

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Общество с ограниченной ответственностью «ТрансСенсор»

УДК 621.436

№ госрегистрации 115092507241

УТВЕРЖДАЮ  
Генеральный директор  
ООО «ТрансСенсор»  
\_\_\_\_\_ А.Н. Печенкин  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2016г.

ОТЧЕТ

О ПРИКЛАДНЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Разработка систем управления, адаптация датчиков и исполнительных механизмов топлив-  
ной аппаратуры с перспективными техническими показателями

по теме:

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОБРАЗЦА ПЕР-  
СПЕКТИВНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПРИВОДА ФОРСУНКИ В СОСТАВЕ РАЗ-  
РАБОТАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРОЙ НОВОГО  
ПОКОЛЕНИЯ НА БЕЗМОТОРНОМ СТЕНДЕ; РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СОВЕРШЕНСТВОВА-  
НИЮ КОНСТРУКЦИИ ПЕРСПЕКТИВНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПРИВОДА  
ФОРСУНКИ ДЛЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРОЙ НОВОГО  
ПОКОЛЕНИЯ ДЛЯ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

(промежуточный)

3 этап

ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям  
развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы»  
Соглашение о предоставлении субсидии от 27.07.2015 г. №14.579.21.0095

Научный руководитель работ,  
доцент, к.т.н.

\_\_\_\_\_

А.А. Кудрявцев

(подпись, дата)

Москва 2016

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Научный руководитель работ, канд. техн. наук \_\_\_\_\_  
подпись А.А. Кудрявцев  
(введение, раздел 2)

Исполнители:

заместитель генерального директора, канд. техн. наук \_\_\_\_\_  
подпись А.М. Байтулаев  
(заключение, раздел 2)

начальник научно-исследовательского отдела, д.т.н. \_\_\_\_\_  
подпись А.Г. Кузнецов  
(разделы 1,2)

старший научный сотрудник, д.т.н. \_\_\_\_\_  
подпись В.А. Марков  
(раздел 1)

научный сотрудник, канд. техн. наук. \_\_\_\_\_  
подпись А.С. Голосов  
(раздел 2)

ведущий инженер \_\_\_\_\_  
подпись С.В. Харитонов  
(раздел 1,2)

ведущий инженер \_\_\_\_\_  
подпись Д.С. Ворнычев  
(раздел 1,2)

инженер \_\_\_\_\_  
подпись Е.А. Вьюшин  
(раздел 1)

Нормоконтролер \_\_\_\_\_  
подпись А.Н. Башмаков

## Реферат

Отчёт содержит 47 страниц, 1 часть, 46 рисунков.

### ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ПРИВОД, ИСПЫТАНИЯ, СТЕНД, ПРОГРАММА И МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ, РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ.

Объектом исследования является перспективный электромагнитный привод клапанов форсунок топливной аппаратуры аккумуляторного типа для дизельных двигателей.

Целью проекта является достижение импортозамещения в производстве систем управления, обеспечивающих выполнение требований, установленных к техническому уровню дизельной топливной аппаратуры нового поколения.

В процессе работы проводились испытания разработанных экспериментальных образцов электромагнитного привода на безмоторном стенде совместно с системой управления и топливной аппаратурой дизельных двигателей.

В результате работы подтверждена работоспособность электромагнитного привода, получены основные характеристики привода по обеспечению отработки управляющих импульсов, поступающих с электронного блока системы управления.

Основные конструктивные и технико-эксплуатационные показатели: обеспечение отработки заданных системой управления параметров управляющего импульса (форсирующей и удерживающих фаз сигнала, продолжительности сигнала, угла опережения впрыска топлива, дополнительных импульсов) с необходимой точностью.

Степень внедрения – экспериментальные образцы электромагнитного привода прошли испытания совместно с системой управления и топливной аппаратурой дизельных двигателей на безмоторном стенде.

Планируются испытания образцов электромагнитного привода на моторном стенде и их внедрение в составе форсунок дизельной топливной аппаратуры в производство.

Разработанный электромагнитный привод клапанов форсунок предназначена для использования на дизельных двигателях в составе топливной аппаратуры аккумуляторного типа.

Использование разработанного электромагнитного привода в составе топливной аппаратуры совместно с системой управления направлено на обеспечение предъявляемых к дизельным двигателям требований по экономическим и экологическим показателям.

## СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
Введение .....	6
1 Анализ результатов испытаний экспериментального образца перспективного электромагнитного привода форсунки в составе разработанной системы управления топливной аппаратурой нового поколения на безмоторном стенде .....	8
Выводы к разделу 1 .....	40
2 Рекомендации по совершенствованию конструкции перспективного электромагнитного привода форсунки для системы управления топливной аппаратурой нового поколения для дизельного двигателя.....	42
Выводы к разделу 2 .....	46
Заключение.....	47

## Введение

Исследования проводились обществом с ограниченной ответственностью «ТрансСенсор» в рамках выполнения третьего этапа работ по соглашению о предоставлении субсидии № 14.579.21.0095 от 27.07.2015 г. на выполнение прикладных научных исследований «Разработка систем управления, адаптация датчиков и исполнительных механизмов топливной аппаратуры с перспективными техническими показателями» в установленные календарным планом сроки: с 1 июля 2016 г. по 31 декабря 2016 г. Уникальный идентификатор ПНИ RFMEFI57915X0095.

Эффективность работы системы управления и топливоподающей аппаратуры аккумуляторного типа современных дизельных двигателей, во-многом, определяется функционированием электромагнитного привода клапанов форсунок. В связи с тем, что в нашей стране создание топливной аппаратуры аккумуляторного типа только началось, в рамках данного исследования на предыдущем этапе ПНИ разработаны и изготовлены экспериментальные образцы такого электромагнитного привода.

Разработка электромагнитного привода проведена, исходя из заложенных параметров по габаритам, усилиям и быстродействию привода, которые должны обеспечить характеристики топливоподающей аппаратуры, необходимые для достижения предъявляемых к современным дизельным двигателям требований по показателям экологии и экономичности.

Целью исследований на данном этапе ПНИ являлись испытания экспериментальных образцов электромагнитного привода, установленных в форсунки топливной аппаратуры дизельных двигателей, на безмоторном стенде с подключением образцов привода к электронному блоку системы управления.

Испытательный стенд обеспечивал функционирование топливоподающей аппаратуры и оснащён измерительными устройствами для замеров основных параметров электромагнитного привода.

Задачи данного этапа ПНИ состояли в проверке работоспособности экспериментальных образцов электромагнитного привода, получении его основных характеристик и подтверждении обеспечения приводом требуемой формы и параметров процесса впрыска топлива.

# 1 Анализ результатов испытаний экспериментального образца перспективного электромагнитного привода форсунки в составе разработанной системы управления топливной аппаратурой нового поколения на безмоторном стенде

На приспособлении для испытаний электромагнитного привода проведено исследование перемещения якоря привода с клапаном форсунки. Приспособление описано в отчёте по первому этапу ПНИ, а испытательный стенд на базе данного приспособления описан в программе и методиках испытаний (2 этап). Для измерения перемещения якоря на стенде был установлен датчик перемещения типа EU05 (92) . Выходной сигнал датчика через измерительный комплекс NLS 3181 передавался на персональный компьютер испытательного стенда. Осциллограмма перемещения якоря электромагнитного клапана форсунки приведена на рисунке 1. Как видно из рисунка, время перемещения якоря при открытии клапана составляет интервал времени порядка 0,43 мс, время перемещения якоря при закрытии клапана составляет интервал времени порядка 0,23 мс.

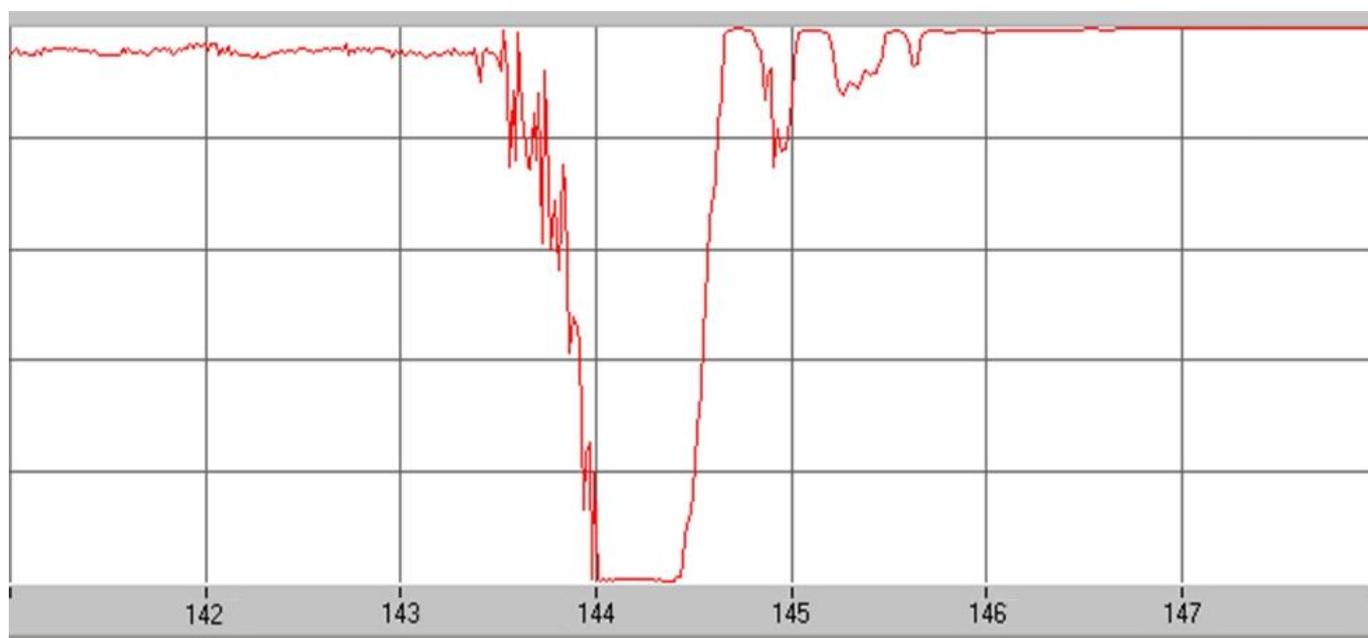


Рисунок 1 – Перемещение якоря электромагнитного привода с клапаном

Испытания электромагнитного привода клапанов форсунок топливной системы дизельных двигателей проводились на специальном безмоторном стенде, в состав которого входили: образцы электромагнитных приводов, система управления двигателем, топливная аппаратура дизельных двигателей типа Common Rail, электродвигатель для привода топливного насоса высокого давления, измерительная аппаратура.

Система управления включала электронный блок, датчики, соединительные жгуты, источник питания. Для задания режимов работы системы управления использовался персональный компьютер, соединённый с электронным блоком через специальный модуль связи. В память компьютера загружалась специально разработанное программное обеспечение, предназначенное для программирования и отладки системы управления. Задание режимов работы системы управления осуществлялось с персонального компьютера и специального пульта управления, имитирующего орган управления двигателем.

В состав топливной системы дизельного двигателя входили: топливный насос высокого давления, шесть форсунок, трубопроводы. Электромагнитные приводы клапанов были установлены в форсунки. Вал топливного насоса высокого давления приводился во вращение электродвигателем, частота вращения вала которого задавалась с пульта управления стенда. Для имитации распределительного вала двигателя на испытательном стенде установлен дополнительный вал, который приводится во вращение от вала стенда таким образом, что частота вращения дополнительного вала в два раза меньше частоты вращения вала стенда.

На валах стенда установлены зубчатые диски индукционных датчиков частот вращения коленчатого и распределительного валов двигателя. Измерение массовых цикловых подач форсунок проводилось весовым методом путём взвешивания количества топлива, впрыснутого в измерительные колбы за заданное системой управления количество циклов. Для фиксации временных диаграмм электрических сигналов использовался цифровой осциллограф типа Tektronix TDC-2024C.

В начале испытаний была проведена проверка функционирования электромагнитных приводов в тестовом режиме. С компьютера на электронный блок пода-

вались импульсы напряжения заданной формы и частоты. Общий вид управляющих импульсов по напряжению и току представлен на рисунке 2: синим цветом показан импульс по напряжению, красным цветом – по току. Импульс по напряжению содержит две фазы: начальную фазу форсировки 1 и последующую фазу удержания 2. Фаза форсировки 1 используется для обеспечения быстрого срабатывания клапана в начале движения. Фаза удержания 2 обеспечивает удержание клапана на упоре электромагнита. Для интенсификации протекания фаз форсировки и удержания используются кратковременные импульсы 3,4,5. Импульс 3 формируется в начале фазы форсировки для быстрого достижения тока форсировки максимального значения. Импульс 4 обеспечивает резкий переход с фазы форсировки на фазу удержания с целью экономии энергии, идущей на управление электромагнитным приводом. Импульс 5 используется для размагничивания магнитопровода электромагнитного привода с целью обеспечения резкого закрытия клапана после окончания впрыска.

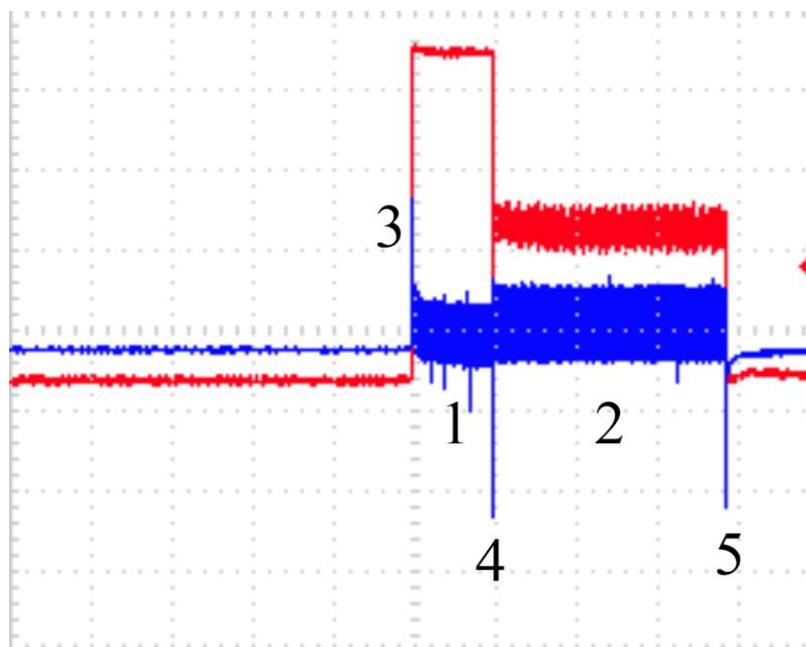


Рисунок 2 – Управляющий импульс

Форма управляющего импульса, подаваемого с электронного блока, совпадала с формой импульса, снимаемого с катушки электромагнита привода и фиксируемого на экране осциллографа. Срабатывание привода подтверждено звуковыми сигналами, которые возникают при посадке якоря на упор клапана.

Далее была проведена проверка отработки электромагнитным приводом заданной продолжительности управляющего импульса, формируемого электронным блоком. Задавались управляющие импульсы различной продолжительности, при этом на экране компьютера фиксировались токовые импульсы, формируемые блоком управления, а на экране осциллографа – импульсы по напряжению и току, возникающие в обмотке электромагнита привода клапанов форсунок. На рисунках 1 – 8 приведено сравнение осциллограмм задаваемого электронным блоком управляющего токового импульса (изображён фиолетовым цветом в верхней части рисунков) с реальными импульсами в обмотке электромагнитного привода: импульсом по току (изображён красным цветом в нижней части рисунков) и по напряжению (изображён синим цветом в нижней части рисунков). Осциллограммы на рисунке 3 соответствуют продолжительности 0,5 мс, на рисунке 4 – 1 мс, на рисунке 5 – 1,5 мс, на рисунке 6 – 2 мс, на рисунке 7 – 2,5 мс, на рисунке 8 – 3 мс, на рисунке 9 – 3,5 мс, на рисунке 10 – 4 мс. Сравнение управляющих импульсов, формируемых электронным блоком и реальных импульсов, возникающих в электромагнитном клапане, свидетельствует о точной отработке электромагнитным клапаном задаваемых управляющих импульсов.

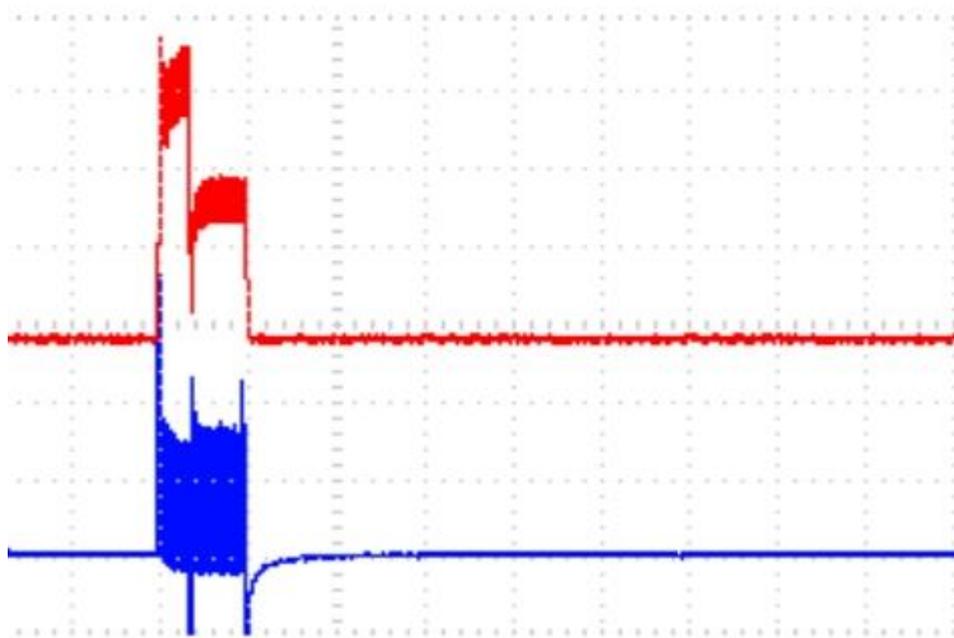
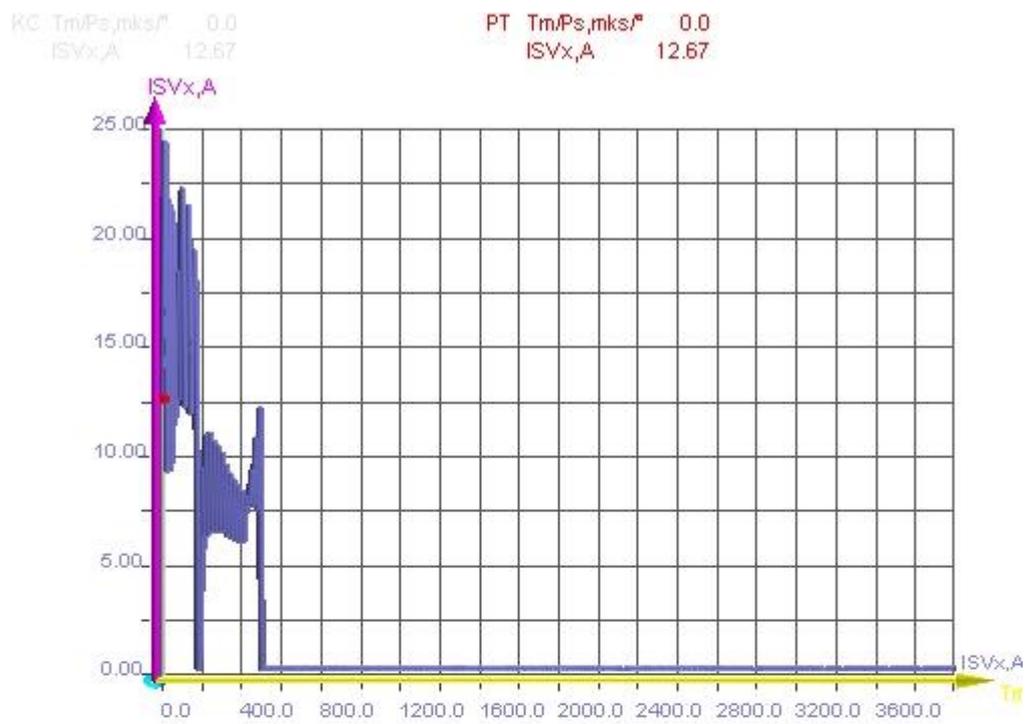


Рисунок 3 – Продолжительность управляющего сигнала 500 мкс

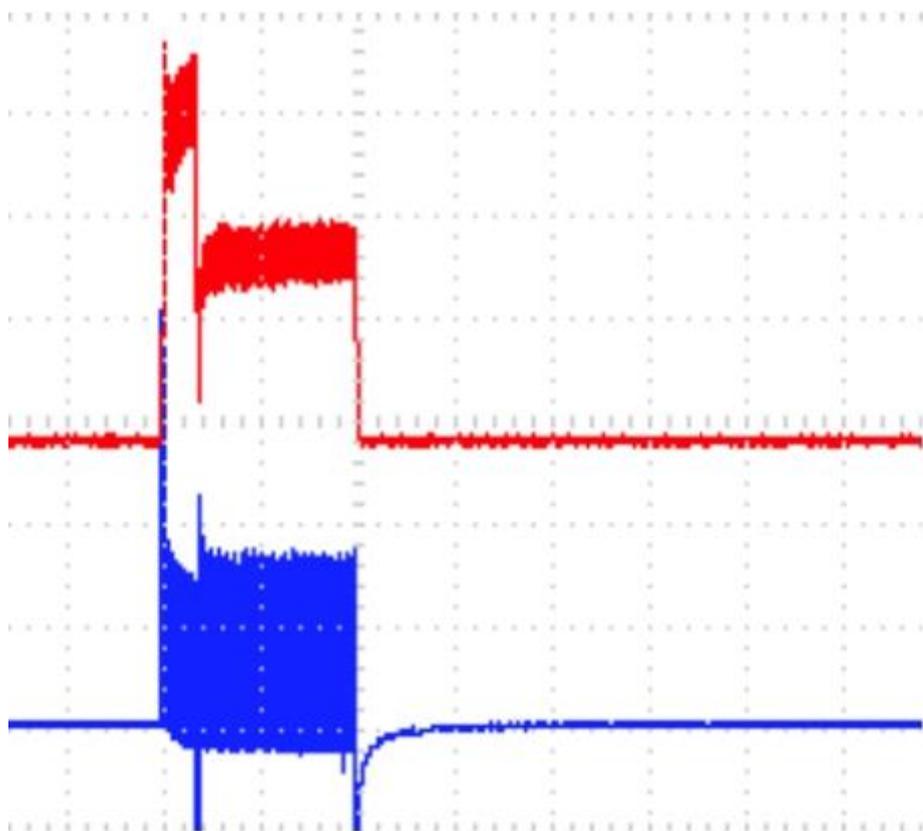
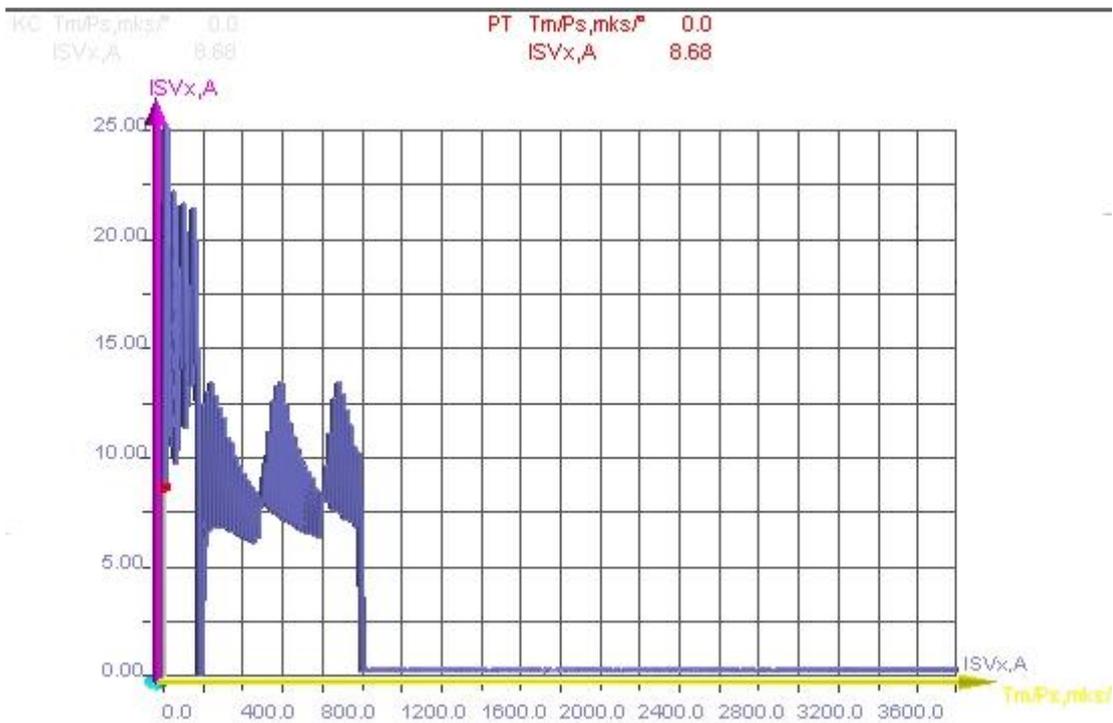


Рисунок 4 – Продолжительность управляющего сигнала 1000 мкс

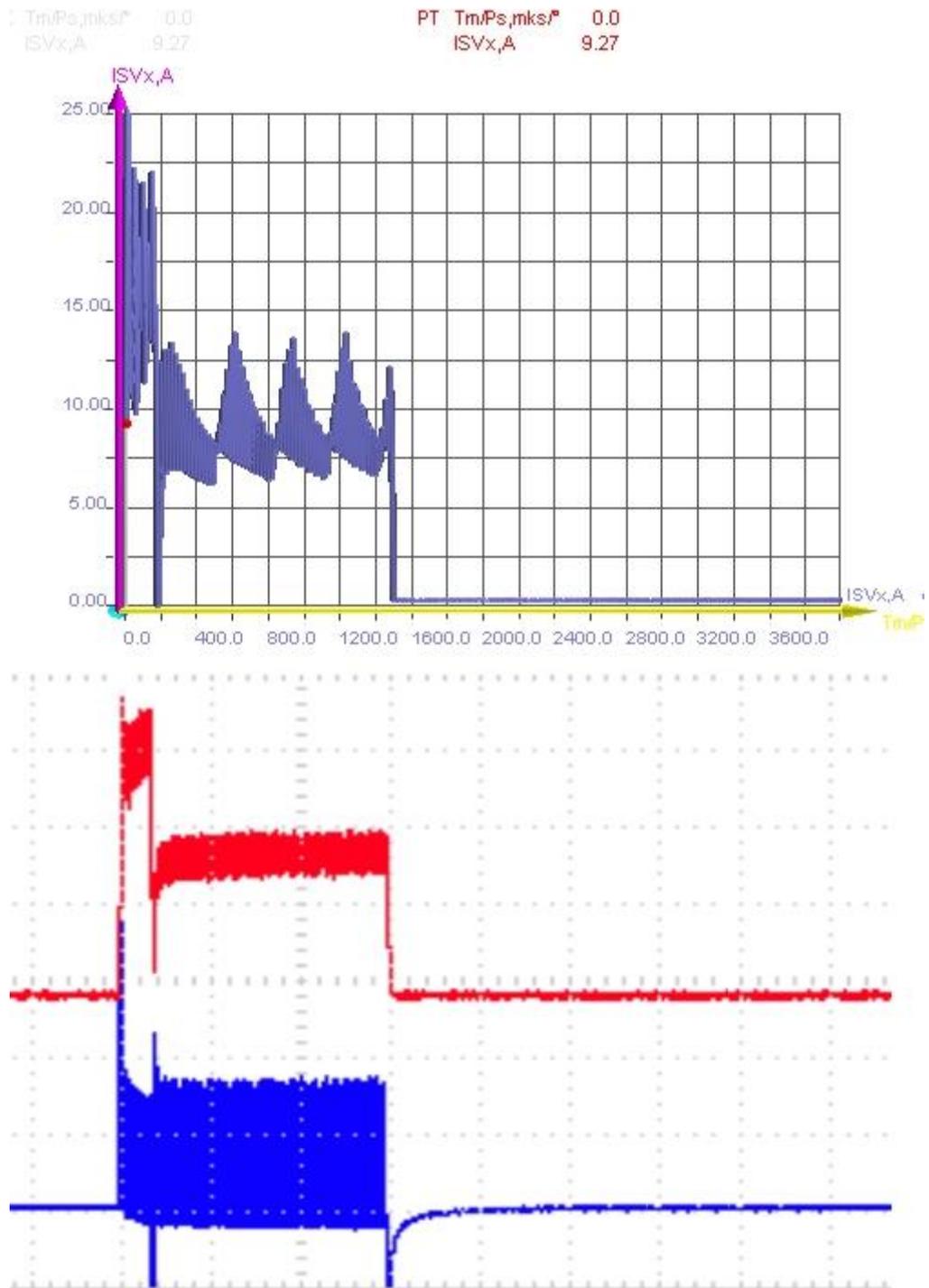


Рисунок 5 – Продолжительность управляющего сигнала 1500 мкс

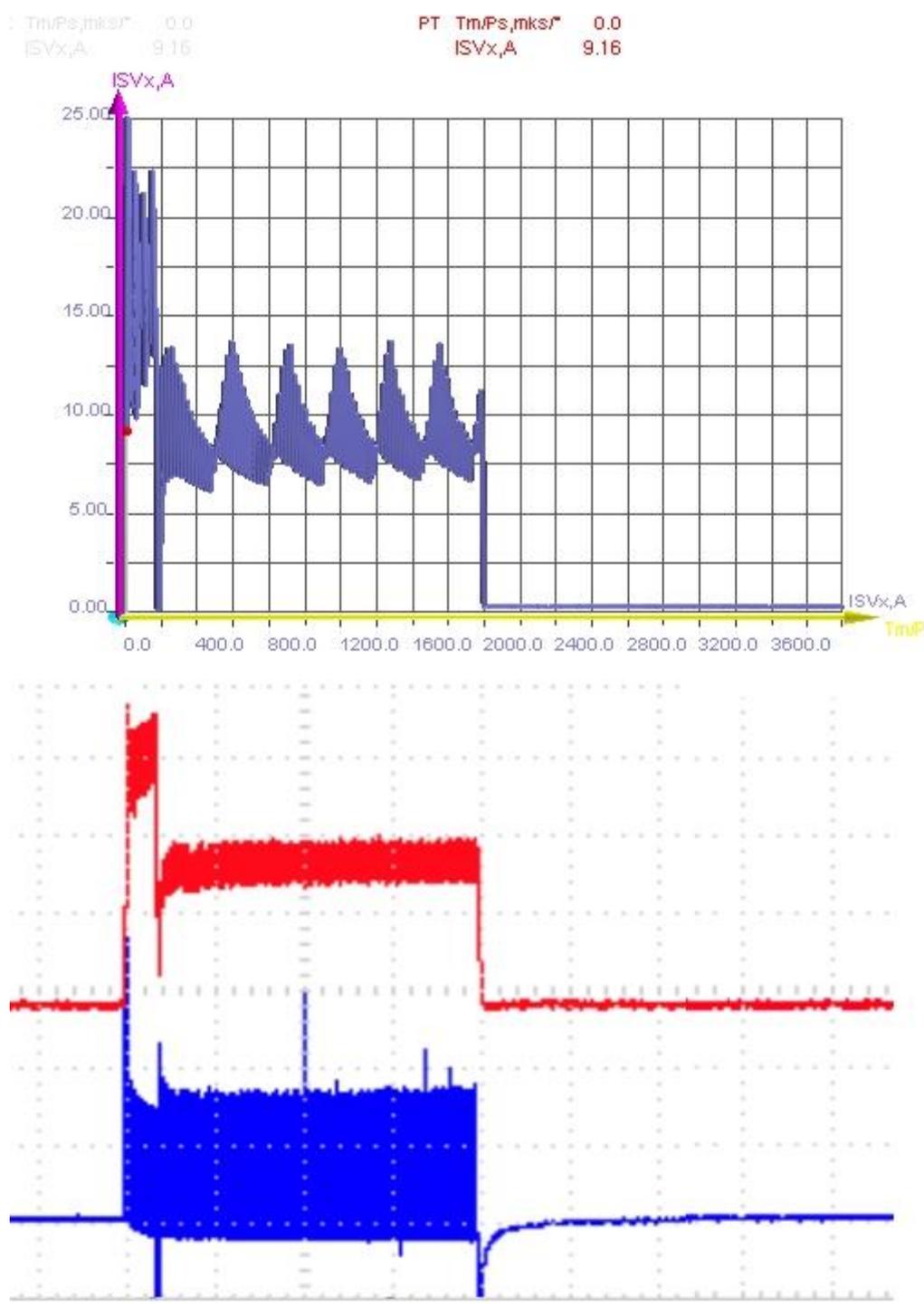


Рисунок 6 – Продолжительность управляющего сигнала 2000 мкс

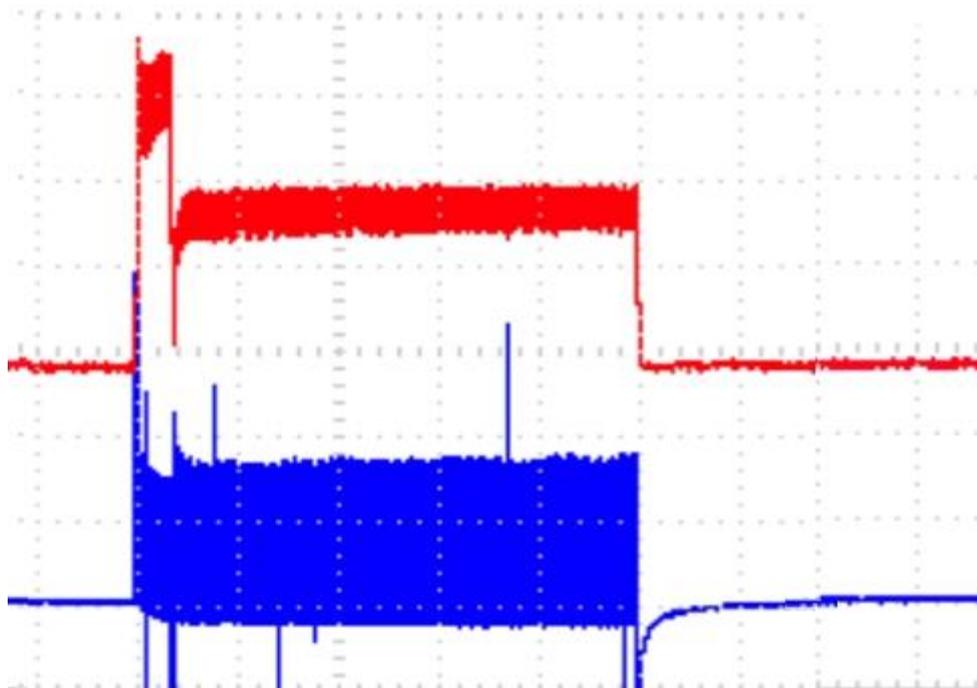
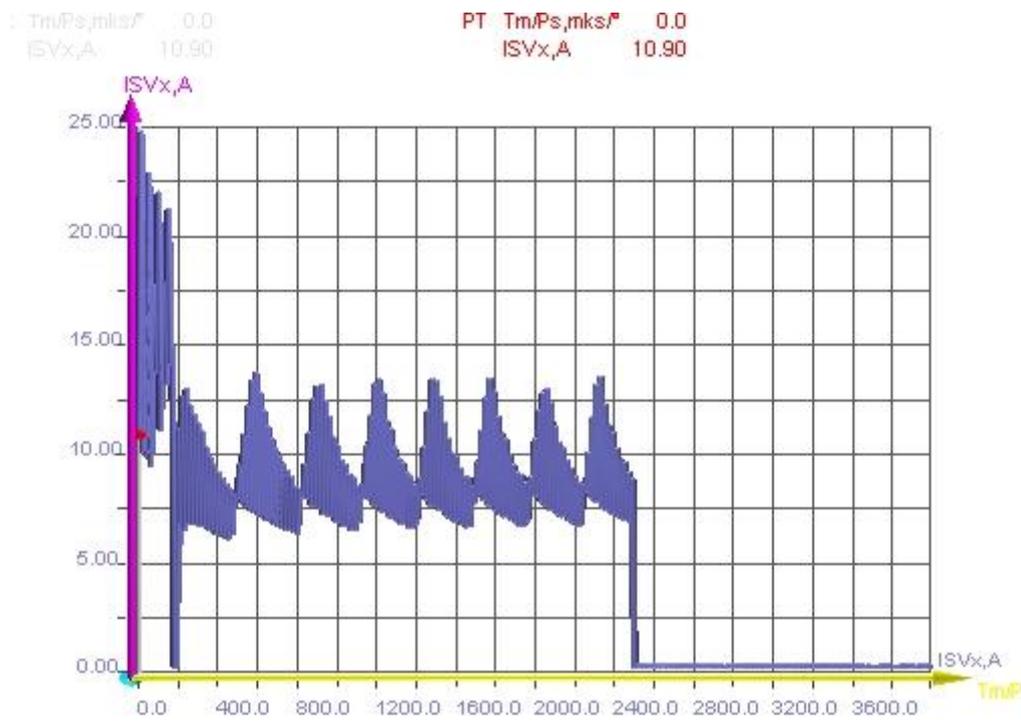


Рисунок 7 – Продолжительность управляющего сигнала 2500 мкс

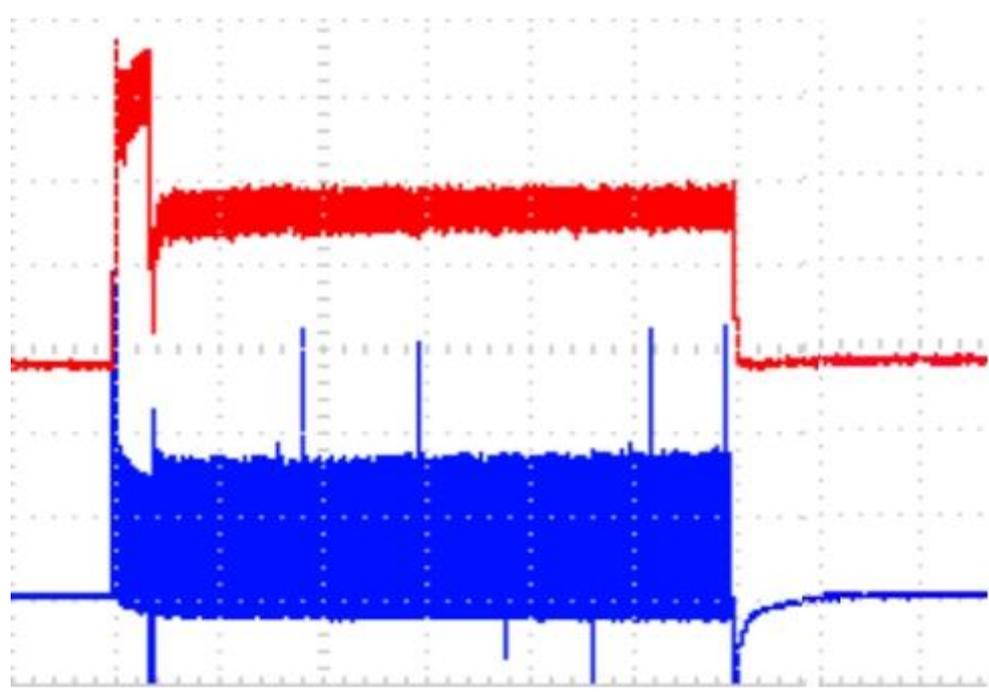
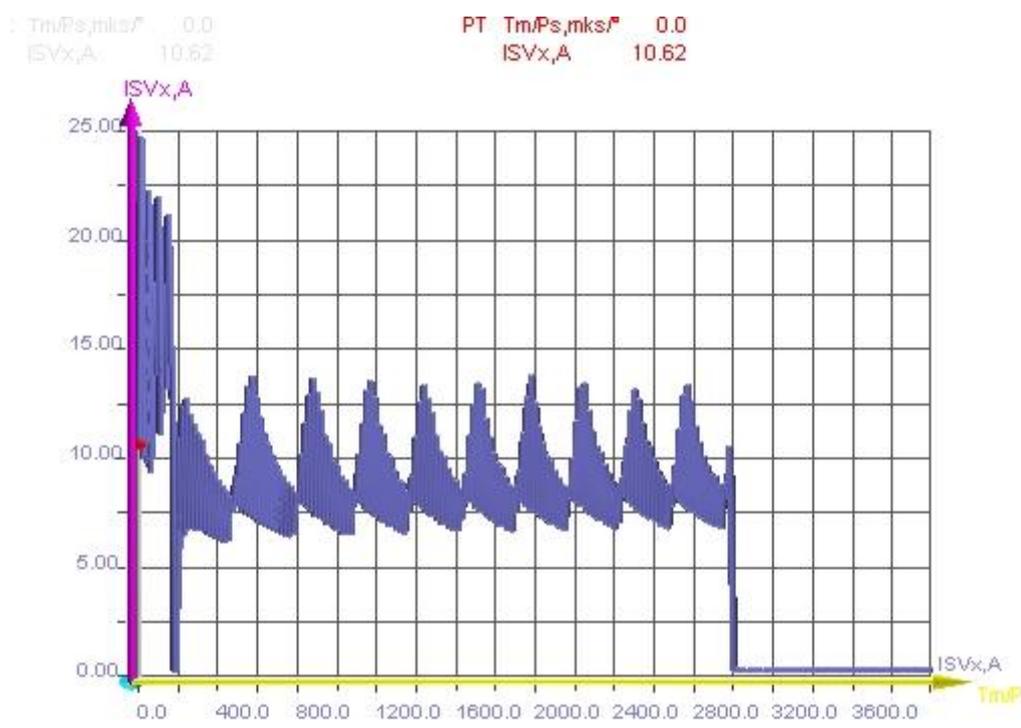


Рисунок 8 – Продолжительность управляющего сигнала 3000 мкс

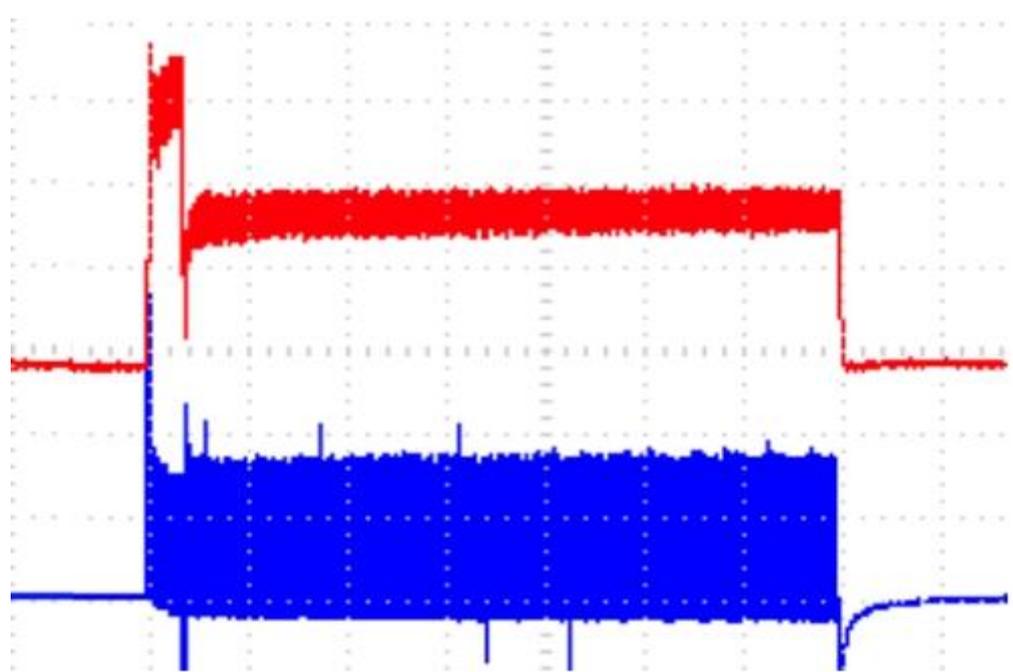
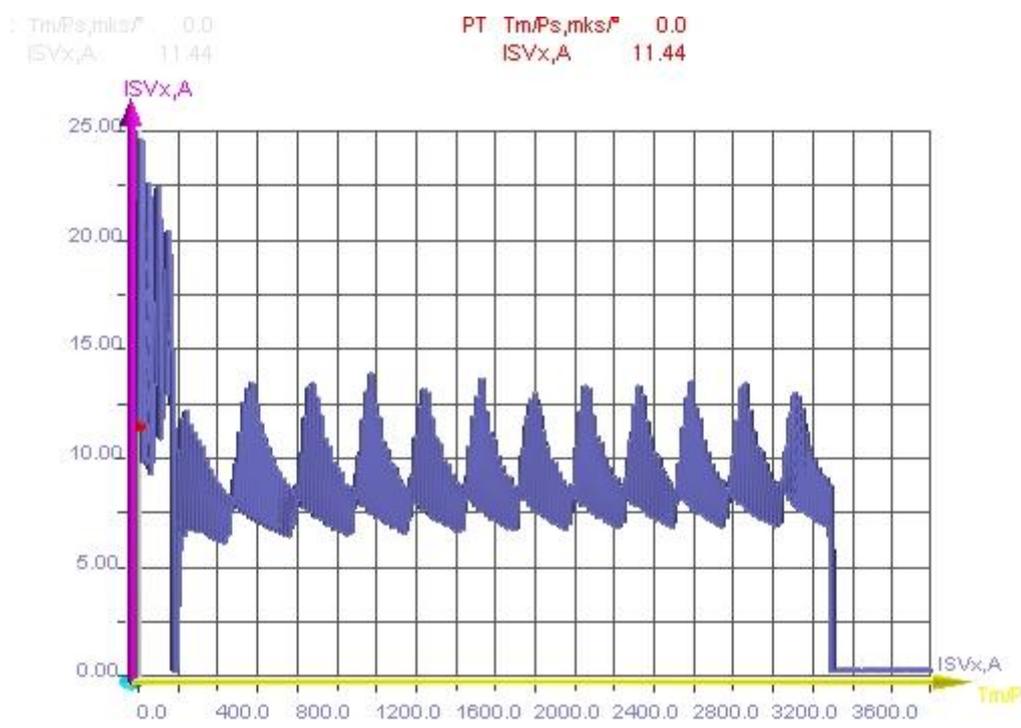


Рисунок 9 – Продолжительность управляющего сигнала 3500 мкс

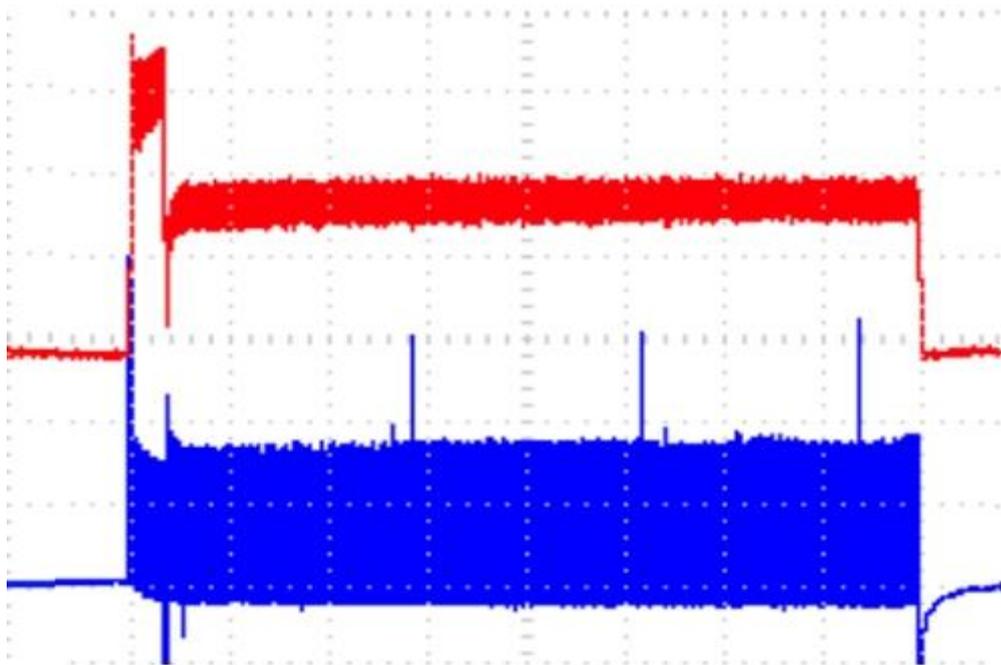
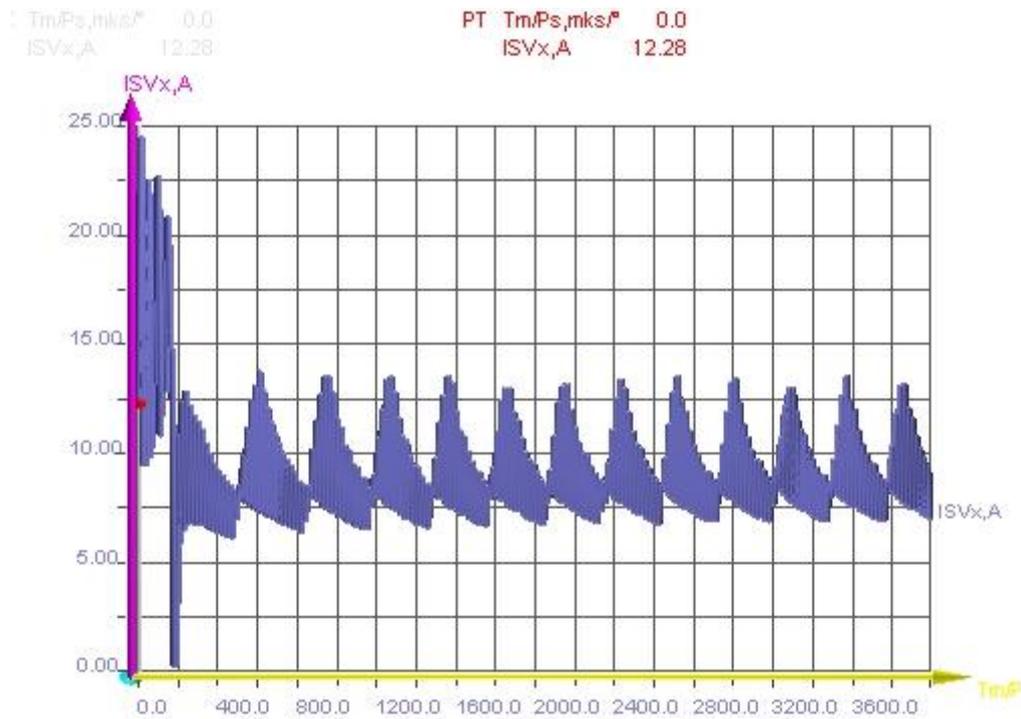


Рисунок 10 – Продолжительность управляющего сигнала 4000 мкс

Для организации точного впрыскивания топлива в цилиндры в соответствии с положением коленчатого и распределительного валов двигателя необходима синхронизация работы электронного блока с угловым положением распределительного вала, соответствующим верхней мёртвой точке (ВМТ) первого цилиндра. Для осу-

ществления синхронизации на экран осциллографа были выведены импульсы напряжения с индукционного датчика частоты вращения распределительного вала стенда и токовые импульсы впрыска топлива в форсунку первого цилиндра (рисунок 11). В результате программной коррекции начало импульса впрыска топлива было установлено по амплитудному значению импульса напряжения от дополнительного зуба на диске распределительного вала стенда (рисунок 12).

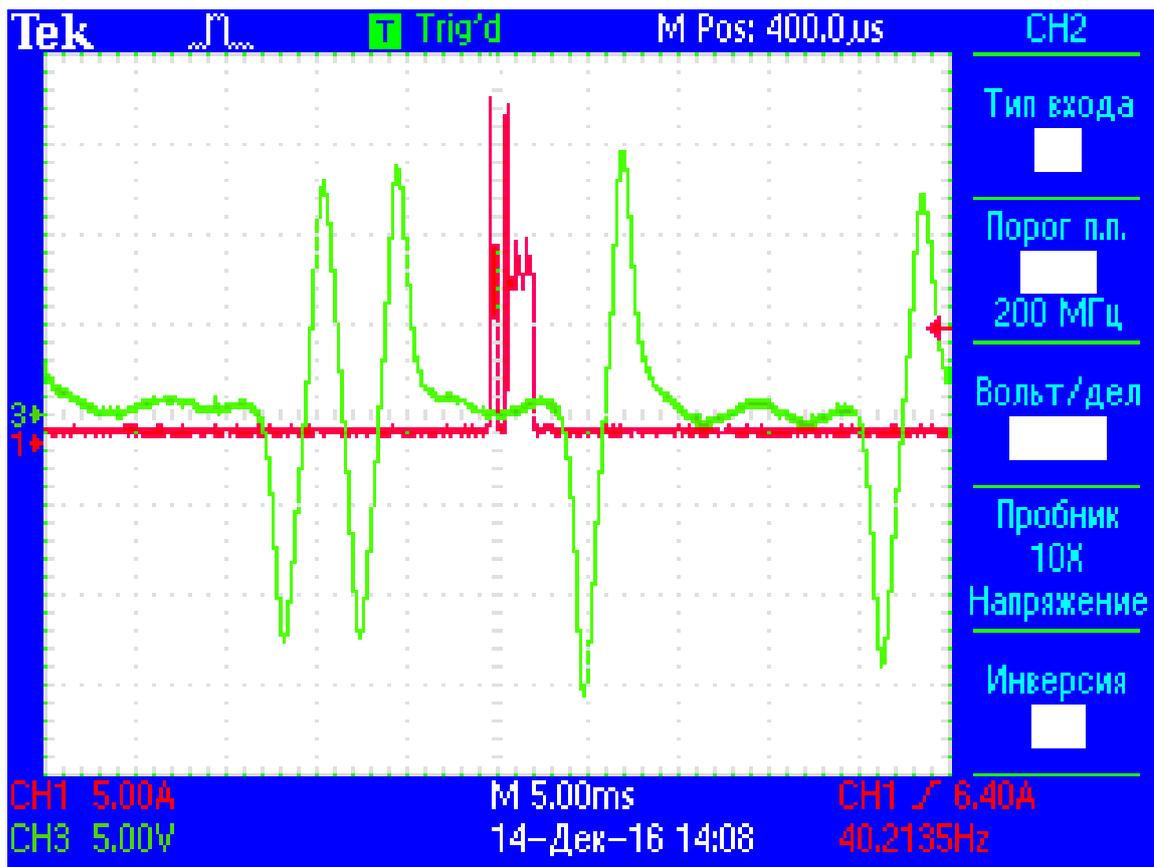


Рисунок 11 – Синхронизация по датчику положения распределительного вала

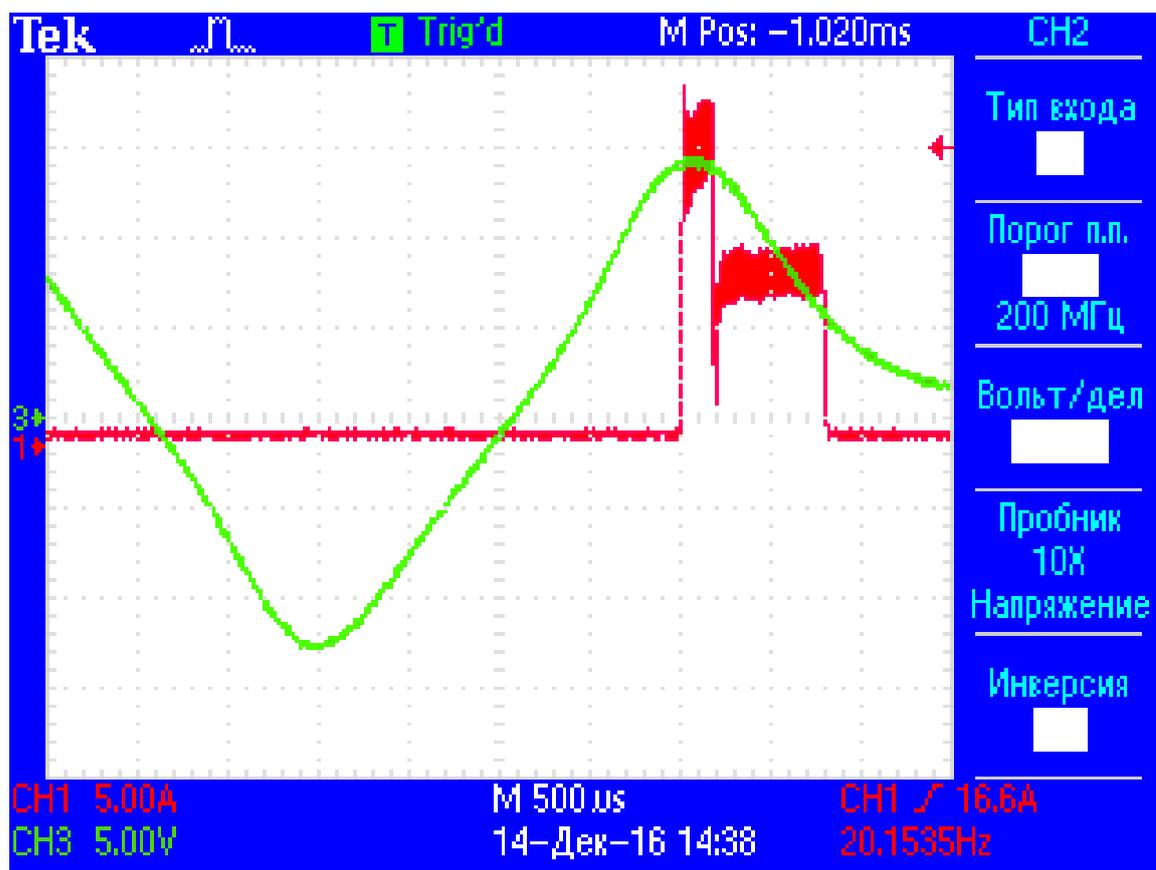


Рисунок 12 – Угол опережения впрыска топлива  $0^\circ$

На следующем этапе испытаний электромагнитного привода проводилась проверка отработки электромагнитным приводом заданных значений угла опережения впрыска топлива. На осциллограммах, приведённых на рисунках 12 – 29, показано взаимное положение импульса от дополнительного зуба диска распределительного вала стенда (ВМТ первого цилиндра двигателя) и токового импульса на форсунку первого цилиндра при следующих значениях угла опережения:  $0^\circ$ ,  $0.5^\circ$ ,  $1^\circ$ ,  $1.5^\circ$ ,  $2^\circ$ ,  $4^\circ$ ,  $5^\circ$ ,  $6^\circ$ ,  $8^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $12^\circ$ ,  $14^\circ$ ,  $16^\circ$ ,  $18^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $24^\circ$ ,  $28^\circ$ ,  $32^\circ$ . Анализ приведённых осциллограмм свидетельствует о точной отработке электромагнитным приводом заданных электронным блоком углов опережения впрыска.

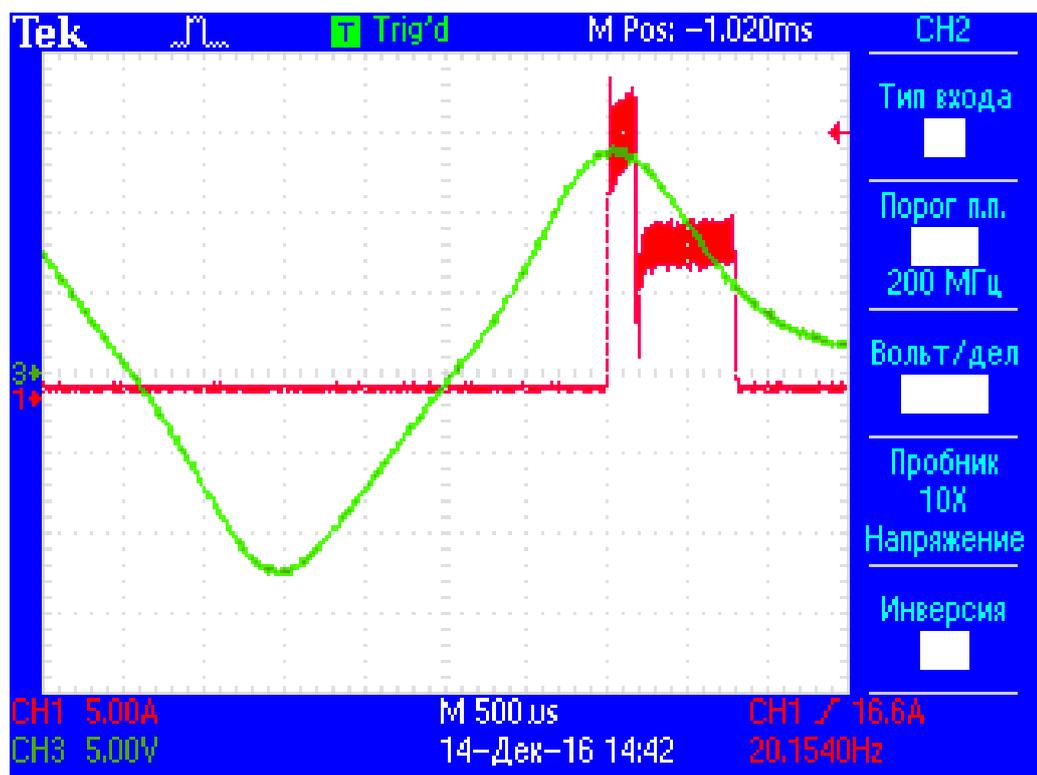


Рисунок 13 – Угол опережения  $0,5^\circ$

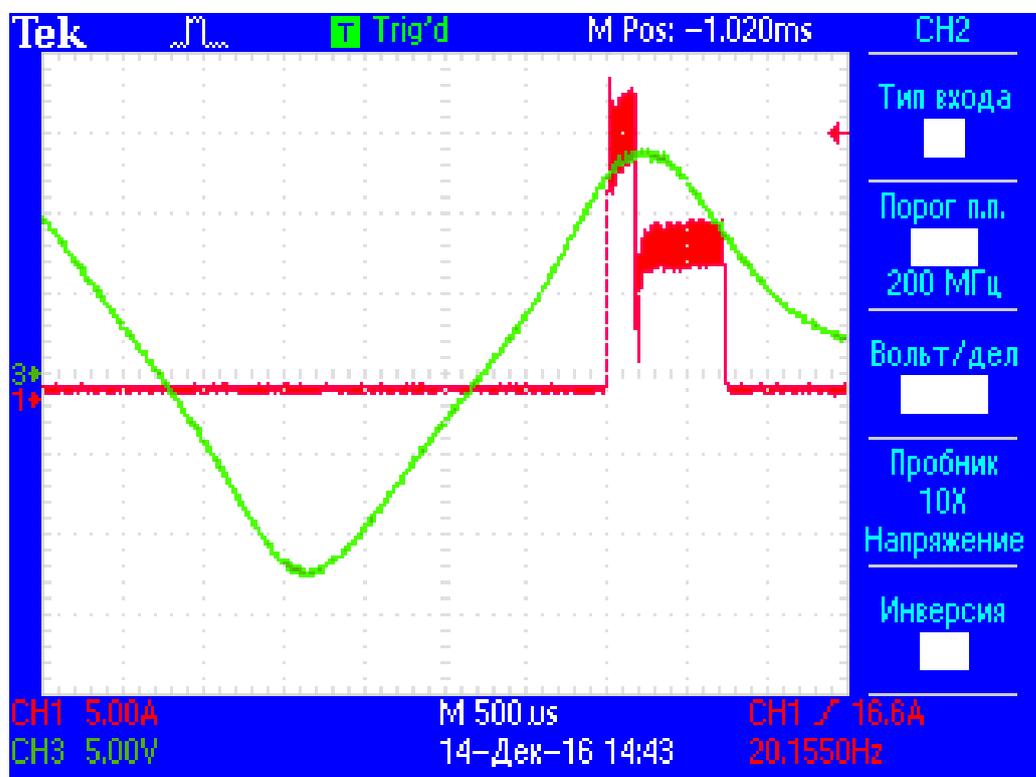


Рисунок 14 – Угол опережения  $1,0^\circ$

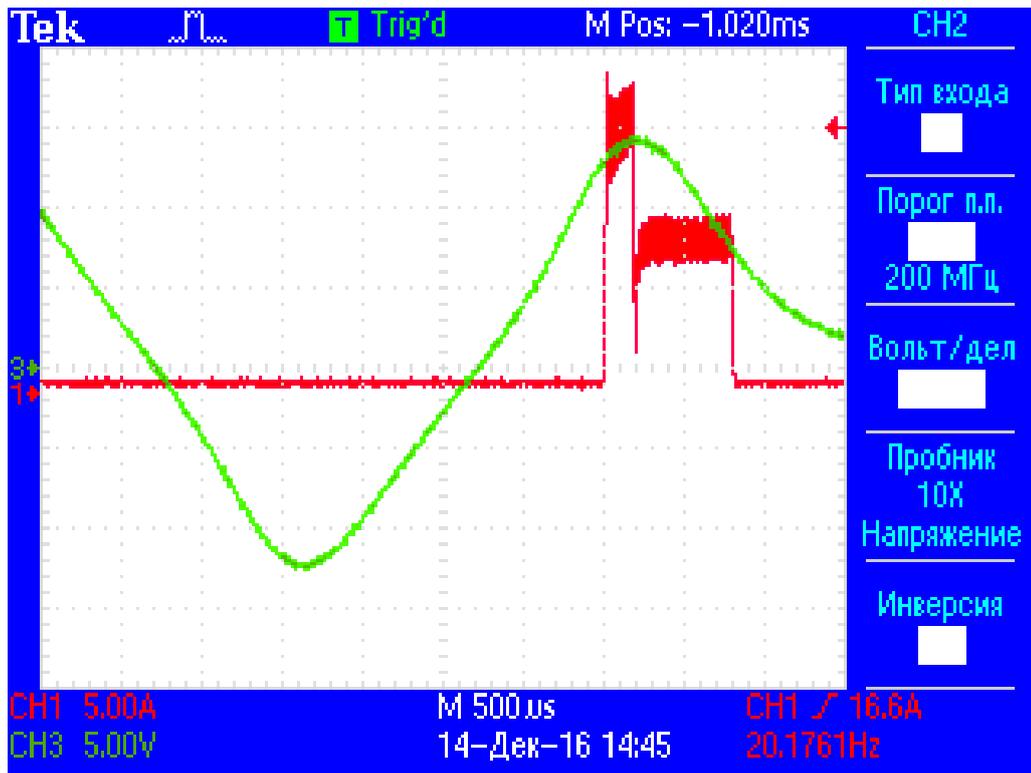


Рисунок 15 – Угол опережения  $1,5^\circ$

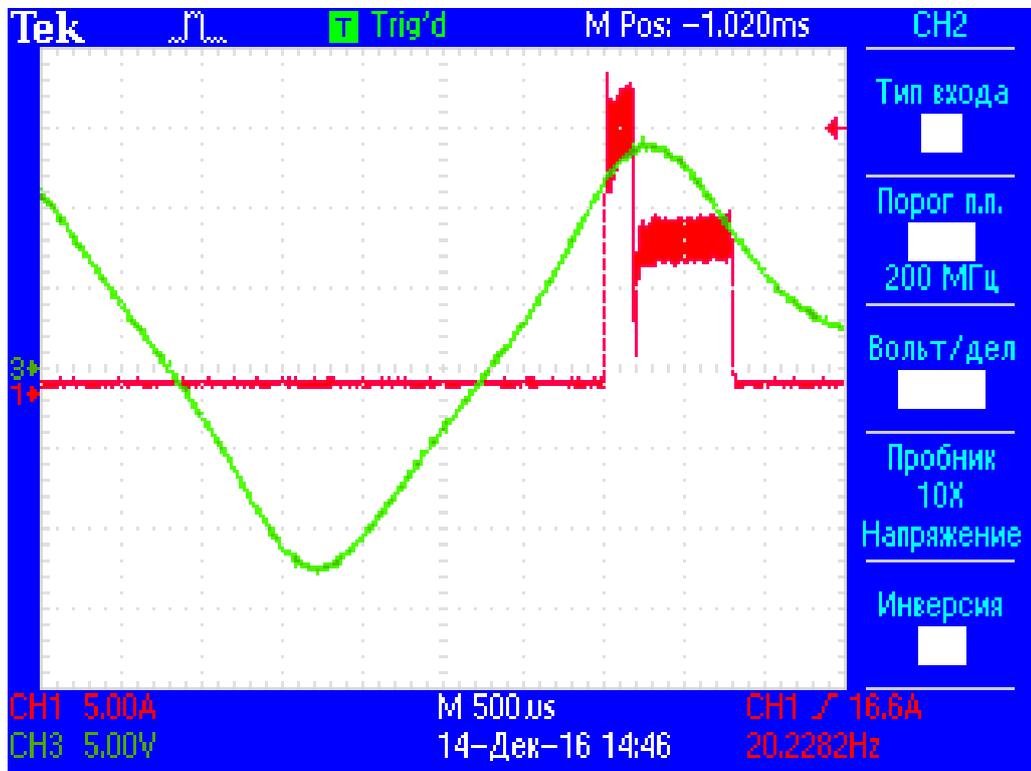


Рисунок 16 – Угол опережения  $2,0^\circ$

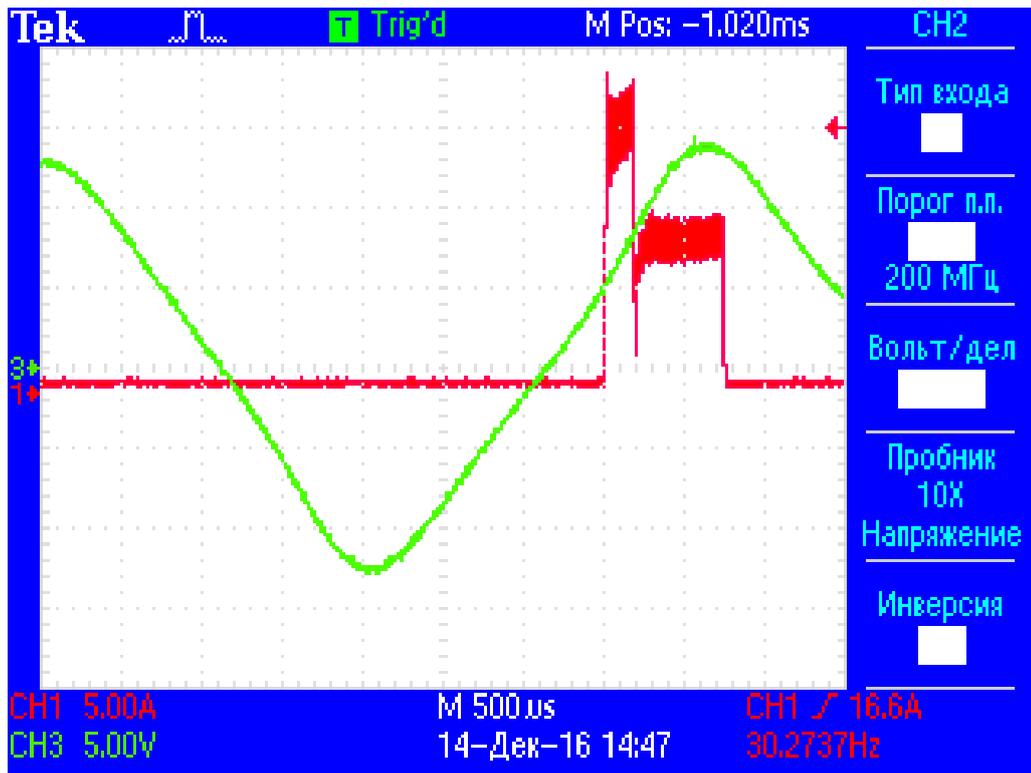


Рисунок 17 – Угол опережения  $4,0^\circ$

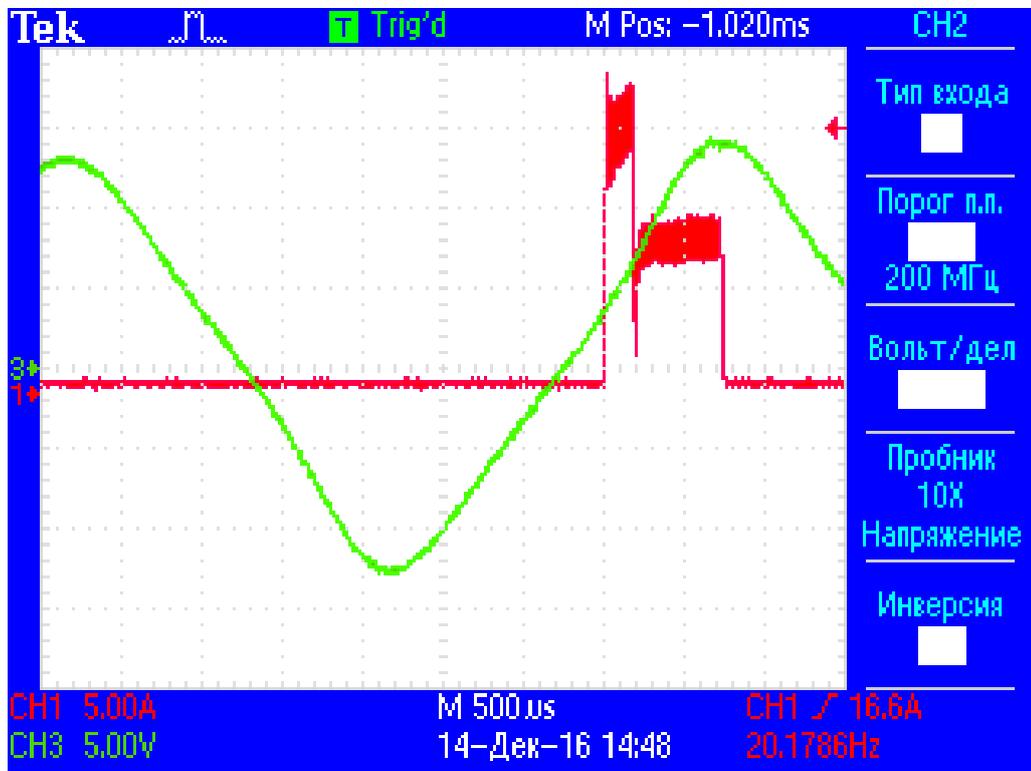


Рисунок 18 – Угол опережения  $5,0^\circ$

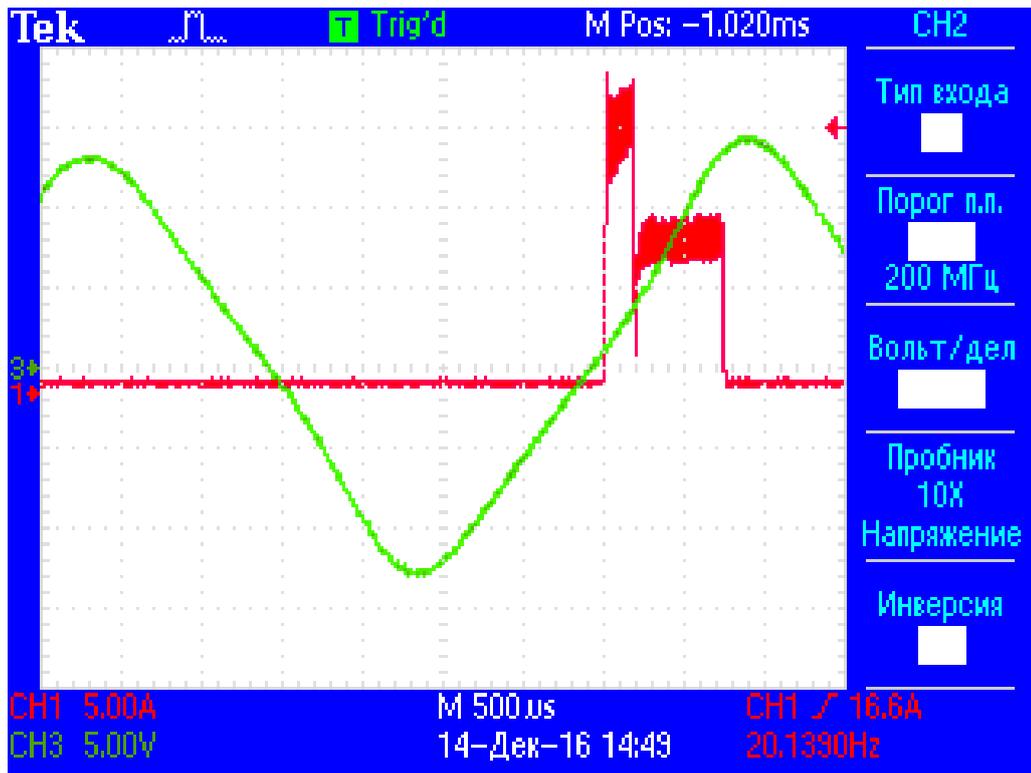


Рисунок 19 – Угол опережения  $6,0^\circ$

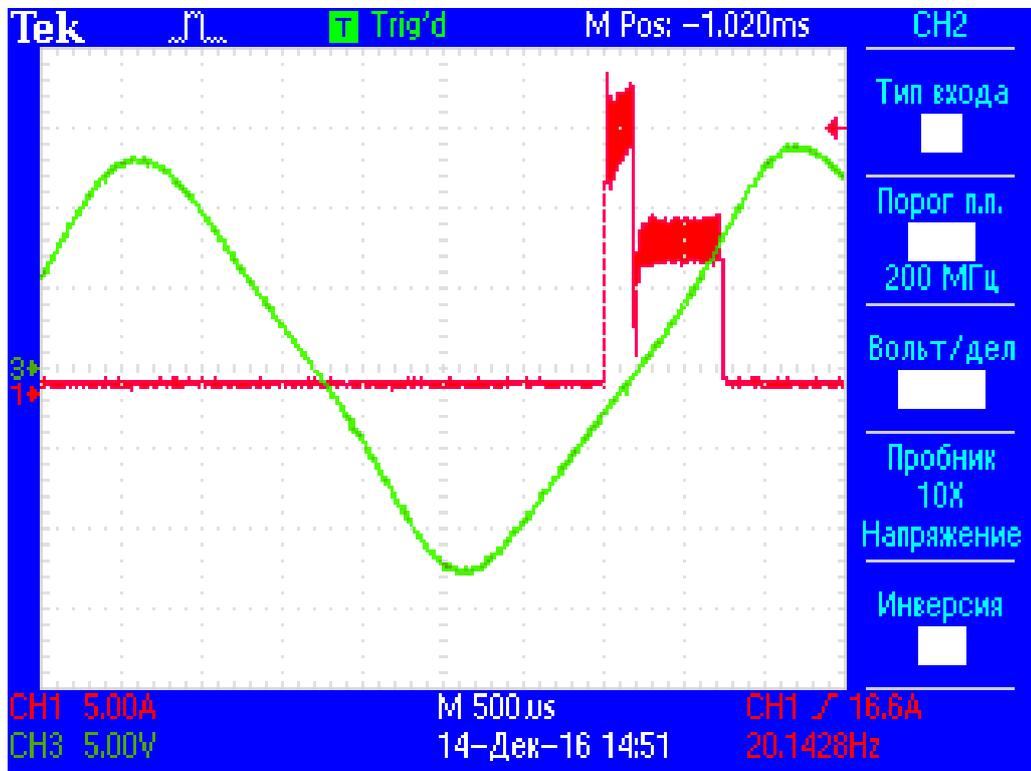


Рисунок 20 – Угол опережения  $8,0^\circ$

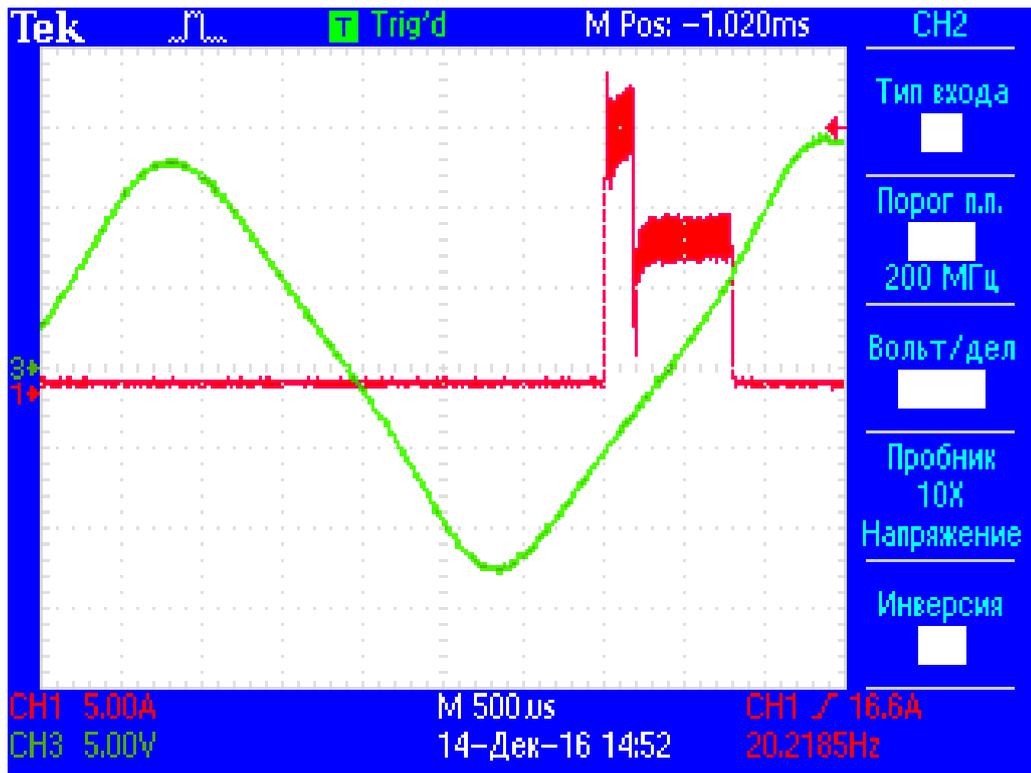


Рисунок 21 – Угол опережения  $10,0^\circ$

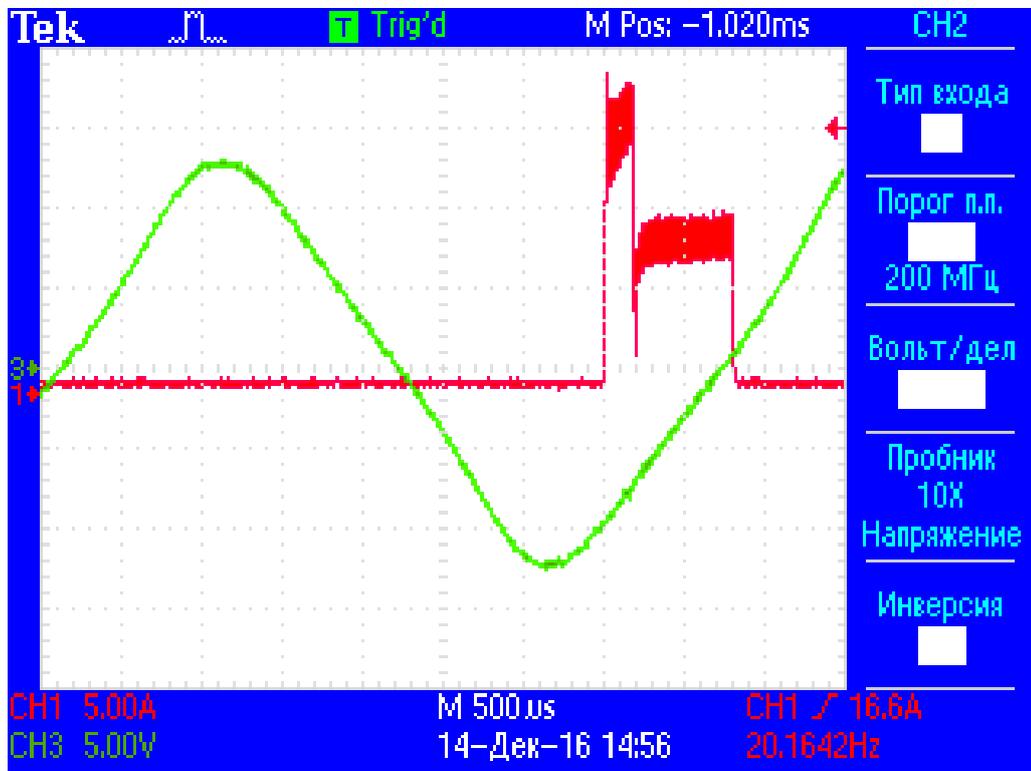


Рисунок 22 – Угол опережения  $12,0^\circ$

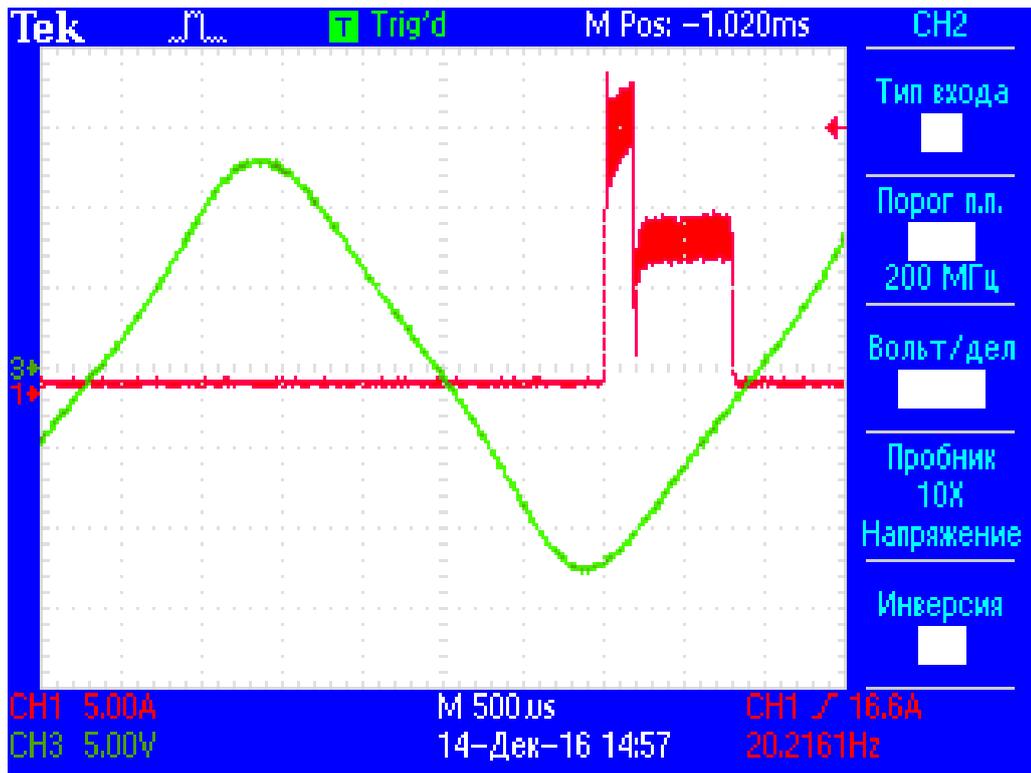


Рисунок 23 – Угол опережения  $14,0^\circ$

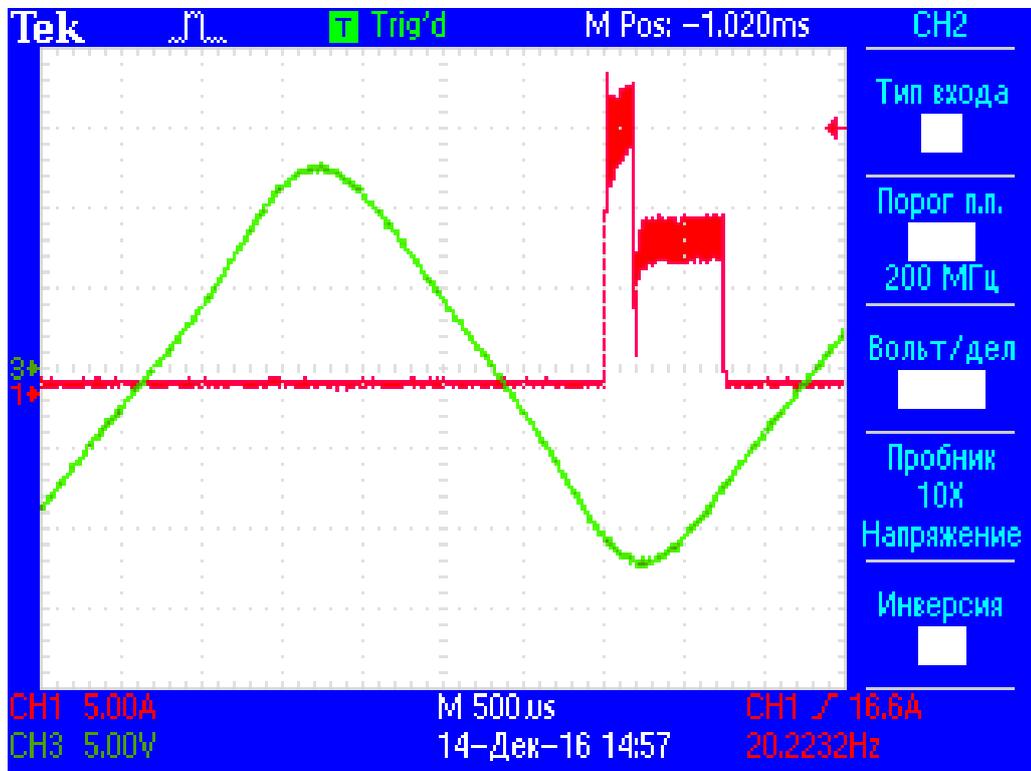


Рисунок 24 – Угол опережения  $16,0^\circ$

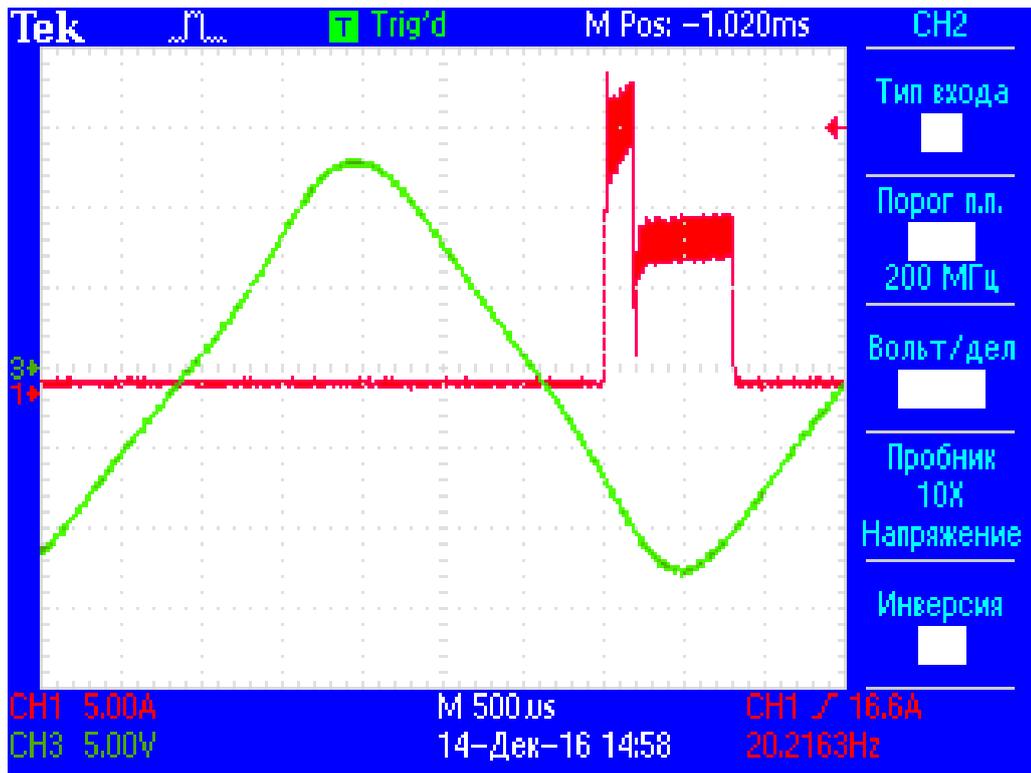


Рисунок 25 – Угол опережения  $18,0^\circ$

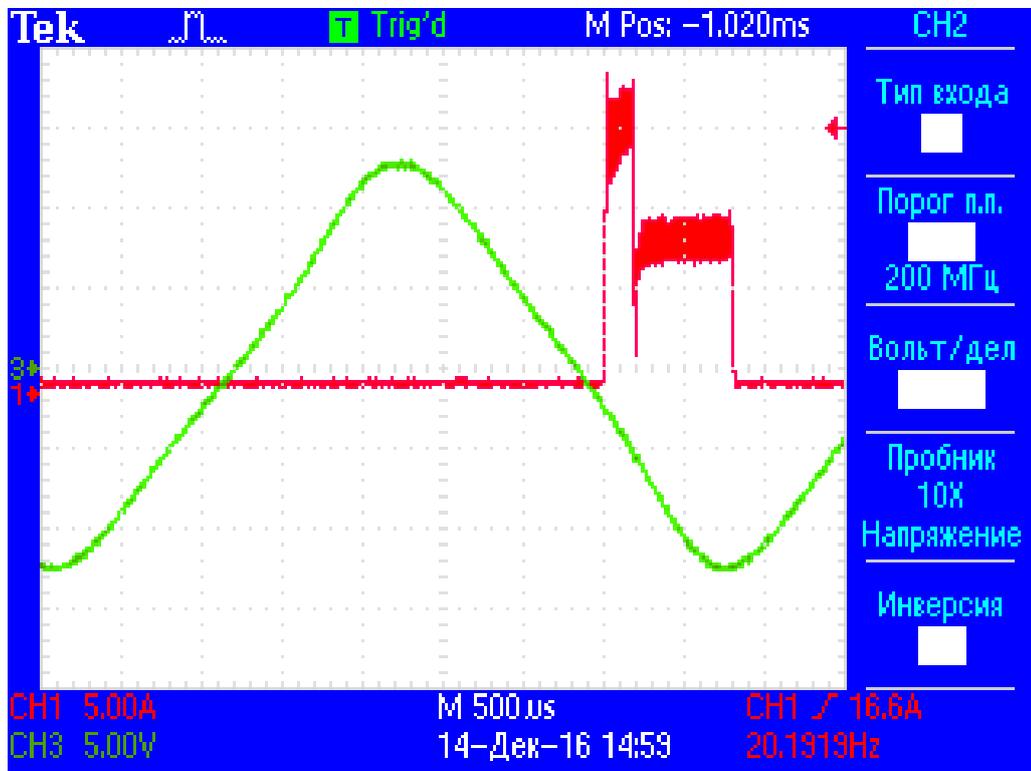


Рисунок 26 – Угол опережения  $20,0^\circ$

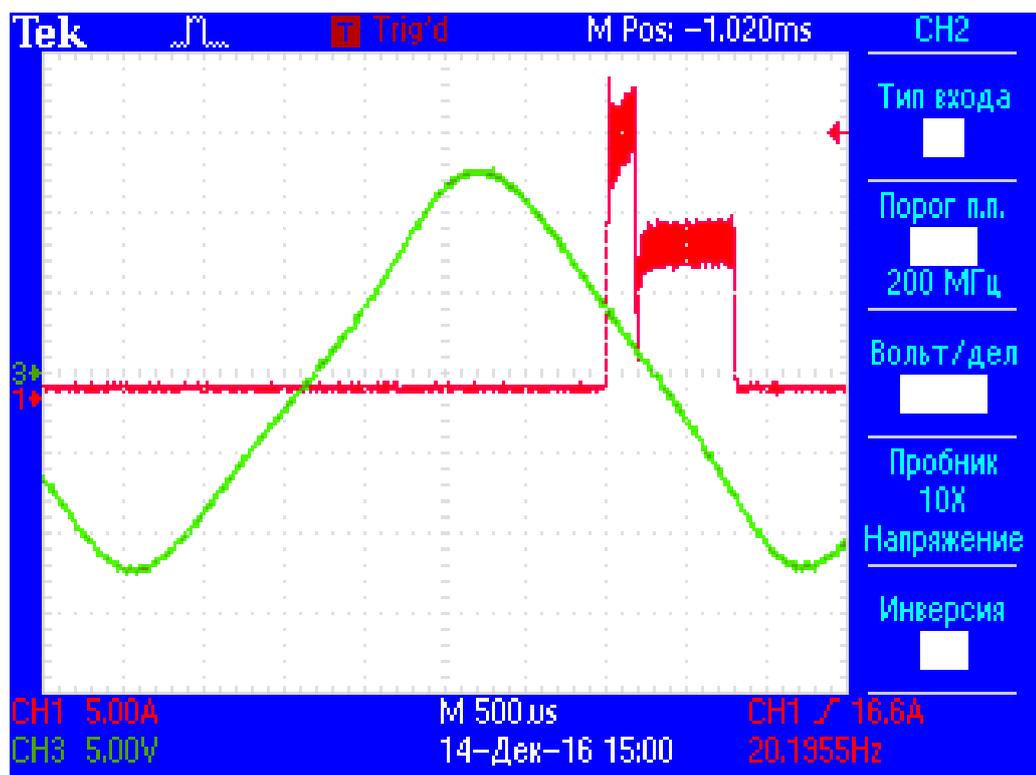


Рисунок 27 – Угол опережения 24,0°

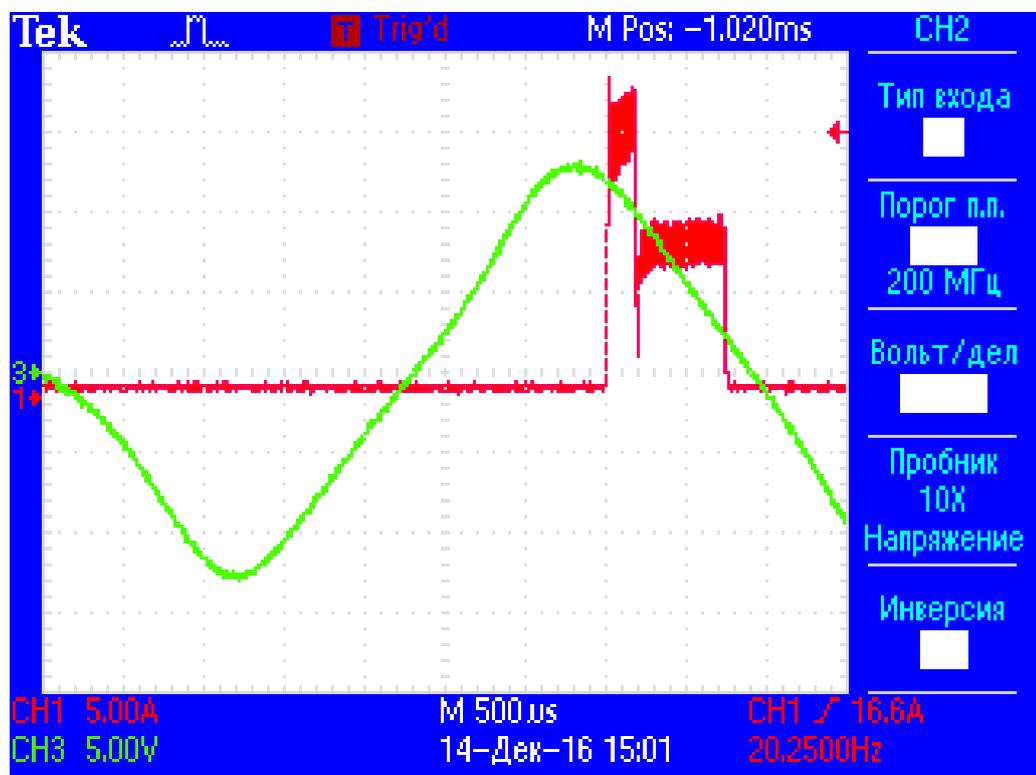


Рисунок 28 – Угол опережения 28,0°

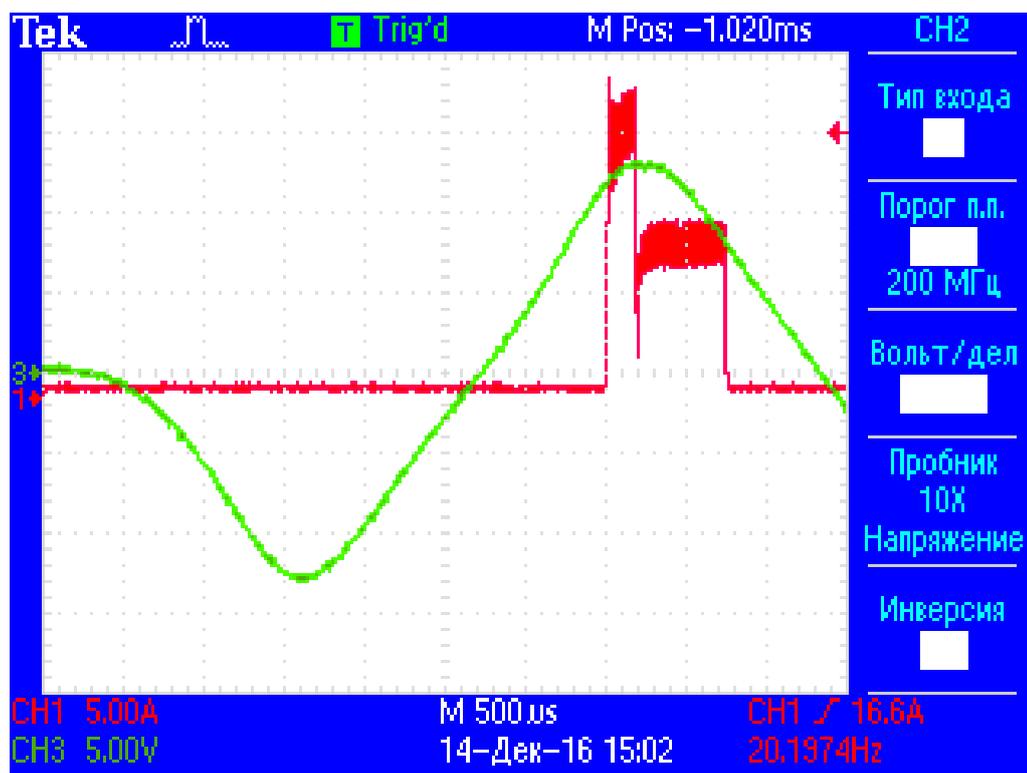


Рисунок 29 – Угол опережения  $32,0^\circ$

В соответствии с техническим заданием электромагнитный привод, наряду с основным импульсом впрыска топлива, должен формировать дополнительные импульсы – пилотные (предварительные) импульсы и пост-импульсы. Проверка отработки электромагнитным приводом дополнительных импульсов проводилась путём осциллографирования токовых импульсов на приводе при подаче соответствующих управляющих импульсов от электронного блока. К основному импульсу последовательно добавлялись дополнительные импульсы. На рисунке 30 приведена осциллограмма токовых импульсов на электромагнитном приводе при добавлении к основному импульсу одного пилотного импульса, на рисунке 31 – при добавлении двух пилотных импульсов, на рисунке 32 – при основном, двух пилотных и одном пост-импульсе, на рисунке 33 – при основном, двух пилотных и двух пост-импульсах. Как показывают приведённые осциллограммы, электромагнитный привод формирует необходимое количество дополнительных впрысков.

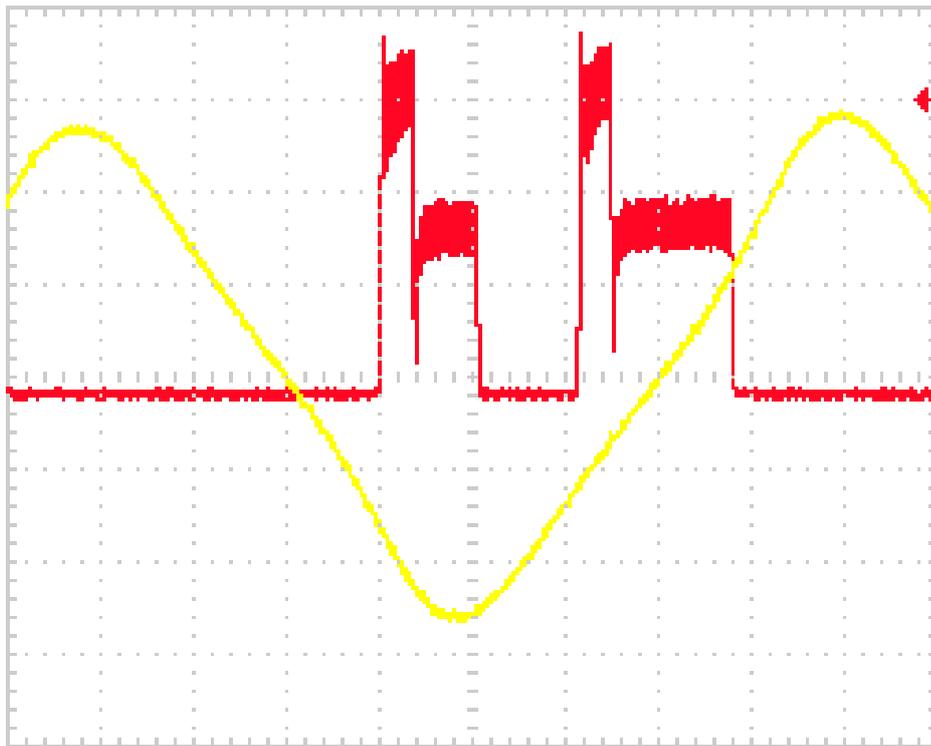


Рисунок 30 – Первый пилотный импульс

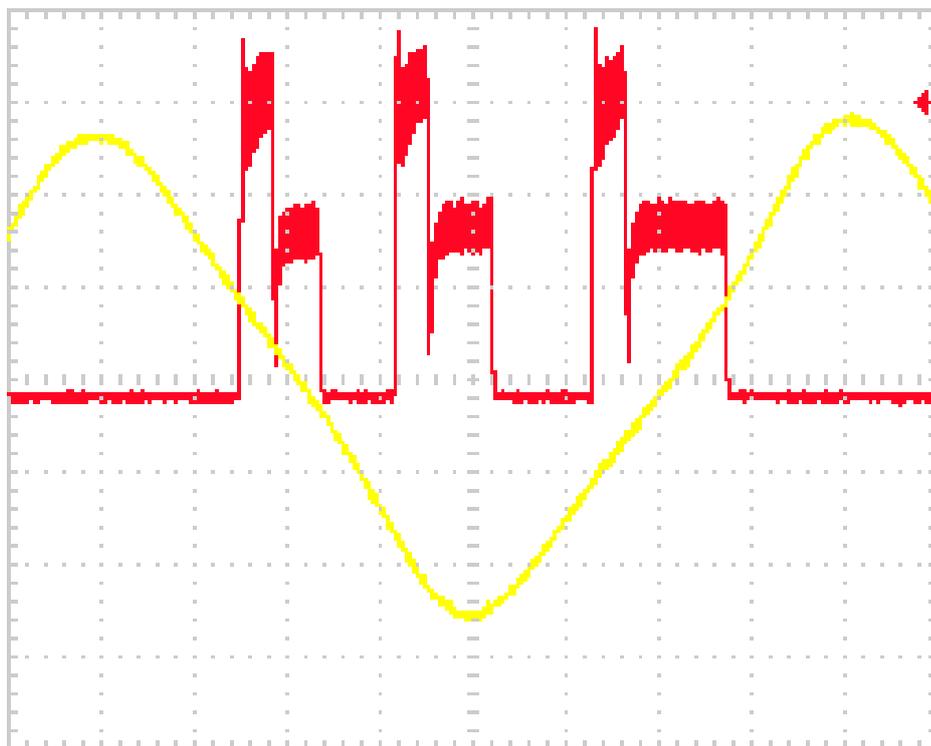


Рисунок 31 – Второй пилотный импульс

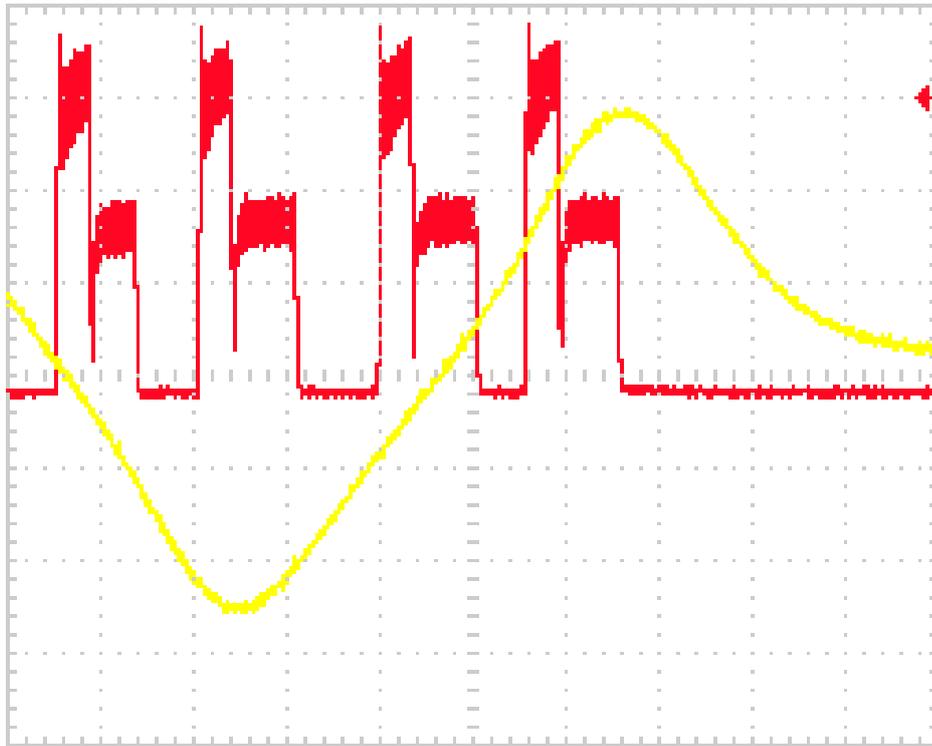


Рисунок 32 – Первый пост-импульс

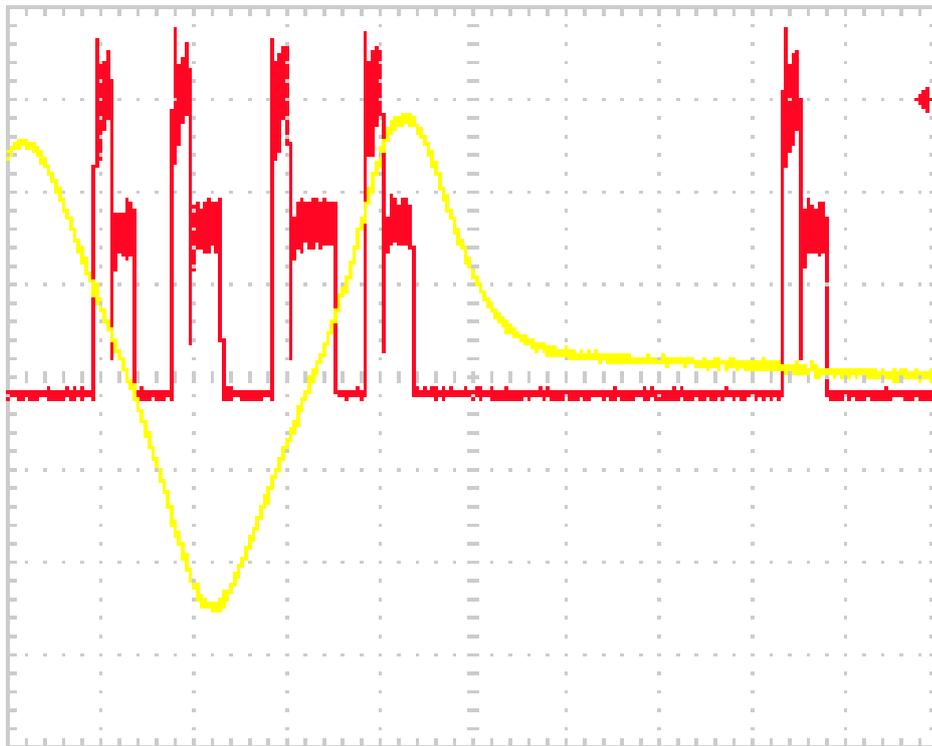


Рисунок 33 – Второй пост-импульс

Важной технической возможностью является гибкое управление параметрами дополнительных импульсов. На рисунках 34-36 показаны осциллограммы управля-

ющего сигнала при отсутствии пилотного импульса, при величине пилотного импульса 30% и 50% , соответственно.

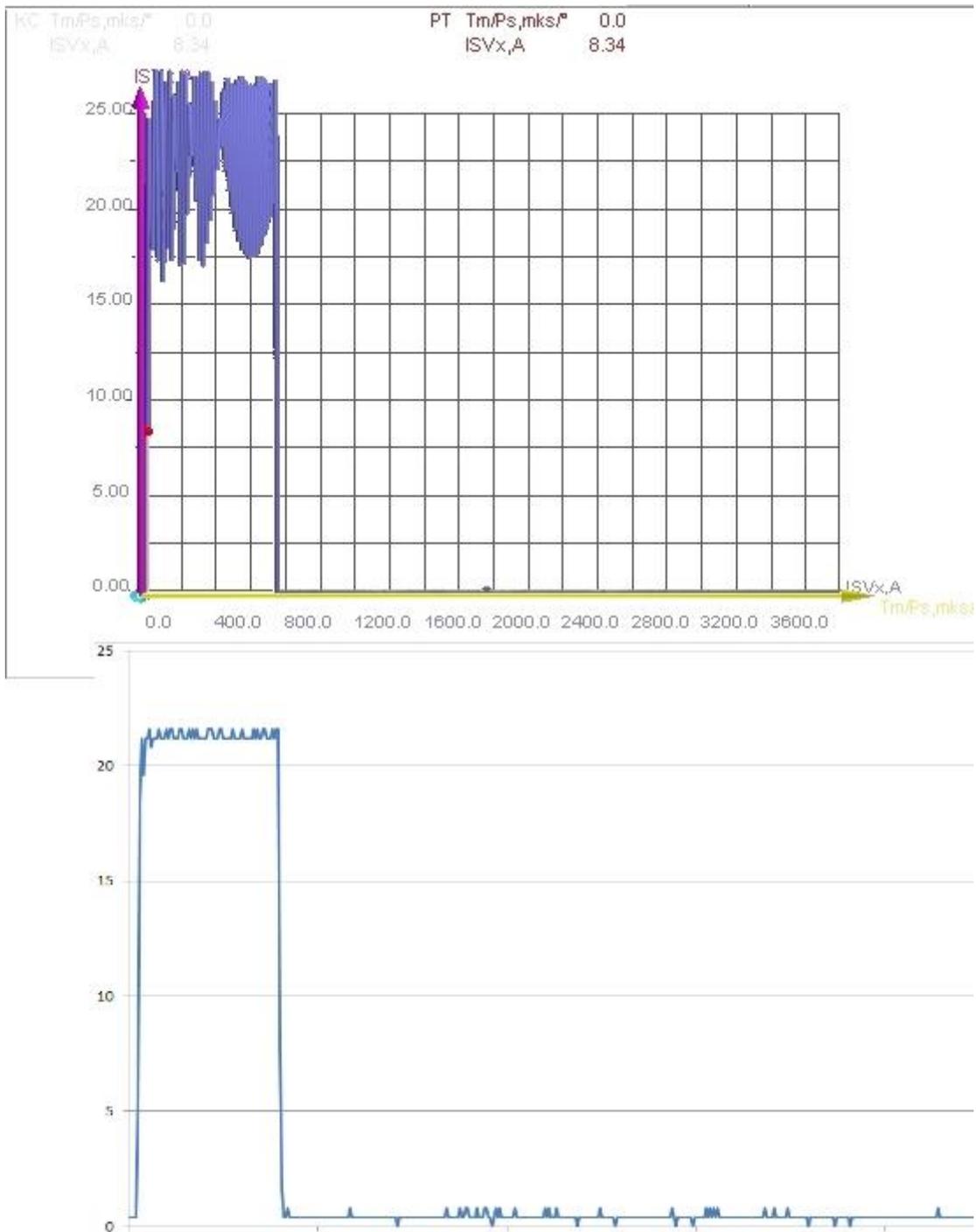


Рисунок 34 – Импульс без пилотного

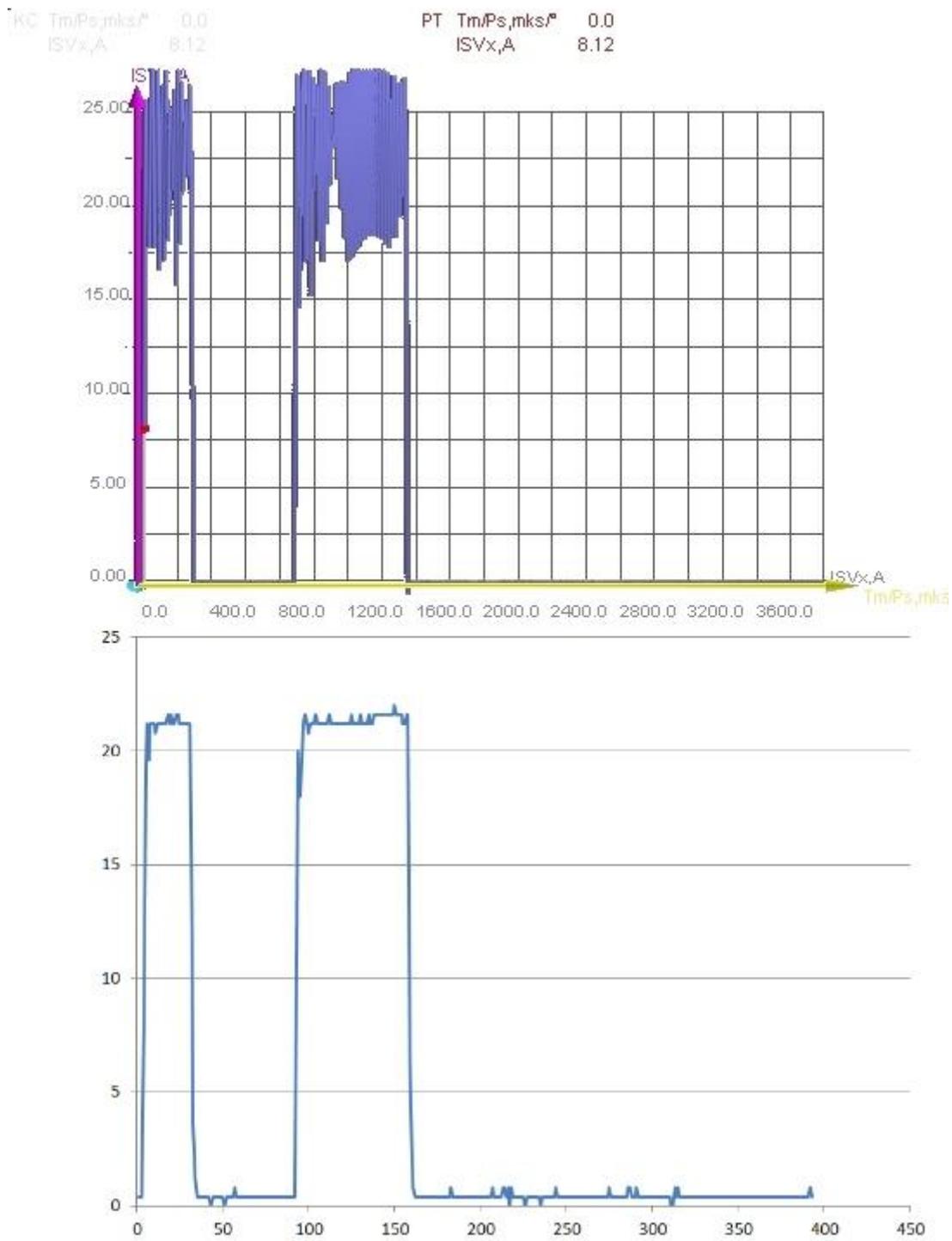


Рисунок 35 – Пилотный импульс 30% от цикловой подачи

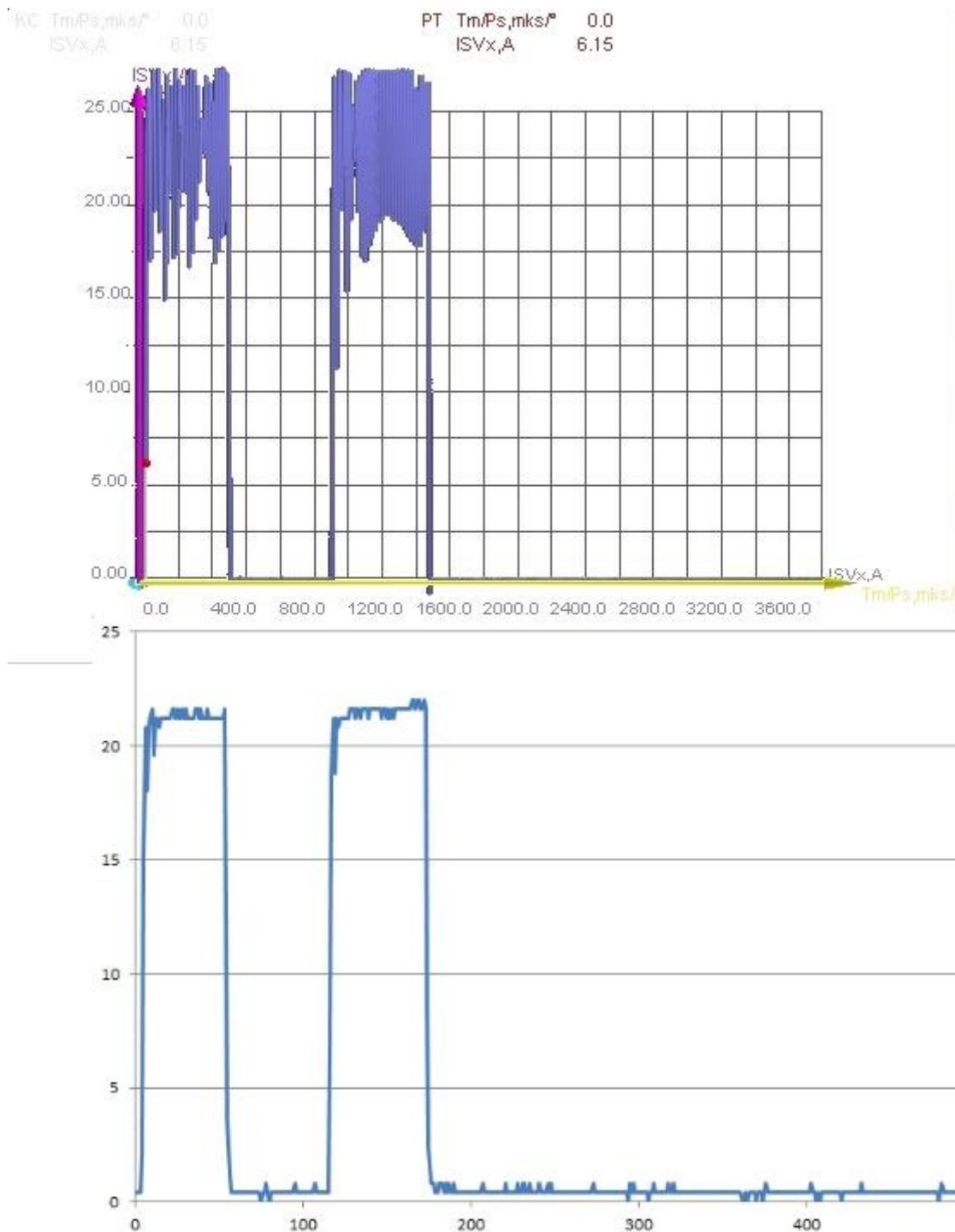


Рисунок 36 – Пилотный импульс 50% от основной подачи

Управление интервалом между дополнительными и основным импульсами показано на рисунках 37-40. На рисунке 37 показаны осциллограммы управляющего импульса при интервалах между пилотным и основным, а также между основным и пост-импульсом:  $3^\circ$  поворота коленчатого вала.

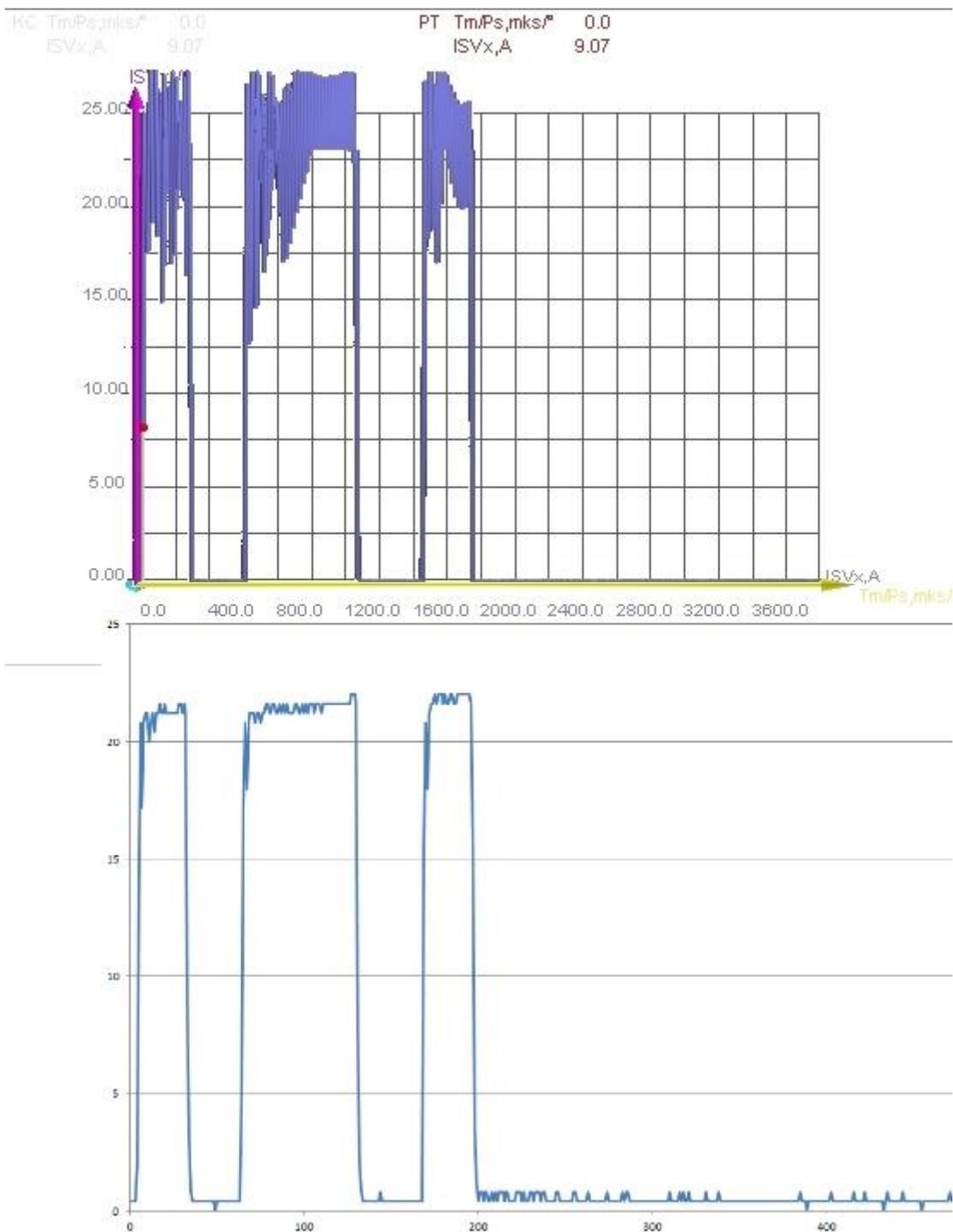


Рисунок 37 – Интервалы  $3^\circ$  поворота коленчатого вала

На рисунке 38 показаны осциллограммы при интервале между пилотным и основным импульсами  $6^\circ$  поворота коленчатого вала. При этом между основным и пост-импульсом интервал составлял  $3^\circ$  поворота коленчатого вала.

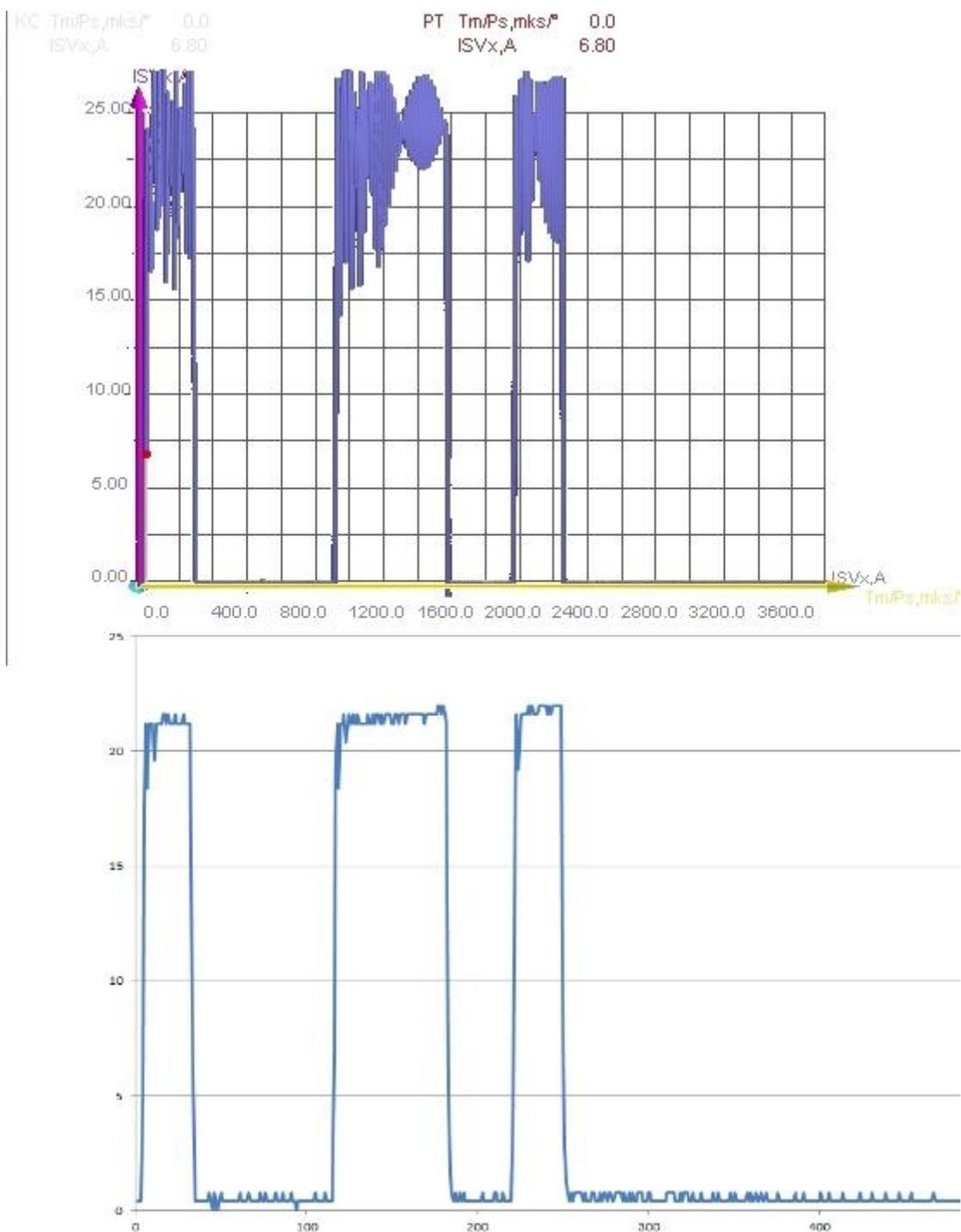


Рисунок 38 – Интервалы  $6^\circ$  и  $3^\circ$  поворота коленчатого вала

На рисунке 39 показаны осциллограммы при интервале между пилотным и основным импульсами  $3^\circ$  поворота коленчатого вала. При этом между основным и пост-импульсом интервал составлял  $6^\circ$  поворота коленчатого вала.

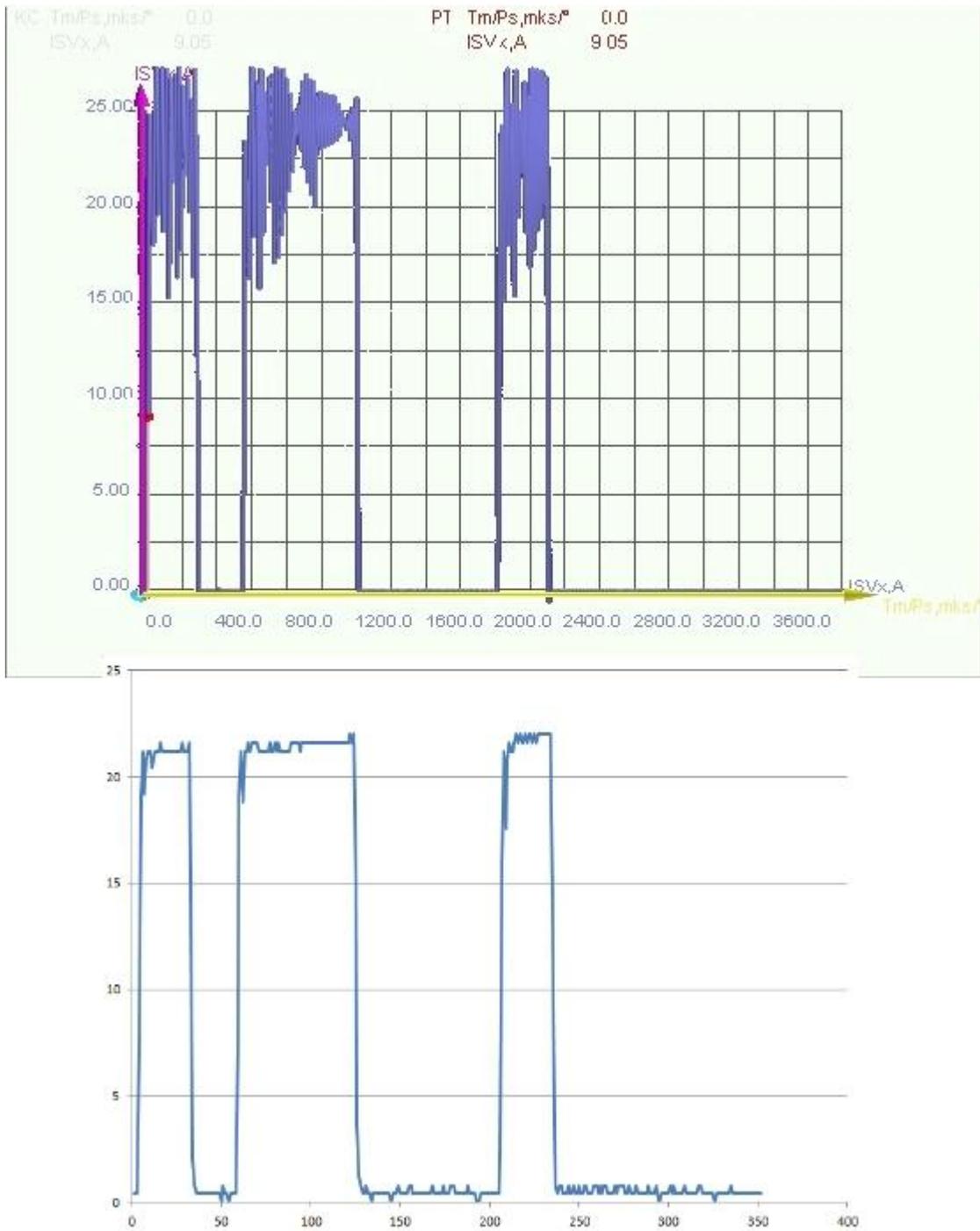


Рисунок 39 – Интервалы  $3^\circ$  и  $6^\circ$  поворота коленчатого вала

На рисунке 40 показаны осциллограммы при интервалах между импульсами  $6^\circ$  поворота коленчатого вала.

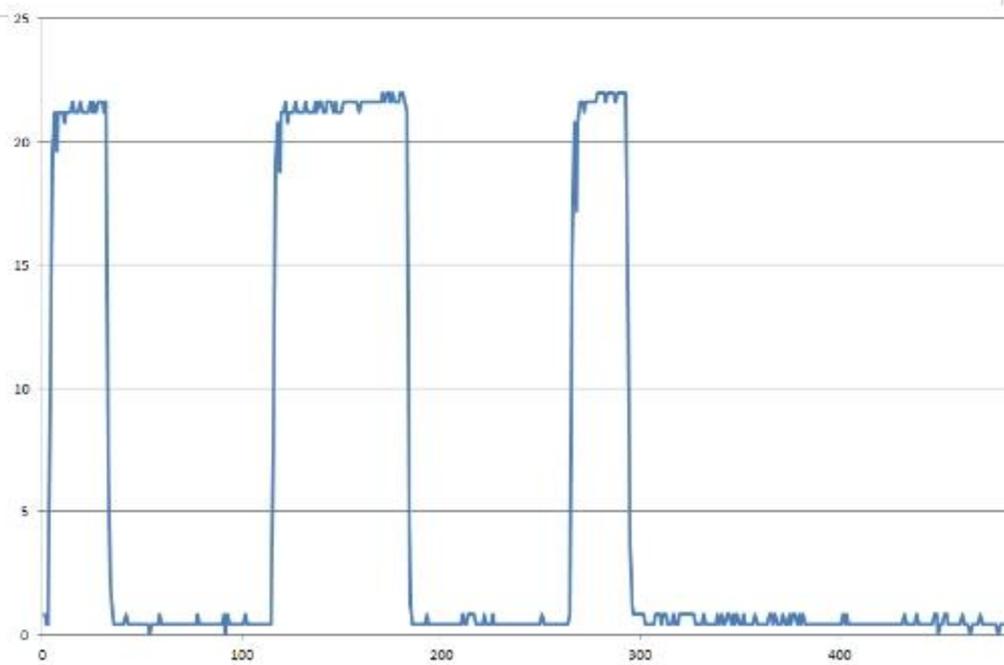
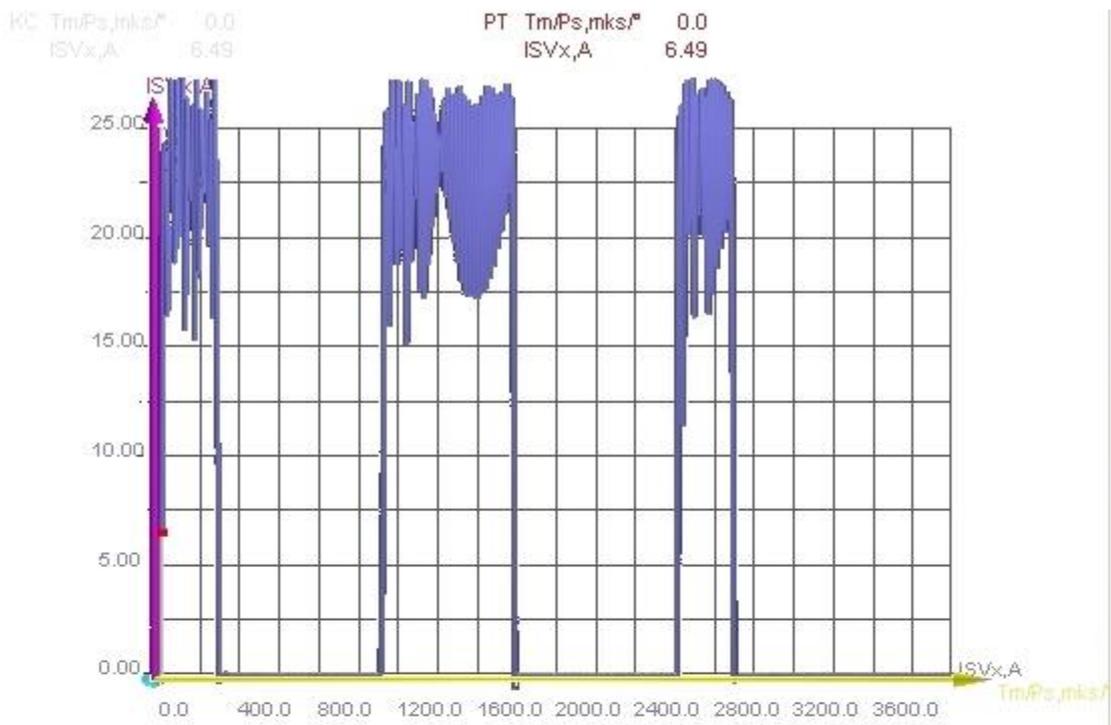


Рисунок 40 – Интервалы  $6^\circ$  поворота коленчатого вала

## Выводы к разделу 1

Испытания электромагнитного привода клапанов форсунок проведены на безмоторном стенде, на котором была установлена топливная система типа Common Rail дизельных двигателей в составе топливного насоса высокого давления, шести форсунок и соединительных трубопроводов. Образцы электромагнитного привода установлены в форсунки.

Вал топливного насоса высокого давления приводился во вращение электродвигателем стенда. Значение частоты вращения задавалось с пульта управления стендом.

Импульсы напряжения на электромагнитные приводы поступали от системы управления, в которую входили электронный блок, датчики, соединительные жгуты. Питание электронного блока осуществлялось от батареи аккумуляторов напряжением 24 В. Задание режимов работы системы управления производилось с персонального компьютера, связанного с электронным блоком модулем связи, и с пульта управления.

Система измерений включала мерные колбы для сбора впрыснутого форсунками топлива, зубчатые диски индукционных датчиков частоты вращения коленчатого и распределительного валов двигателя, цифровой осциллограф типа Tektronix TDC-2024C.

При проверке электромагнитного импульса на функционирование зафиксировано совпадение формы управляющего импульса, подаваемого с блока управления, с формой импульса в катушке привода.

Сравнение управляющих импульсов, формируемых электронным блоком и реальных импульсов, возникающих в электромагнитном клапане, в диапазоне временной длительности импульсов 0.5 мс – 4 мс свидетельствует о точной отработке электромагнитным клапаном задаваемой продолжительности управляющих импульсов.

Результаты осциллографирования взаимного расположения токового импульса на электромагнитном приводе с отметкой верхней мёртвой точки первого цилиндра свидетельствует о точной отработке электромагнитным приводом заданных

электронным блоком углов опережения впрыска в диапазоне значений угла опережения впрыска  $0^{\circ} - 32^{\circ}$ .

Осциллографирование токовых импульсов в катушке электромагнитного привода показало, что привод формирует заданное количество дополнительных впрысков топлива: двух пилотных впрысков и двух пост-впрысков.

Управление параметрами дополнительных импульсов охватывает технические требования, предъявляемые головным исполнителем.

## 2 Рекомендации по совершенствованию конструкции перспективного электромагнитного привода форсунки для системы управления топливной аппаратурой нового поколения для дизельного двигателя

По результатам испытаний экспериментальных образцов электромагнитного привода клапанов форсунок совместно с системой управления и топливной аппаратурой типа Common Rail на безмоторном стенде сформулированы следующие рекомендации по совершенствованию конструкции привода.

### Технологические.

1. Упростить сборку корпуса магнита для уменьшения количества сварных швов.
2. Упростить конструкцию деталей для упрощения изготовления.
3. Упростить сборку и намотку сердечника магнита с катушкой.

### Эксплуатационные.

Для получения более пологой характеристики нарастания силы тока форсировки в зависимости от времени необходимо увеличить количество витков обмотки катушки.

Рекомендуемые параметры по намотке :

- диаметр проволоки 0,3 мм;
- количество рядов намотки – 4;
- количество витков в одном ряде: 12, 17, 24.

Изменения конструкции деталей привода

1. Сердечник (рисунок 41)

образец



рекомендация



Рисунок 41 – Усовершенствование сердечника

2. Катушка (рисунок 42)

образец



рекомендация



Рисунок 42 – Усовершенствование каркаса катушки

### 3. Кожух (рисунок 43)

образец



рекомендация

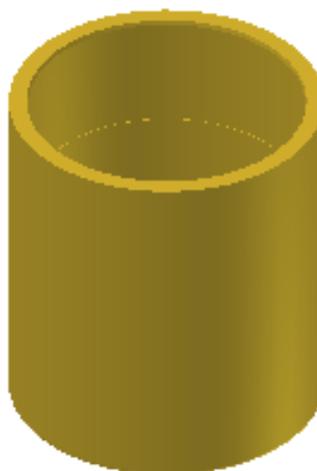
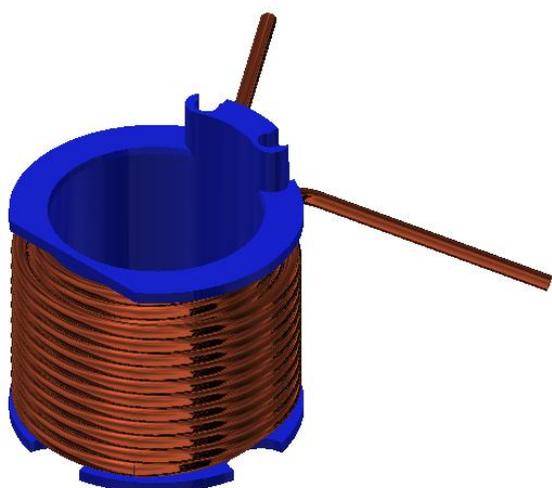


Рисунок 43 – Усовершенствование кожуха

### 4. Сборка катушки (рисунок 44)

образец



рекомендация

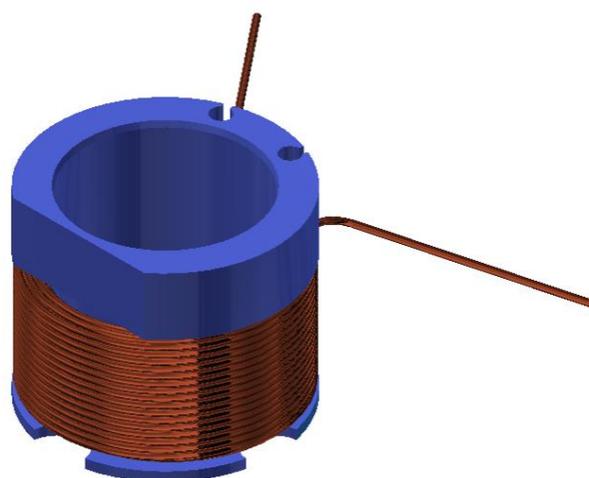


Рисунок 44 – Усовершенствование сборки катушки

## 5. Сборка привода (рисунок 45)

образец

рекомендация

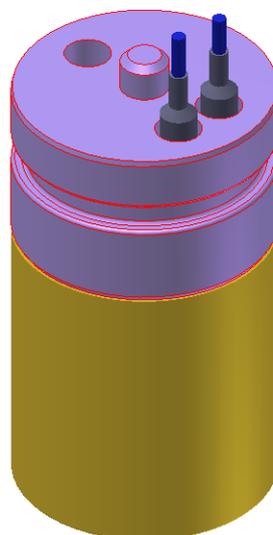
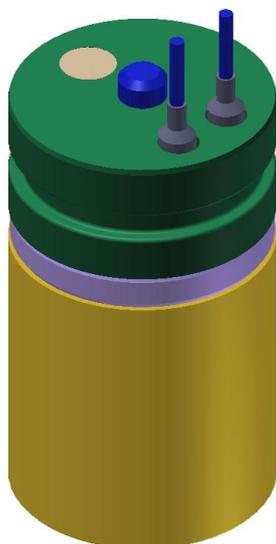


Рисунок 45 – Усовершенствование сборки привода

## 6. Детали, не используемые в изменённой конструкции привода (рисунок 46)

прижим

крышка

гайка

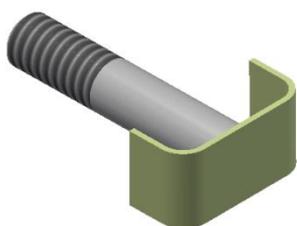


Рисунок 46 – Детали, устранённые из усовершенствованной сборки

## Выводы к разделу 2

По результатам испытаний сформулированы следующие рекомендации по совершенствованию конструкции электромагнитного привода клапанов форсунок системы подачи топлива дизельного двигателя.

1. Технологические: упростить сборку корпуса магнита для уменьшения количества сварных швов; упростить конструкцию деталей для упрощения изготовления привода; упростить сборку и намотку сердечника магнита с катушкой.
2. Эксплуатационные. Для получения более пологой характеристики нарастания силы тока форсировки в зависимости от времени увеличить количество витков обмотки катушки, рекомендуемые параметры по намотке: диаметр проволоки – 0,3 мм; количество рядов намотки – 4; количество витков в одном ряду – 12, 17, 24.
3. Конструктивные: изменить конструкцию сердечника, катушки, кожуха. Предлагаемые изменения упростят конструкцию привода и его сборку.

## Заключение

На данном этапе ПНИ проведены испытания экспериментальных образцов электромагнитного привода клапанов, установленных в форсунки дизельной аппаратуры на безмоторном стенде при подаче управляющих сигналов от электронного блока системы управления.

Испытания электромагнитного привода на безмоторном стенде в соответствии с составленной программой и методикой включали следующие этапы:

- проверку функционирования образцов электромагнитного привода путём сравнения токовых импульсов, сформированных системой управления и возникающих в катушке привода;
- проверку обеспечения электромагнитным приводом заданной продолжительности управляющего сигнала в диапазоне 0.5 мс – 4 мс;
- установку синхронизации токового импульса в электромагнитном приводе первой форсунки с отметкой верхней мёртвой точки первого цилиндра двигателя;
- проверку обеспечения электромагнитным приводом заданных значений угла опережения впрыска топлива в диапазоне  $0^{\circ} - 32^{\circ}$ ;
- проверку обеспечения электромагнитным приводом подключения к основному импульсу дополнительных импульсов – двух пилотных импульсов и двух пост-импульсов;
- проверку обеспечения электромагнитным приводом заданных параметров пилотного импульса.

Результаты испытаний показали, что экспериментальные образцы электромагнитного привода обеспечивают отработку заданных системой управления вида и параметров управляющего сигнала.

По результатам испытаний сформулированы рекомендации по совершенствованию конструкции перспективного электромагнитного привода клапанов форсунок системы топливоподачи аккумуляторного типа дизельных двигателей.

Информация о ходе выполнения работ приведена на официальном сайте организации-исполнителя: <http://www.transsensor.net/> .