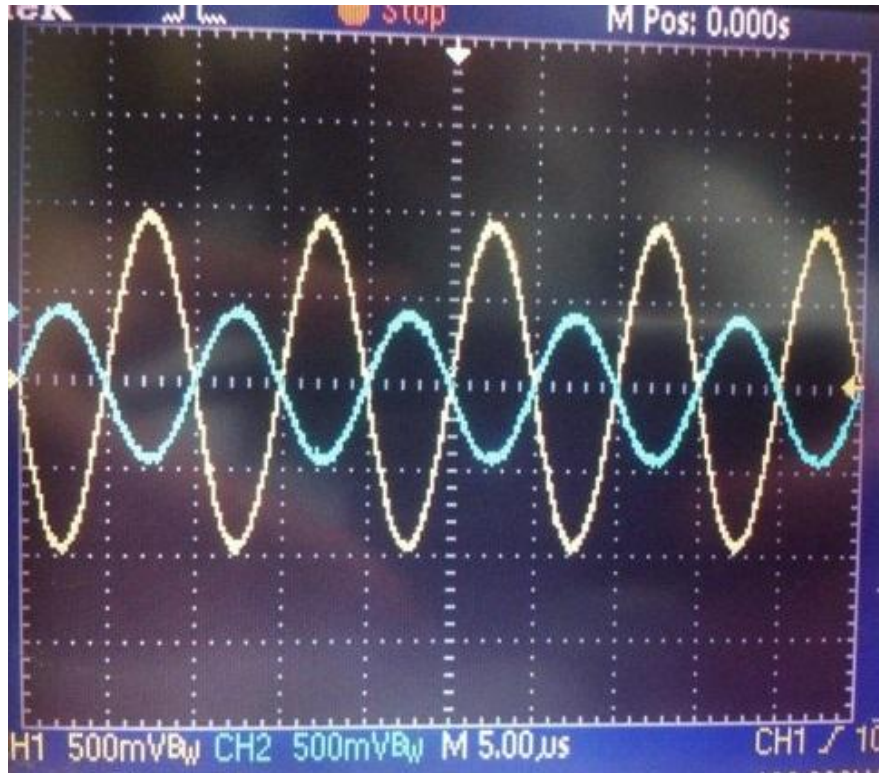
# Экспериментальное исследование верхней границы динамического диапазона



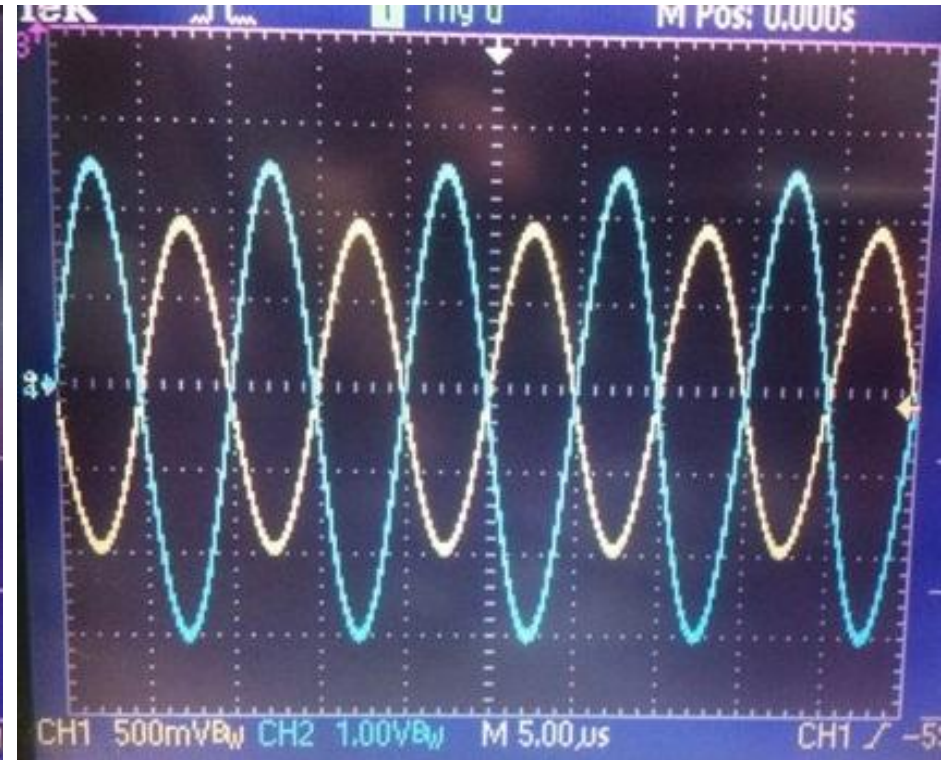
Сигнал генератора и сигнал ОС при равных С



# Экспериментальное исследование динамического диапазона (продолжение)



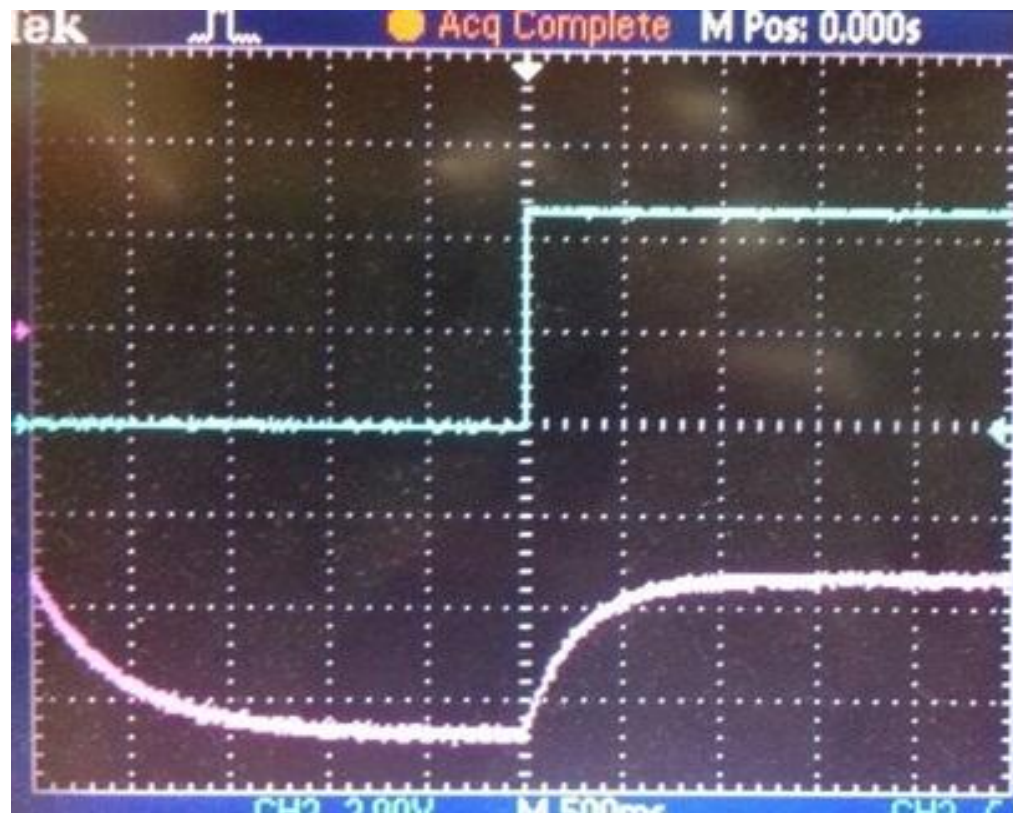
Сигнал генератора и сигнал ОС  
при  $C_2 = 2C_1$



Сигнал генератора и сигнал ОС  
при  $C_1 = 2C_2$

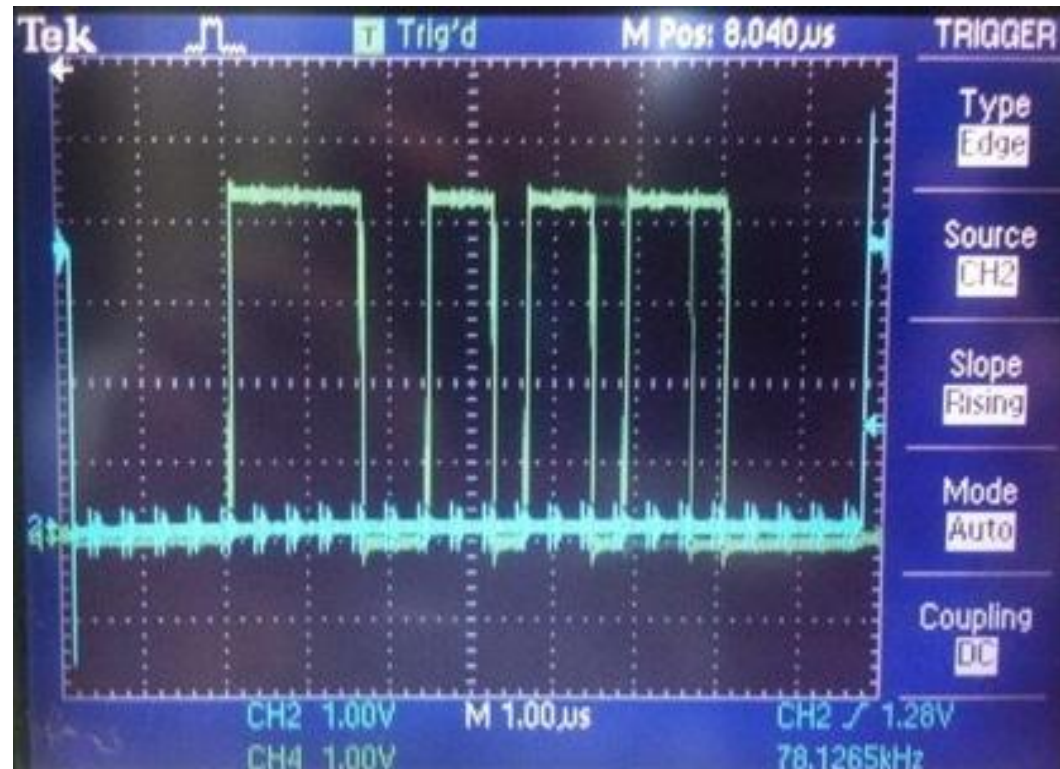


# Экспериментальное исследование быстродействия измерительной схемы.



Переходная характеристика

# Экспериментальное исследование уровня шумов в схеме.



Выходной сигнал АЦП

# Основные результаты дипломного проектирования.



1. Разработана принципиальная схема емкостного датчика перемещения;
2. произведено электронное моделирование схемы в программе Altium Designer;
3. разработана и изготовлена печатная плата;
4. изготовлен макет измерительной схемы емкостного датчика;
5. произведена отладка макета измерительной схемы;
6. произведены экспериментальные исследования макета: исследованы динамические и точностные свойства макета;
7. получены осциллограммы работы макета в каждой точке;
8. оценено быстродействие схемы, динамический диапазон и шумы в выходном сигнале.



# Выводы



- Экспериментально исследованы верхняя и нижняя границы динамического диапазона. По результатам эксперимента верхняя граница ограничена перегрузкой в схеме, нижняя ограничена шумами схемы.
- Экспериментально исследовано быстродействие измерительной схемы. По результатам эксперимента минимальное время установления переходного процесса измерительной схемы составило 2мс.
- Экспериментально исследован шум в выходном сигнале макета. Он составляет единицу младшего разряда АЦП, что соответствует 60мкВ.

**Спасибо за внимание!**