

Об эффективности применения антирезонансных устройств, включаемых в дополнительную обмотку трансформаторов напряжения

Новосибирский
государственный
технический университет

Лаптев Олег Игоревич

Факультет энергетики НГТУ



Кафедра техники и электрофизики
высоких напряжений

Основные технические решения по предотвращению феррорезонанса в ТН 6-35 кВ

Антирезонансные ТН

Устраняется сама проблема, т.е. феррорезонанс в ТН

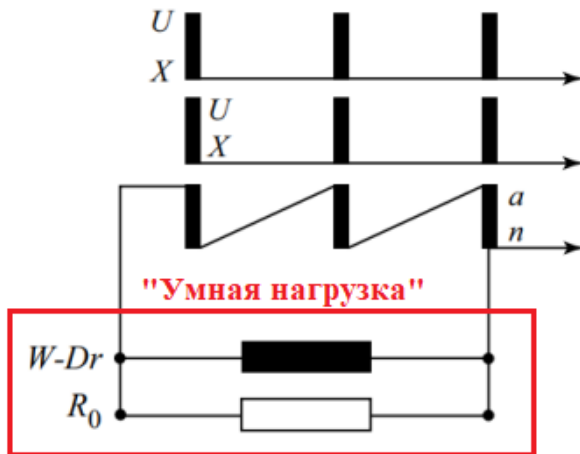
- ТН с доп. трансформатором в нейтрали (НАМИ 6-35 и аналоги)
- Другие антирезонансные конструкции ТН (снижение раб. индукции, добавочные сопротивления и т.д.)

Антирезонансные устройства

Не устраняют проблему, но противодействуют феррорезонансу после его ВОЗНИКНОВЕНИЯ

- переменное демпф. сопротивление (ABB VTGuard и аналоги)
- катушки индуктивности (Ritz DE-6 и аналоги)

«Умная нагрузка»

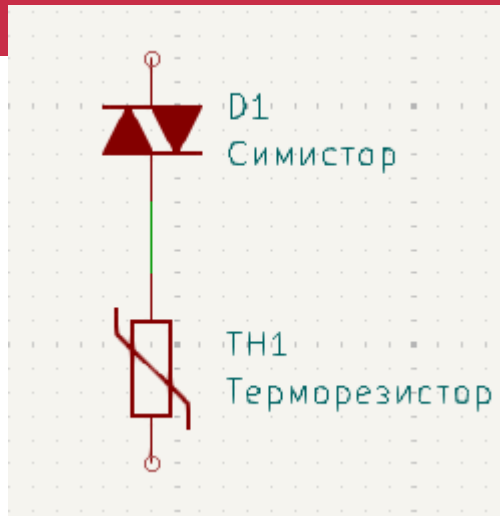


- Все антирезонансные устройства подключаются в дополнительную обмотку ад-хд
- Принцип действия основан на изменении сопротивления устройства при возникновении феррорезонанса
- В зарубежных статьях часто называются «умной нагрузкой» (smart load)

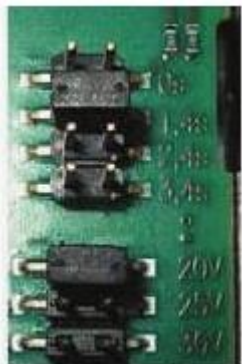
«Умная нагрузка»?

- В настоящее время среди распространённых на рынке антирезонансных устройств для ТН 6-35 кВ **нет ни одного цифрового**
- Алгоритмы срабатывания у большинства устройств сводятся к простой отсечке по напряжению с выдержкой времени

ABB VT Guard и аналоги



Примерная схема устройства



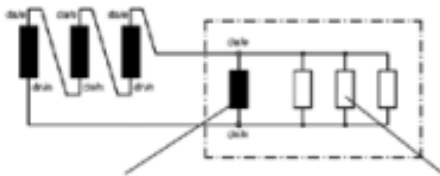
Выбор уставки и времени срабатывания

- При превышении напряжения $3U_0$ уставки срабатывания (**20-30В**), через заданную выдержку времени к обмотке АД-ХД подключается резистор
- Сопротивление резистора сначала мало, затем возрастает

Катушки индуктивности

Spannungswandler
voltage transformer

Dämpfungseinrichtung
damping inductance device



Wirkleistungsdrossel ZKSW 300
damping inductance coil ZKSW 300

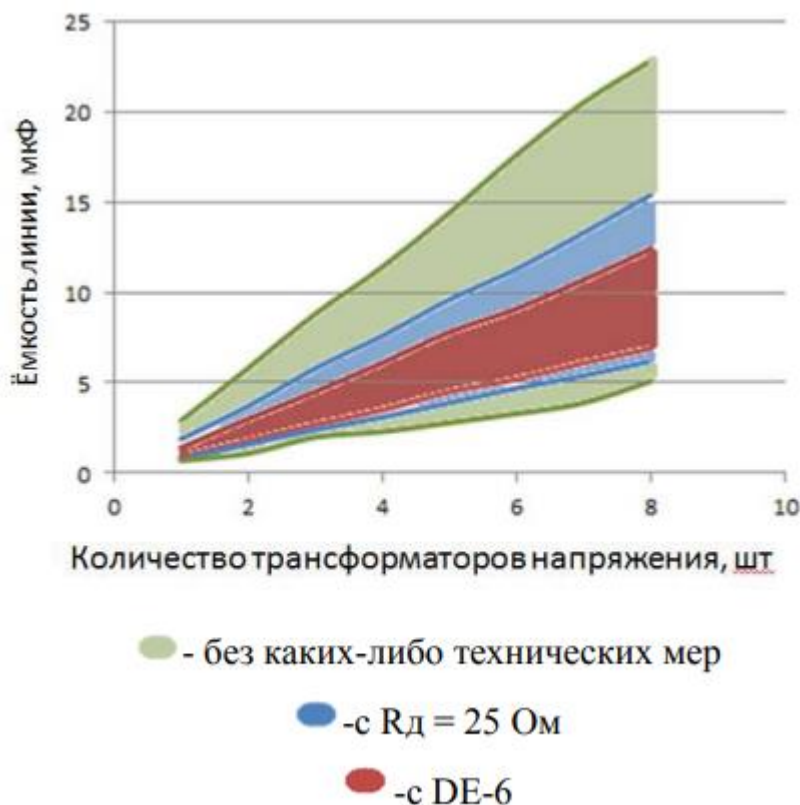
Widerstandsgruppe 135 W
group of resistors 135 W

Схема устройства Ritz DE-6



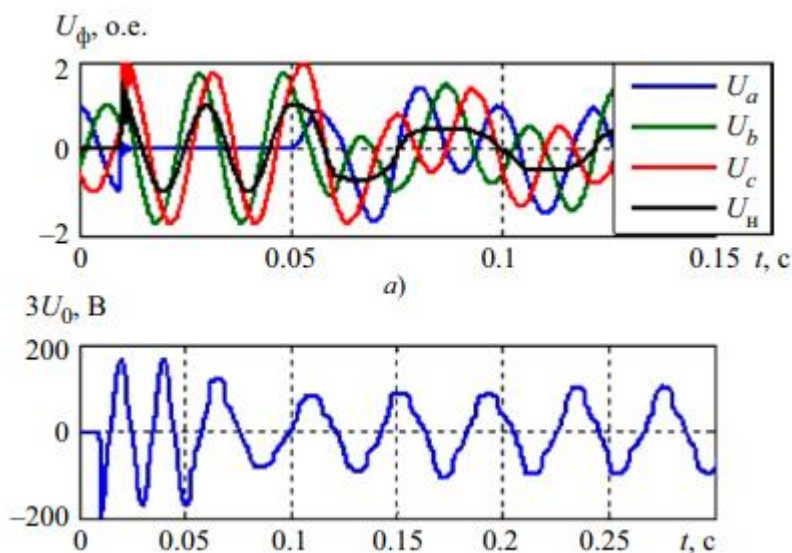
- В качестве катушки используется трансформатор тока ZKSW 300
- Параллельно включен резистор 90Ом.
- Катушка насыщается при феррорезонансе на субгармониках

Области существования феррорезонанса в ТН с катушкой в ад-хд

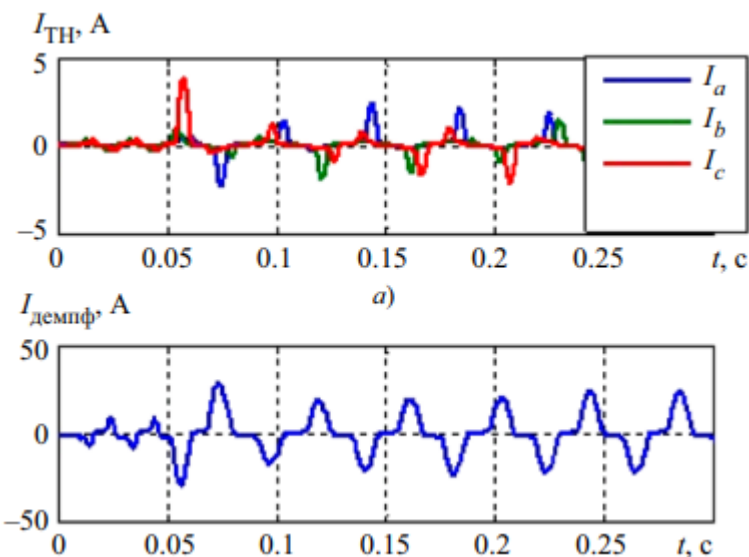


- При номинальном напряжении на частоте 25Гц рассеиваемая катушкой мощность достигает 1 кВт
- Но фактически её эффективность лишь немного выше, чем у резистора 25Ом

Эффективность катушек ИНДУКТИВНОСТИ

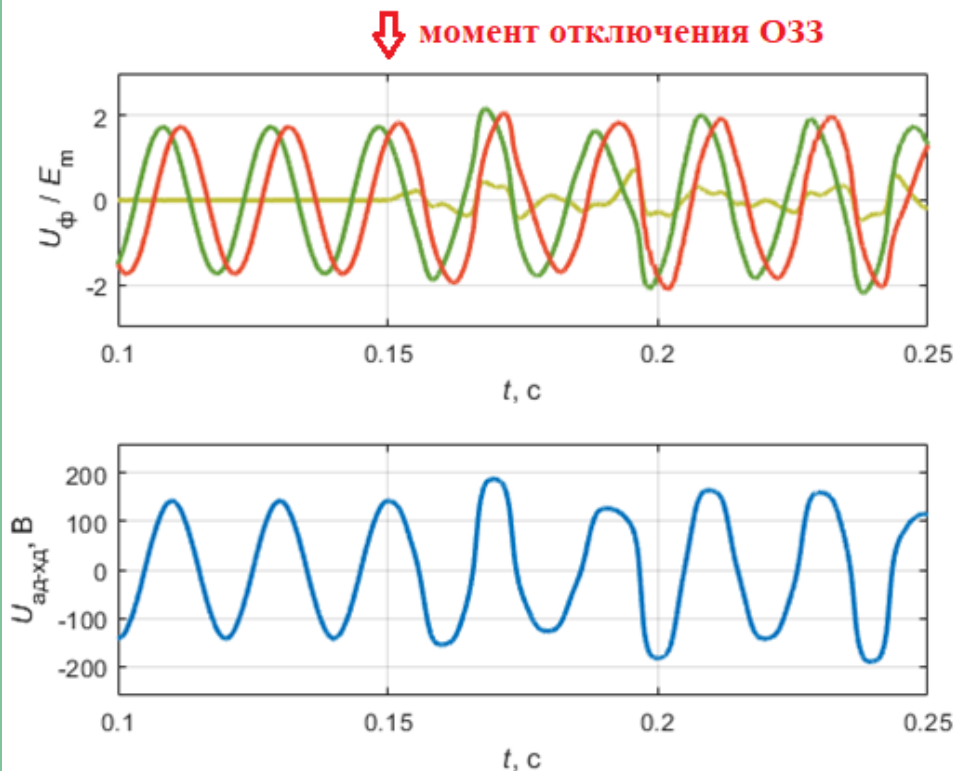


Напряжение на катушке в режиме феррорезонанса – порядка **60В** (при номинальном – 110В)



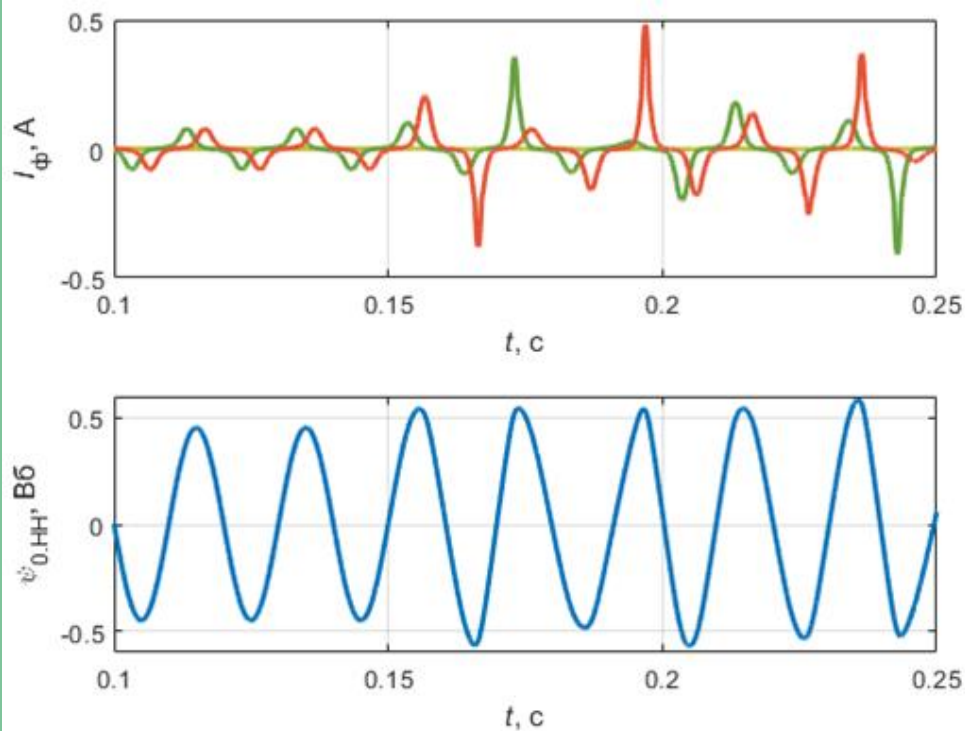
Амплитуда тока в катушке – до 30А, но действующий ток меньше и общая рассеиваемая мощность – **200Вт**

Феррорезонанс на частоте 50Гц после ОДЗ/отключения ОЗЗ



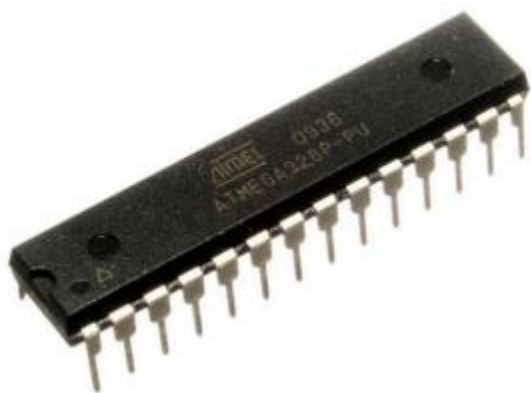
- ТН типа НТМИ-6
- Ёмкость фазы сети 30 нФ
- Отключение ОЗЗ в момент $t = 0,15$ с

Феррорезонанс на частоте 50Гц после ОДЗ/отключения ОЗЗ

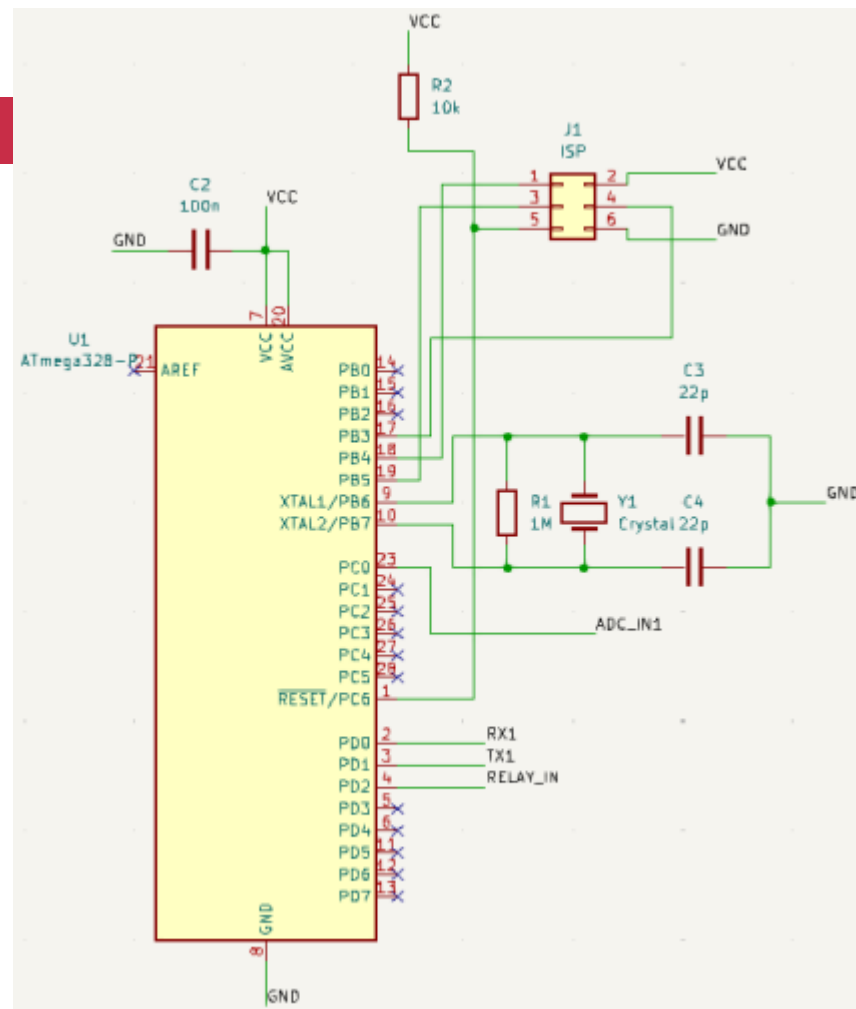


- Катушки индуктивности в обмотке ад-хд **вообще не способны** демпфировать такой режим

Разработка антирезонансного устройства на базе микроконтроллера



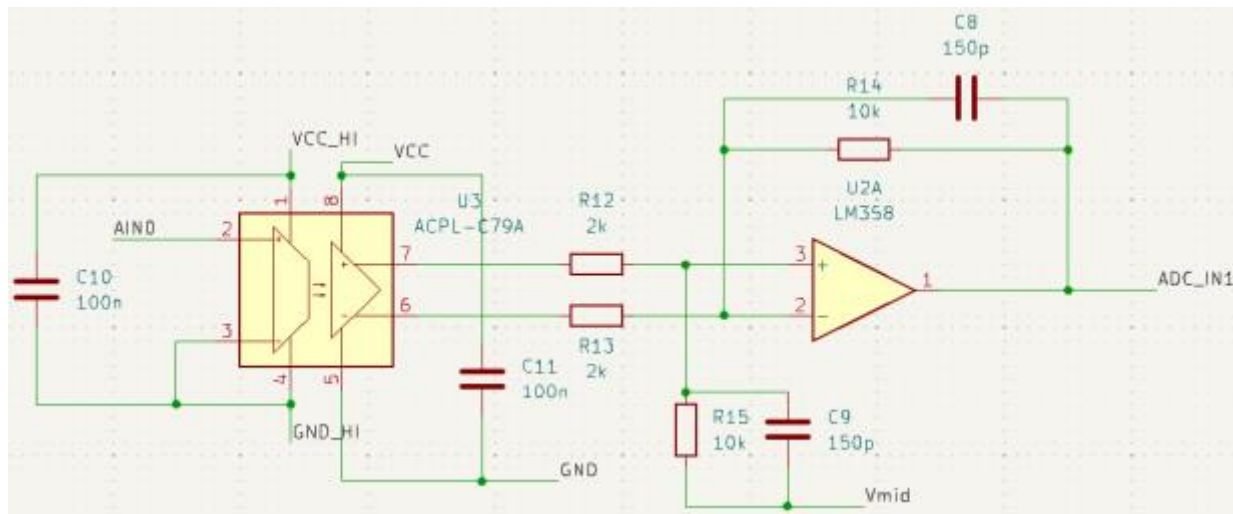
Микроконтроллер ATmega 328P



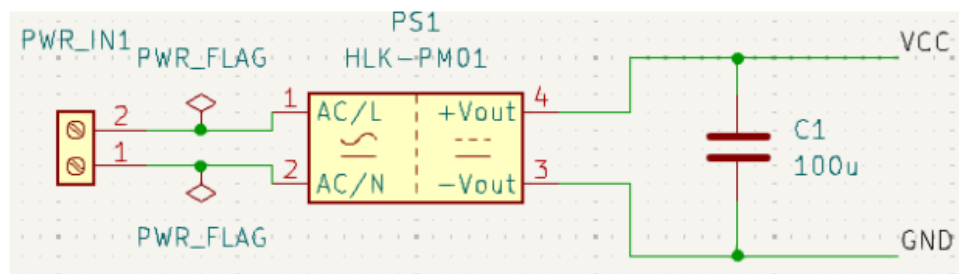
Алгоритм обнаружения феррорезонанса

- Устройство выполняет FFT преобразование на интервале 0,12с (частота дискретизации 1 кГц) и выделяет амплитуды гармоник 16,6Гц, 25Гц и 50Гц. Также считается $U_{эфф}$.
- Если $U_{эфф}$ больше уставки (10...15В) и какая-либо из субгармоник больше, чем 50% от $U_{эфф}$ – включается демпфирующий резистор

Гальваническая развязка измерительной части и электроники

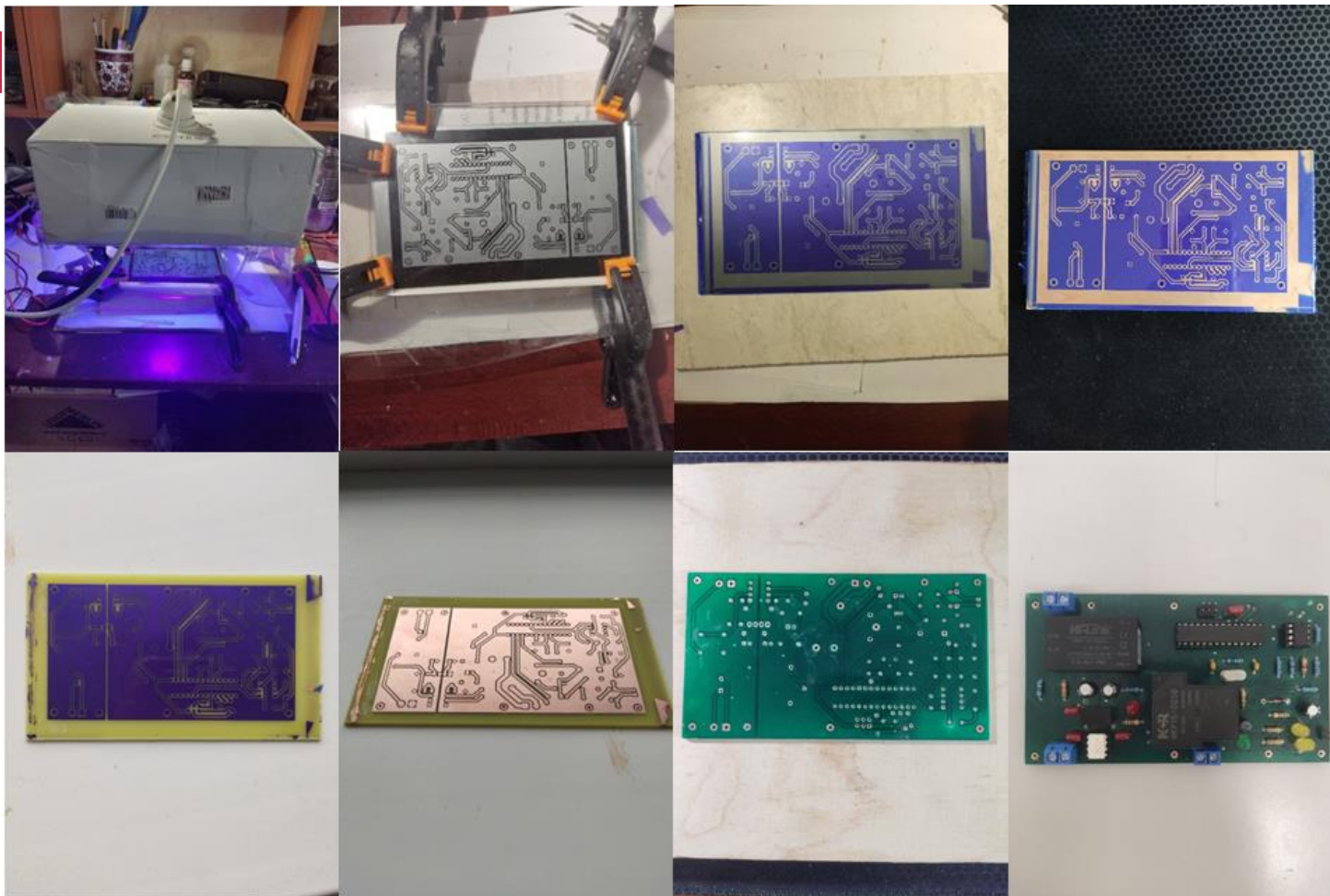


Для развязки используется изолирующий ОУ



По питанию также гальваническая развязка

Этапы изготовления прототипа



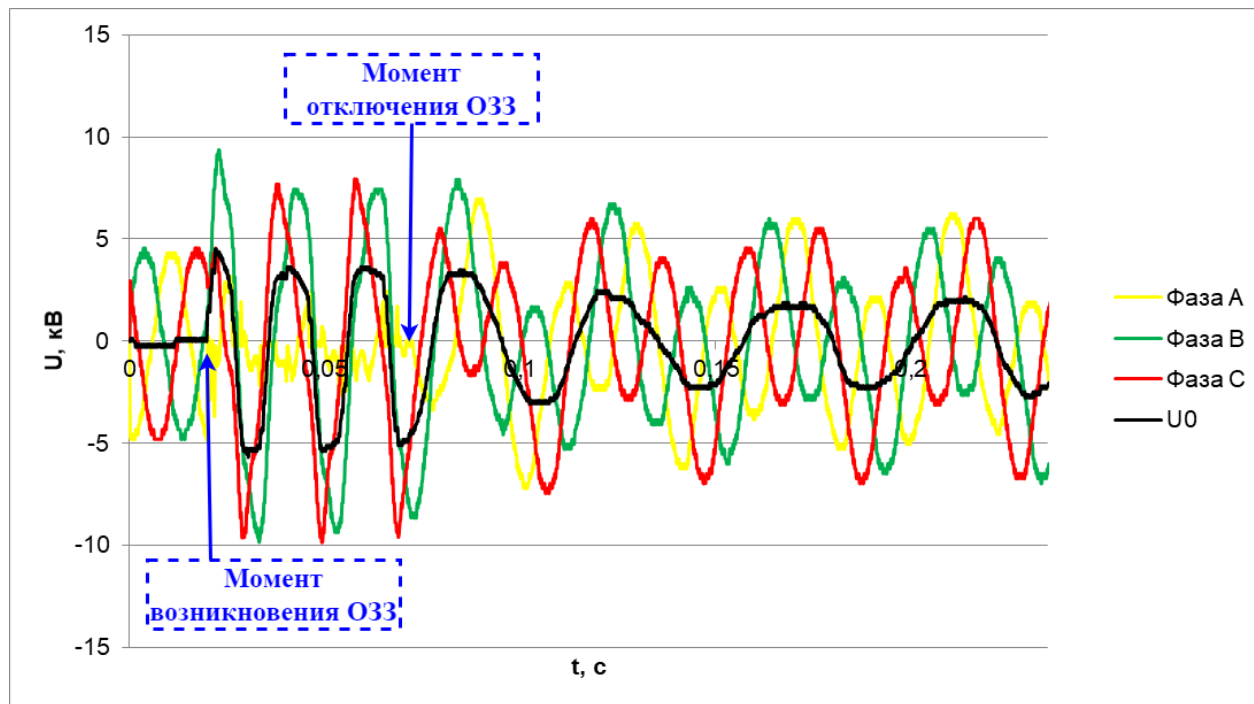
Испытание

Для испытания устройства возбуждался феррорезонанс при отключении ОЗЗ в схеме с ТН типа НТМИ-6

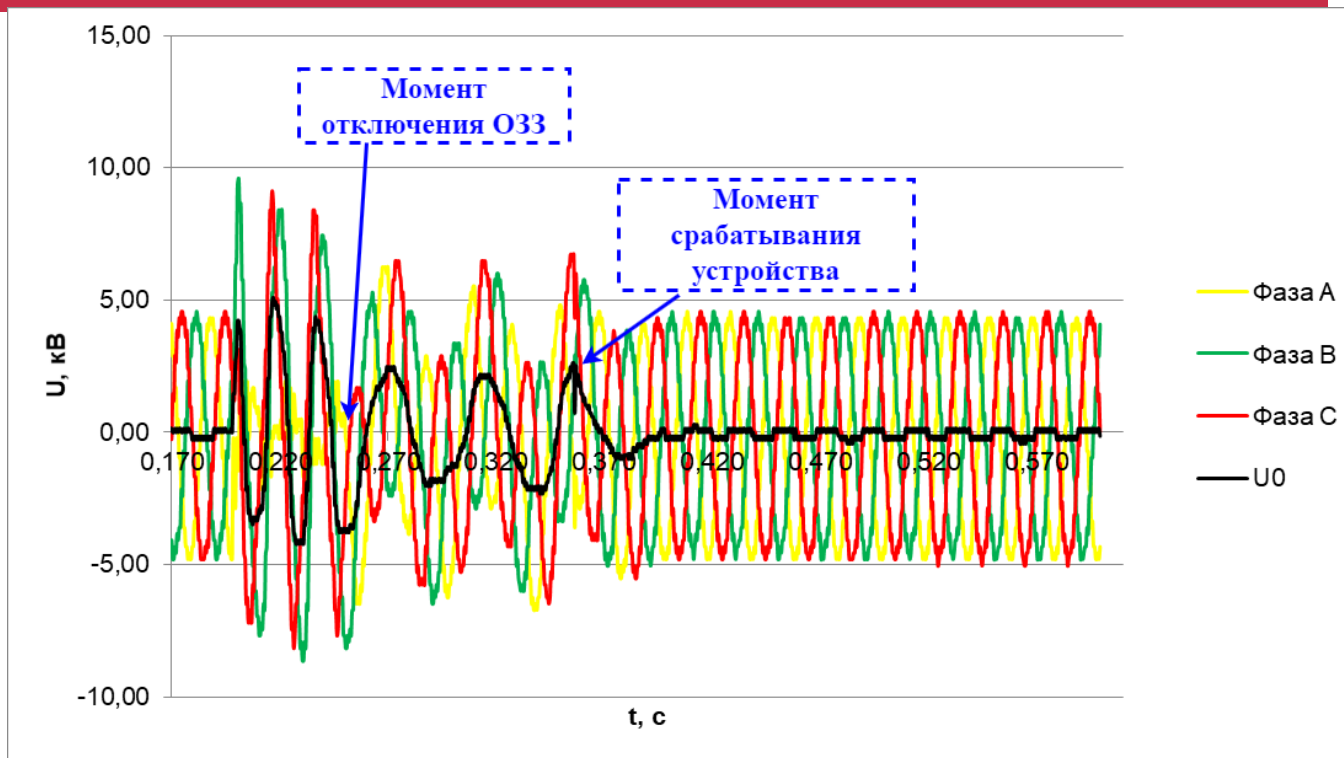
Записывались фазные напряжения (на основной вторичной обмотке) и напряжение $3U_0$



Опытная осциллограмма феррорезонанса в НТМИ-6



Обнаружение и подавление феррорезонанса устройством



Устройство не реагирует на режим ОЗЗ и начинает работать только когда начинается феррорезонанс (субгармоники)

Заключение

- Представленные на рынке антирезонансные устройства – **аналоговые**, термин smart load к ним применим с большой натяжкой
- Не позволяют полностью предотвратить феррорезонанс
- Устройства на базе МК позволяют использовать более эффективные алгоритмы обнаружения феррорезонанса