

Бабич Алексей Николаевич, магистрант

Сибирский федеральный университет, Россия, г. Красноярск

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ В ПО L-GRAPH 2.0

Аннотация: Целью данной работы является обработка результатов испытания электродвигателя А42-4 в различных режимах работы. Были использованы частные методы – обработка осциллограмм, сравнение полученных результатов с паспортными величинами. Полученные результаты соответствуют паспортным характеристикам двигателя.

Ключевые слова: самозапуск, электродвигатель, устройство контроля, перерыв питания.

Annotation: The purpose of this work is to process the results of testing the electric motor A 42-4 in various operating modes. Particular methods were used – processing of waveforms, comparing the results with passport values. The results obtained correspond to the passport characteristics of the engine.

Keywords: self-start, electric motor, control device, power interruption.

Основная цель экспериментального определения индивидуальных характеристик электродвигателей – получение исходной информации для проведения расчетов режимов самозапуска и сопоставление полученных параметров и характеристик с каталожными данными. Кроме того, индивидуальные пусковые характеристики позволяют откорректировать уставки защит электродвигателей. Экспериментальное определение производится с помощью автономного устройства контроля пуска и

самозапуска электродвигателей и предустановленного программного обеспечения L-Graph 2.0. Устройство контроля описано в [1].

В качестве объекта исследования выступает электродвигатель А42-4, параметры которого представлены в таблице 1 [2].

Таблица 1. Параметры асинхронного электродвигателя

Тип АД	А42-4
Соединение фаз	У
Номинальное линейное напряжение, В	380
Номинальный ток, А	6,1
Номинальная мощность, кВт	2,8
Частота вращения ротора, об/мин	1420
Номинальная частота, Гц	50
Номинальный КПД, %	83,5
Номинальный коэффициент мощности	0,84
Кратность пускового тока	7
Вес, кг	42

Опыт проводится по программе испытания, представленной ниже.

Программа испытания включает в себя перечень следующих мероприятий:

1. Определение цели проведения опыта пуска и самозапуска: определение характеристик пуска и самозапуска электродвигателя 0,38 кВт в зависимости от перерыва питания.

2. Обозначение условий проведения опыта пуска и самозапуска:

2.1. Правильность собранной схемы.

2.2. Питание осуществляется от сети 380 В.

2.3. Опыт пуска и самозапуска осуществляется посредством преднамеренного ручного отключения и включения питания сети, при этом продолжительность бестоковой паузы принимается за 1, 3 и 5 с.

2.4. Собрать схему:

- в сеть измеряемого двигателя включить трансформатор напряжения и тока;

- перед трансформатором тока включить амперметр для дальнейшего определения рабочего тока двигателя;

- к зажимам клемм вторичного напряжения трансформатора подключить цепь напряжения контрольно-измерительного прибора и соответственно к зажимам вторичной обмотки трансформатора тока – цепь тока;

- при помощи провода USB 2.0 подключить персональный компьютер к выходу АЦП.

2.5. Сообщить ответственному руководителю о готовности к проведению опыта.

3. Проведение опыта пуска:

3.1 Ответственный руководитель убеждается в готовности к проведению испытаний.

3.2 Запуск ПО L-Graph 2.0 и включение записи испытания.

3.3 Включение питания сети при помощи воздействия на рукоятку автоматического выключателя.

3.4 Определение нормального режима работы двигателя при помощи амперметра, ток достигнет рабочей величины.

3.5 Запись опыта закончена.

3.6 Сохранение полученных данных в память ПК.

4. Проведение опыта самозапуска:

4.1 Включение записи испытания в ПО L-Graph 2.0.

4.2. Ответственный руководитель убеждается в готовности к проведению испытаний, воздействием на рукоять управления производит отключение автоматического выключателя, засекает 1 с и производит включение питания.

4.3 Обороты замераемого двигателя падают, в программном обеспечении фиксируется падение напряжения и тока во время отключения электроснабжения.

4.4 После включения питания происходит самозапуск двигателя, сопровождающийся резким возрастанием тока и напряжения, фиксируется ток самозапуска.

4.5 Двигатель набирает установившийся режим и рабочий ток.

4.6 В соответствии с пунктом 2.3 производится ряд испытаний с изменением перерыва электроснабжения, отключая питание сети на 3 и 5 с.

4.7 Запись опыта закончена и сохранена в память ПК.

Величина тока электродвигателя при пуске в несколько раз выше, чем в рабочем режиме. На осциллограмме выбирается максимальное значение напряжения, соответствующее амплитудному значению тока, причём необходимо учитывать смещение нуля сигнала в силу погрешности АЦП и смещение синусоиды относительно этого нуля. Смещение синусоиды обусловлено переходным процессом, который в пределах времени моделирования не успевает закончиться [3].

Для этого вводятся поправочные величины: для смещения нуля ПО – $U'_{\text{АЦПсмещ1}}$, для смещения синусоиды – $U'_{\text{АЦПсмещ2}}$.

Перерыв электроснабжения будет производиться ручным отключением автоматического выключателя. Поэтому для удобства измерения длительности перерыва были выбраны натуральные значения $t_{\text{пер}}$. Минимальное значение перерыва – 1 с, промежуточное – 3 с, а максимальное – 5 с. Реальные значения перерывов питания получились другими в силу человеческого фактора. В подрисуночных подписях приведены расчётные значения продолжительностей перерывов питания.

При обработке осциллограмм были использованы коэффициенты преобразования измерительного преобразователя тока (ИПТ) и напряжения (ИПН), равные $K_{\text{прI}} = 2,9$ и $K_{\text{прU}} = 42,8$ соответственно.

В качестве нагрузки на вал использовался электромагнитный тормоз с заданным значением тормозного момента равного $4 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

Осциллограммы при пуске электродвигателя со значениями пускового и рабочего токов при моменте нагрузки на валу 4 Н·м представлены на рисунках 1, 2.

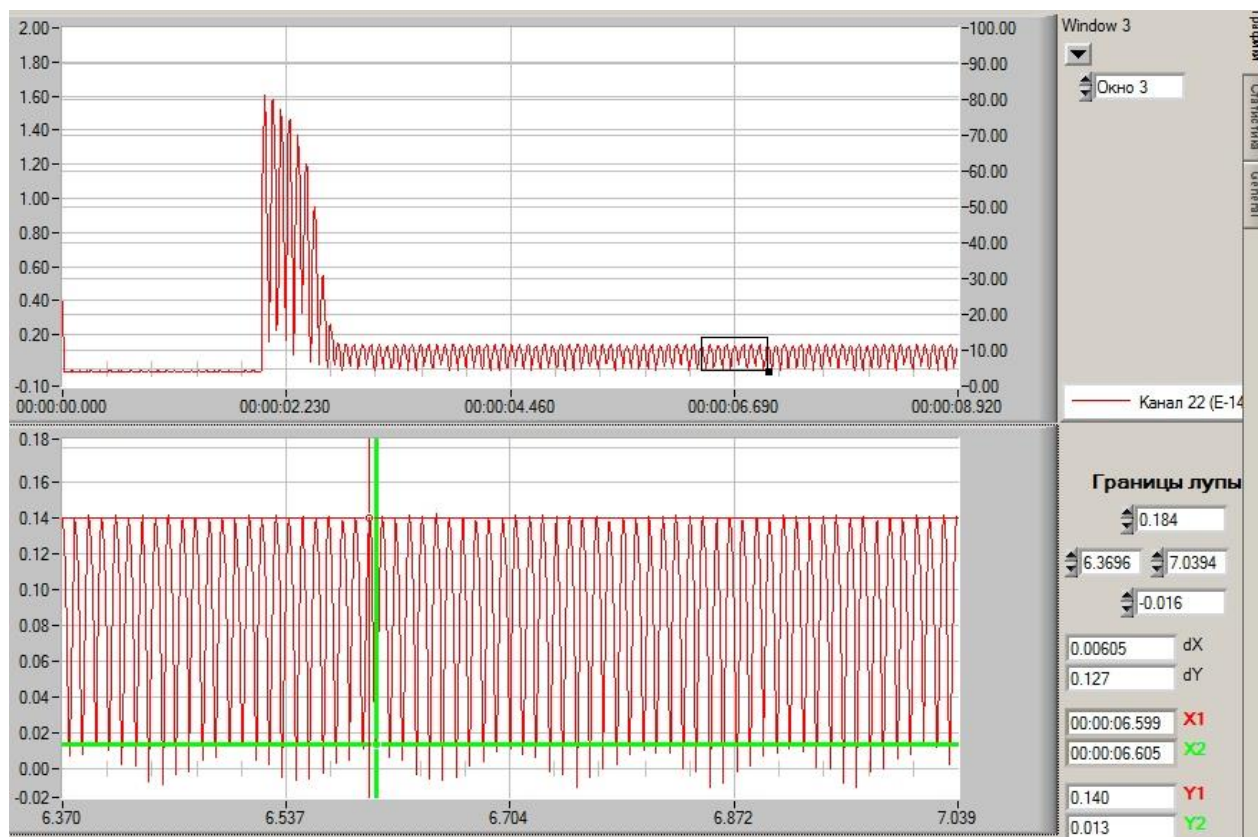


Рисунок 1. Осциллограмма пуска электродвигателя по каналу контроля тока с рабочей точкой, соответствующей пуску электродвигателя

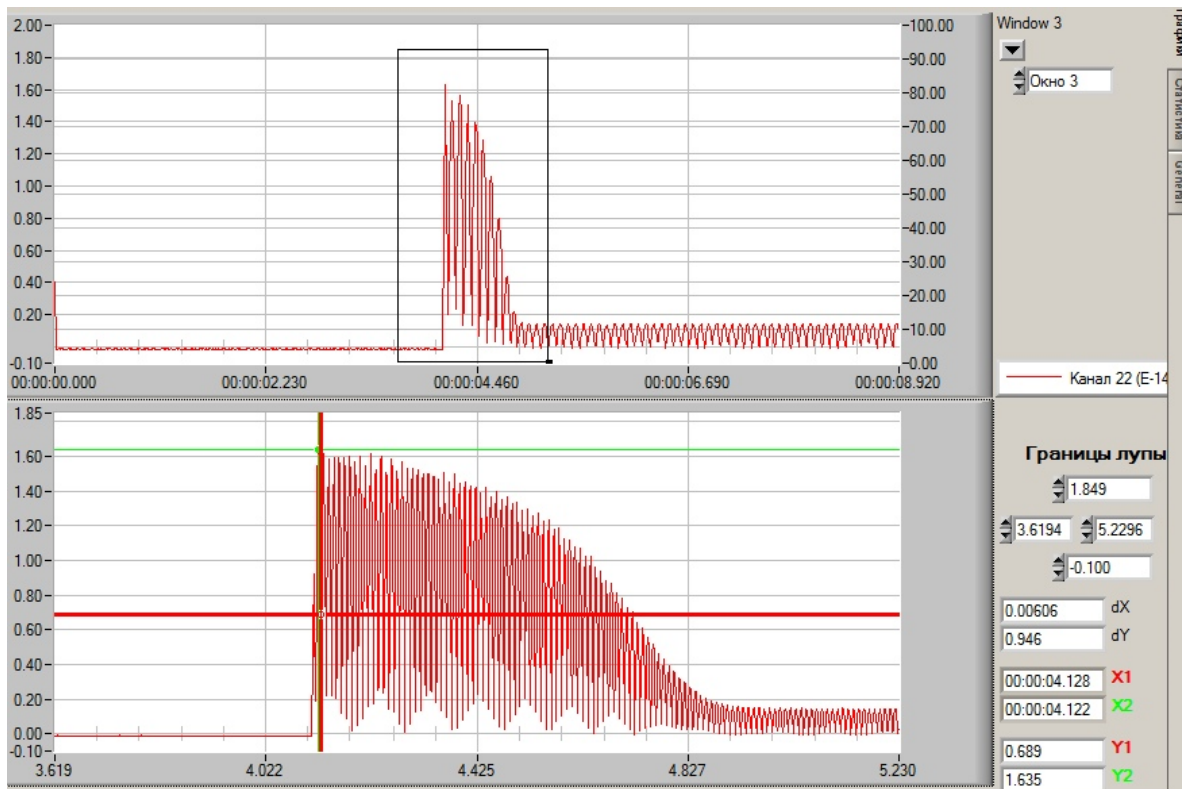


Рисунок 2. Осциллограмма пуска электродвигателя по каналу контроля тока с рабочей точкой, соответствующей установившемуся режиму

Действующее значение рабочего тока двигателя будет определяться следующим образом, А,

$$I_{\text{д}} = (U'_{\text{АЦП}} - U'_{\text{АЦПсмещ1}} + U'_{\text{АЦПсмещ2}}) \cdot K_{\text{прI.ср}} \cdot K_{\text{трI}}, \quad (1)$$

где: $U'_{\text{АЦП}}$ – значение напряжение по осциллограмме, полученное с помощью ПО L-Graph 2.0, соответствующее амплитудному значению тока.

$U'_{\text{АЦПсмещ1}}$ – значение напряжения, учитывающее смещение сигнала, В;

$U'_{\text{АЦПсмещ2}}$ – значение напряжения, учитывающее смещение нуля, В;

$K_{\text{прI.ср}}$ – коэффициент преобразования ИПТ, равен 2,9;

$K_{\text{трI}}$ – коэффициент трансформации трансформатора тока, равный 15.

Тогда рабочий ток двигателя, А,

$$I_d = (0,140 - 0,013 + 0,012) \cdot 2,87 \cdot 15 = 5,98. \quad (2)$$

Полученное значение приблизительно равно номинальному току двигателя, представленному в таблице 1: $5,98 \text{ A} \approx 6,1 \text{ A}$.

Согласно осциллограмме по рисунку 1 действующее значение пускового тока определяется по формуле, А,

$$I_{\text{п}} = (U'_{\text{АЦП}} - U'_{\text{АЦПсмещ1}} + U'_{\text{АЦПсмещ2}}) \cdot K_{\text{прI.ср}} \cdot K_{\text{трI}}, \quad (3)$$

где: $U'_{\text{АЦП}}$, $U'_{\text{АЦПсмещ1}}$, $U'_{\text{АЦПсмещ2}}$, $K_{\text{прI.ср}}$, $K_{\text{трI}}$ – то же, что и в формуле (1).

Тогда пусковой ток, А,

$$I_{\text{п}} = (1,635 - 0,689 + 0,012) \cdot 2,87 \cdot 15 = 41,24. \quad (4)$$

Тогда кратность пускового тока,

$$K_{\text{п}} = \frac{I_{\text{п}}}{I_d} = \frac{41,24}{5,98} = 6,89, \quad (5)$$

где $I_{\text{п}}$ – значение пускового тока, А, определённое по формуле (4);

I_d – значение рабочего тока двигателя, А, определённое по формуле (2).

Экспериментально полученная кратность пускового тока соответствует теоретической, представленной в паспортных данных двигателя таблицы 1.

Помимо полученных значений пускового и рабочего токов, произведём обработку осциллограммы напряжения при пуске электродвигателя. Осциллограмма представляет собой возрастающий сигнал напряжения. Увеличение продолжается в течение $4,954 - 4,114 = 0,840 \text{ с}$, что соответствует длительности пуска ($4,952 - 4,109 = 0,813 \text{ с}$) на осциллограмме по каналу контроля тока (рисунок 1). Номинальное напряжение соответствует линейному

напряжению, равному 380 В. Осциллограмма при пуске по каналу контроля напряжения представлена на рисунке 3.

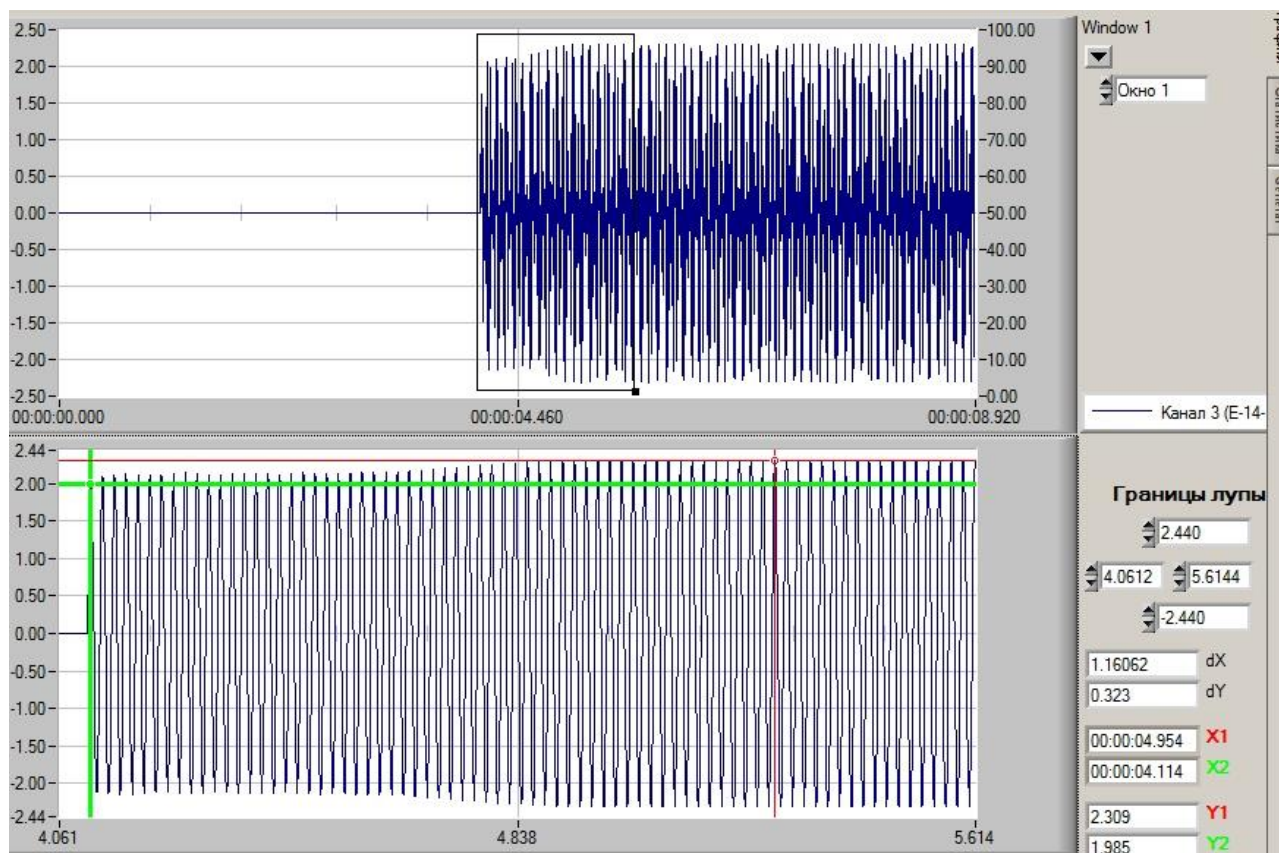


Рисунок 3. Осциллограмма пуска электродвигателя по каналу контроля напряжения

Действующее значение напряжения в рабочем режиме электродвигателя, В, будет определяться следующим образом

$$U_d = U_{\text{АЦП}} \cdot K_{\text{пр}U.\text{ср}} \cdot K_{\text{тр}U}, \quad (6)$$

где $U_{\text{АЦП}}$ – значение напряжения, полученное с помощью осциллограммы, соответствующее амплитудному значению напряжения, В;

$K_{\text{пр}U.\text{ср}}$ – коэффициент преобразования ИПН, равен 42,8;

$K_{\text{тр}U}$ – коэффициент трансформации трансформатора напряжения, равный 3,8.

Тогда действующее значение напряжения двигателя, В,

$$U_d = 2,309 \cdot 42,8 \cdot 3,8 = 375,54. \quad (7)$$

Действующее значение напряжения электродвигателя соответствует номинальному значению линейного напряжения, представленного в таблице 1: $375,54 \text{ В} \approx 380 \text{ В}$.

Успешность самозапуска и его длительность напрямую зависит от продолжительности перерыва питания. С уменьшением паузы электродвигатель меньше тормозится, ограничиваются токи самозапуска и повышается напряжение на шинах в момент подключения источника питания, вследствие чего возрастает динамический момент и ускоряется восстановление номинальной частоты вращения [4].

Максимальный выбранный перерыв питания составляет 5 с, поскольку при более длительном перерыве ток и напряжение при самозапуске практически не отличаются от соответствующих величин при пуске двигателя [4].

Фиксируются значения тока и напряжения при самозапуске. Минимальное начальное напряжения является критерием успешности самозапуска [5], наряду с продолжительностью перерыва питания [4].

Осциллограммы при перерыве питания 1,49 с представлены на рисунках 4, 5.

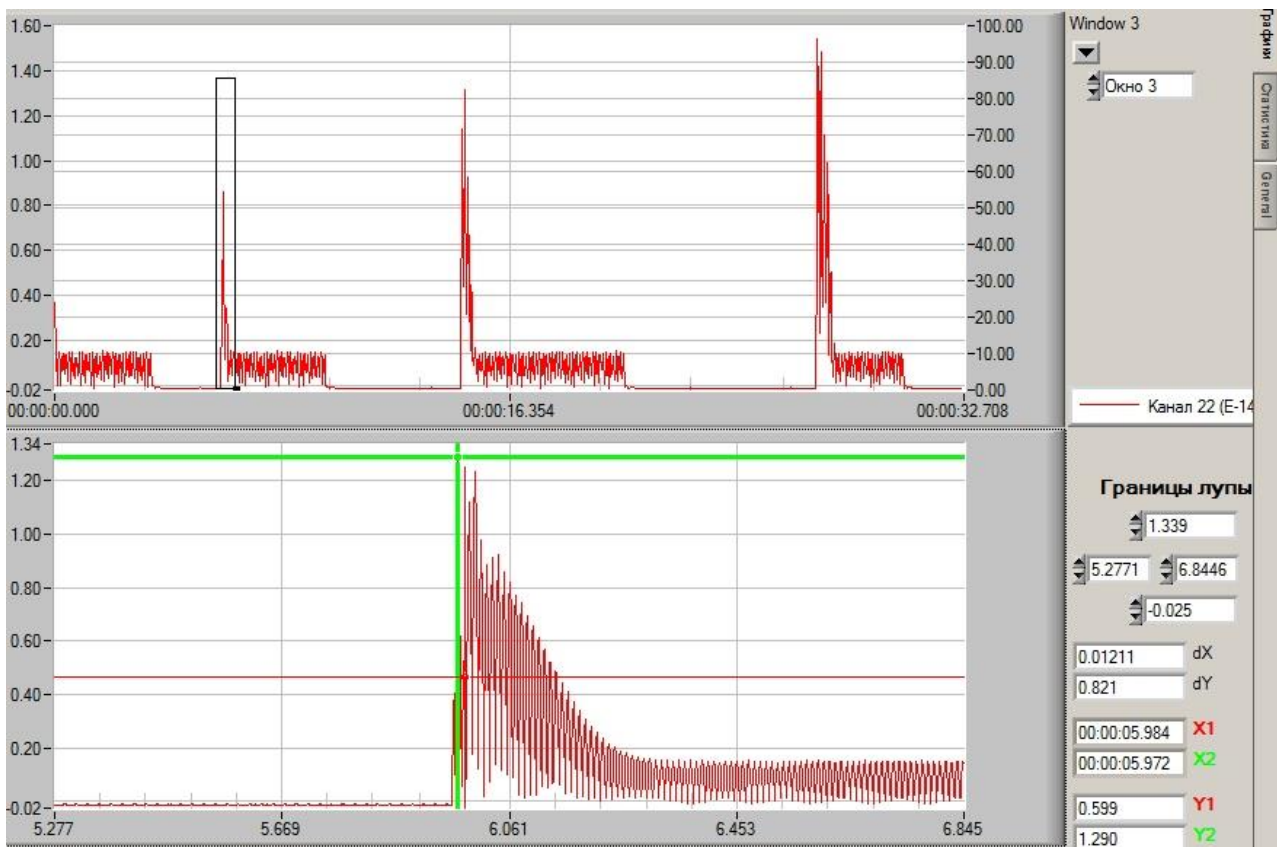


Рисунок 4. Осциллограмма электродвигателя при перерыве питания 1,49 с. по каналу контроля тока

На рисунке 4 видно три максимальных значений тока, соответствующих токам двигателя при самозапуске при перерывах питания 1,49, 3,88 и 5,87 с. По окончании перерыва питания 1,49 с наблюдается резкое возрастание тока, необходимое для запуска электродвигателя. Далее, по окончании перерывов 3,88 и 5,87 наблюдается аналогичная картина. Однако, значение тока самозапуска двигателя при перерыве 3,88 с больше, чем при перерыве 1,49 с, поскольку при больших перерывах питания двигатель затормаживается сильнее и больший ток потребляется из сети для его пуска. Также при перерыве питания 5,87 с ток самозапуска больше, чем при перерыве 3,88 и 1,49 с, что объясняется тем же.

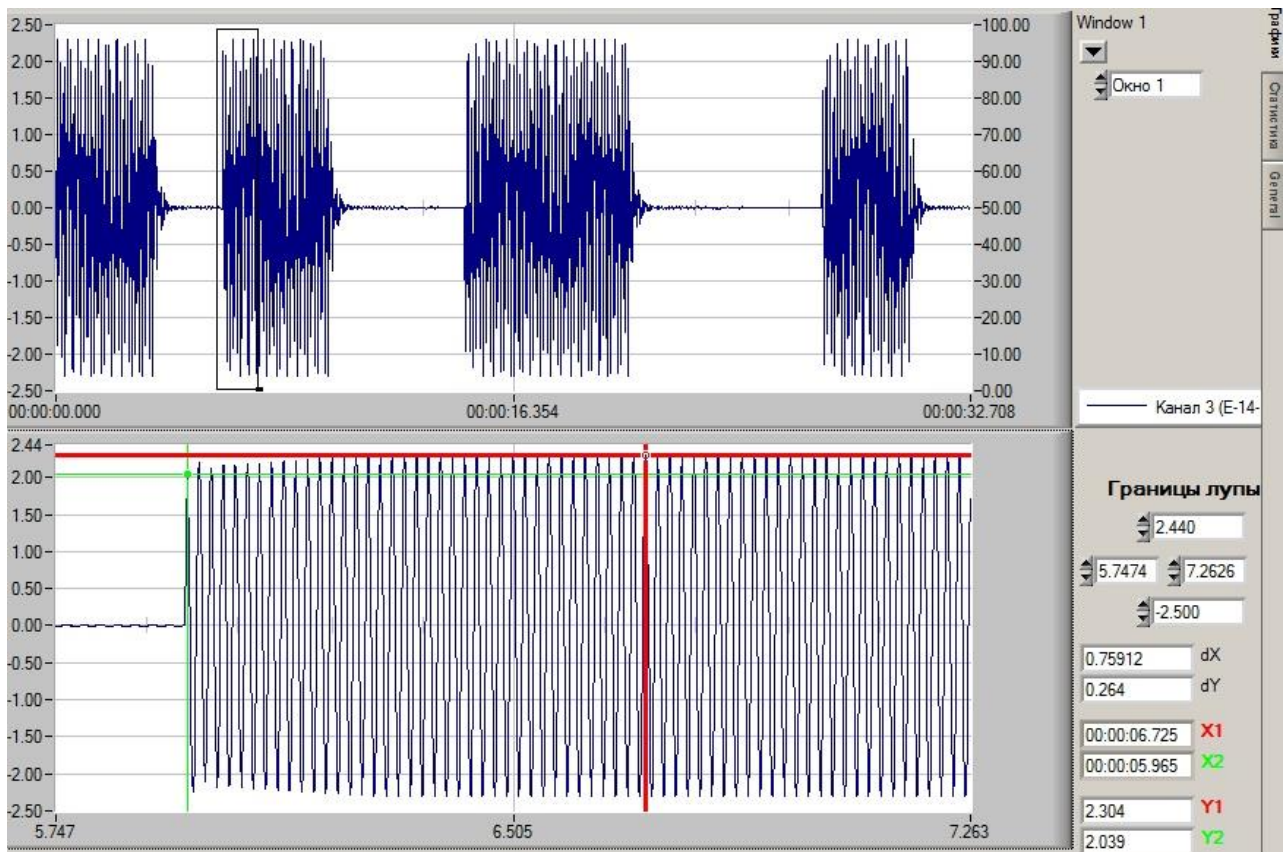


Рисунок 5. Осциллограмма электродвигателя при перерыве питания 1,50 с. по каналу контроля напряжения

Как видно из рисунков 4 и 5, при значительном снижении напряжения на зажимах электродвигателя и тем более при полном его отключении происходит выбег электродвигателя, т.е. снижение частоты его вращения. Значения тока и напряжения при перерыве питания снижаются почти до нулевых значений. Снижение частоты вращения происходит не до полной остановки двигателя. Связано это с тем, что ротор обладает большой инертностью в силу своей большой массы и самозапуск электродвигателя происходит до полной остановки. Это позволяет проводить также и опыт самозапуска, поскольку электродвигатель будет вращаться ещё с некоторой частотой.

После включения питания происходит самозапуск электродвигателя. Величина тока имеет характер возрастания, схожий с током при пуске электродвигателя. Однако имеет меньшее значение, поскольку при выбеге сопротивление двигателя растёт. Напряжение плавно возрастает до рабочего значения.

Действующее значение тока самозапуска электродвигателя при перерыве питания $t_{\text{пер}} = 1,49$ с будет определяться по формуле (3), А,

$$I_{\text{сз}} = (1,290 - 0,599 + 0,012) \cdot 2,87 \cdot 15 = 30,26. \quad (8)$$

Установившееся действующее значение напряжения электродвигателя при $t_{\text{пер}} = 1,50$ с будет определяться по формуле (6), В,

$$U_{\text{уст}} = 2,304 \cdot 42,8 \cdot 3,8 = 374,72. \quad (9)$$

Аналогичным образом определяются токи самозапуска электродвигателя и установившиеся значения напряжений при перерывах питания 3,88 и 5,87 с.

Осциллограммы представлены на рисунках 6-9. Значение тока самозапуска при больших перерывах питания соответственно возрастает по сравнению с предыдущими значениями.

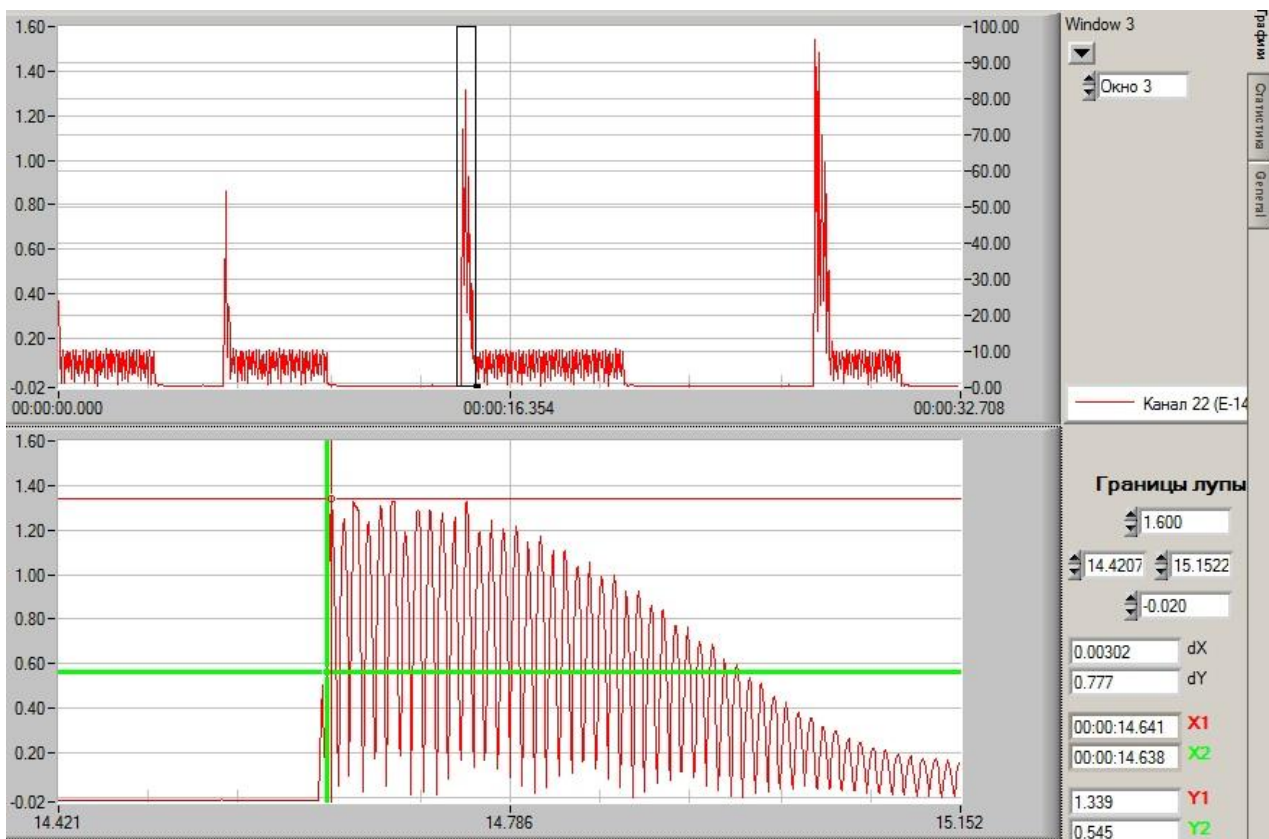


Рисунок 6. Осциллограмма электродвигателя при перерыве питания 3,88 с. по каналу контроля тока

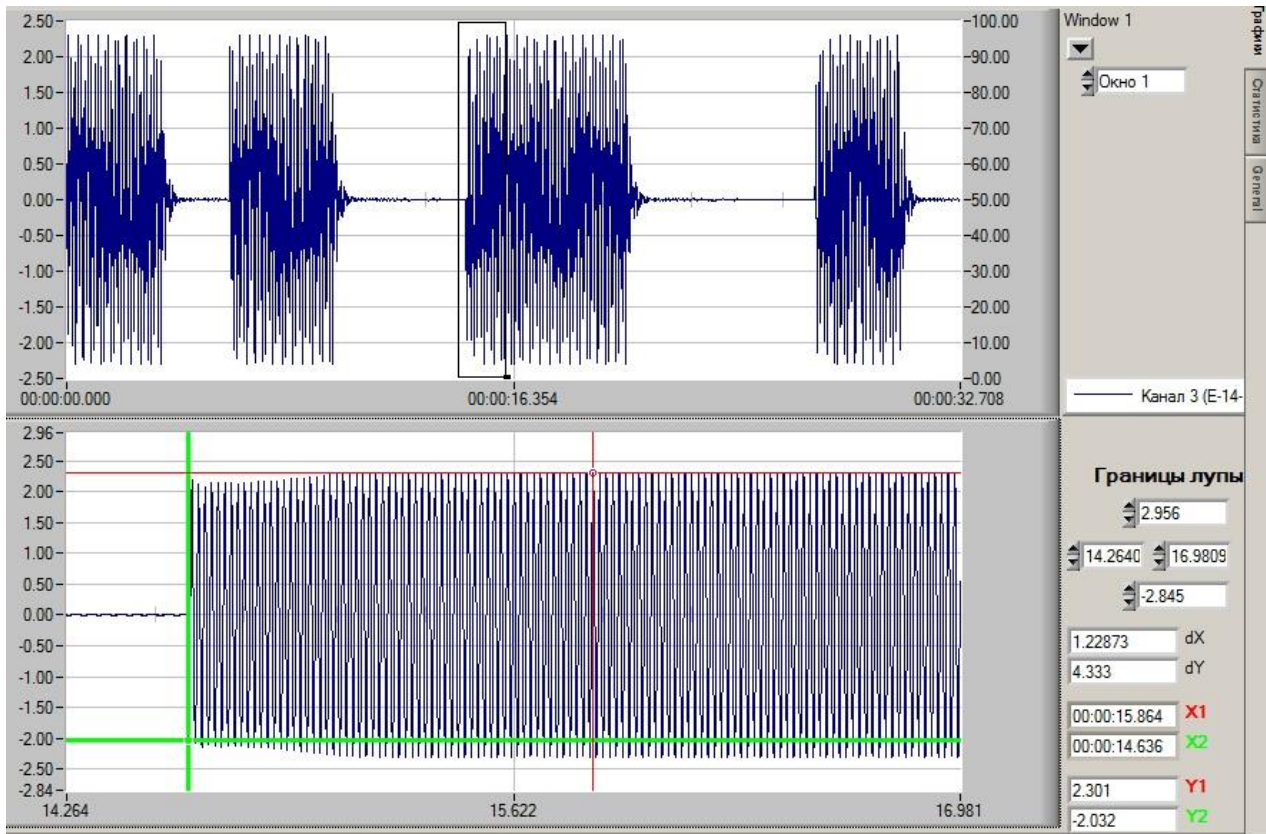


Рисунок 7. Осциллограмма электродвигателя при перерыве питания 3,92 с по каналу контроля напряжения

Действующее значение тока самозапуска электродвигателя при $t_{\text{пер}} = 3,88$ с, А,

$$I_{\text{сз}} = (1,339 - 0,545 + 0,012) \cdot 2,87 \cdot 15 = 34,70. \quad (10)$$

Установившееся действующее значение напряжения электродвигателя $t_{\text{пер}} = 3,92$ с, В,

$$U_{\text{уст}} = 2,301 \cdot 42,8 \cdot 3,8 = 374,23. \quad (11)$$

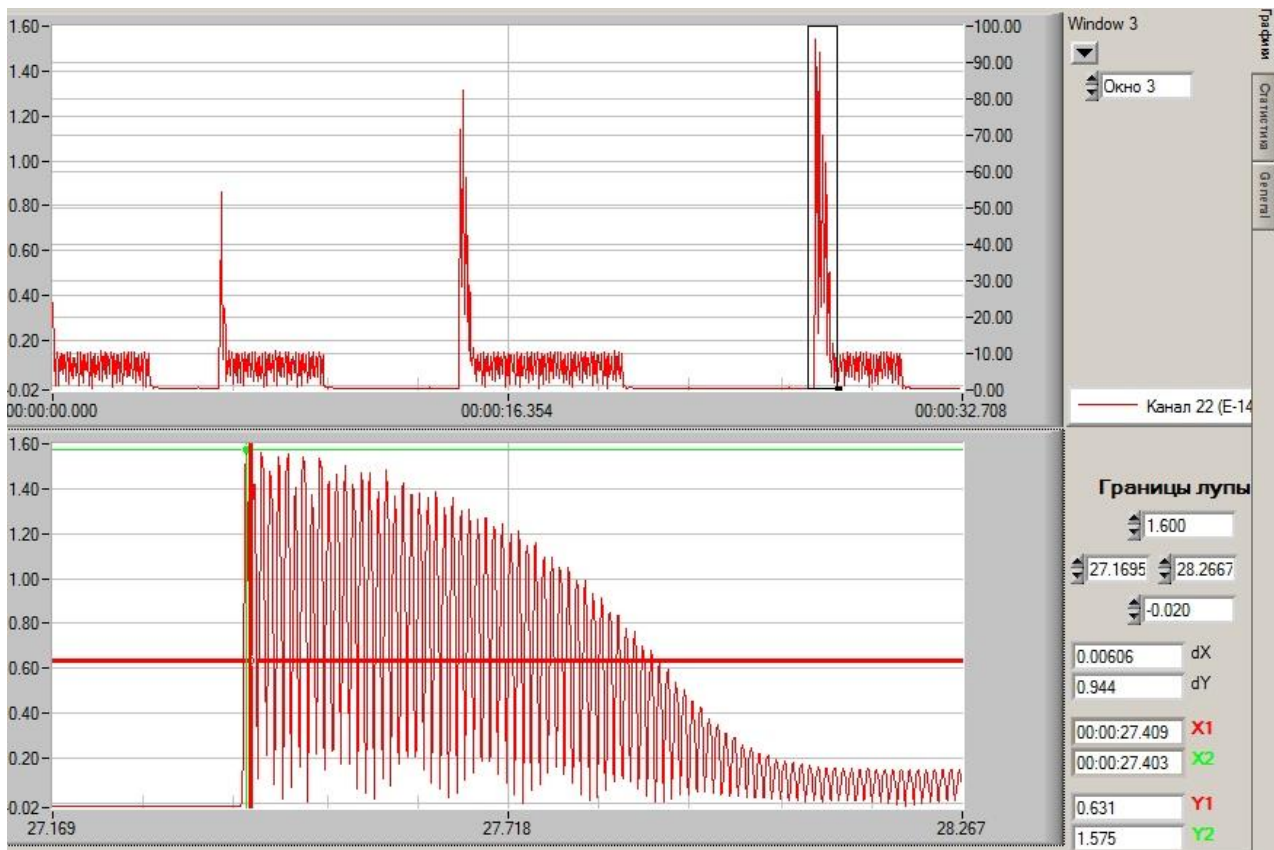


Рисунок 8. Осциллограмма электродвигателя при перерыве питания 5,87 с по каналу
контроля тока

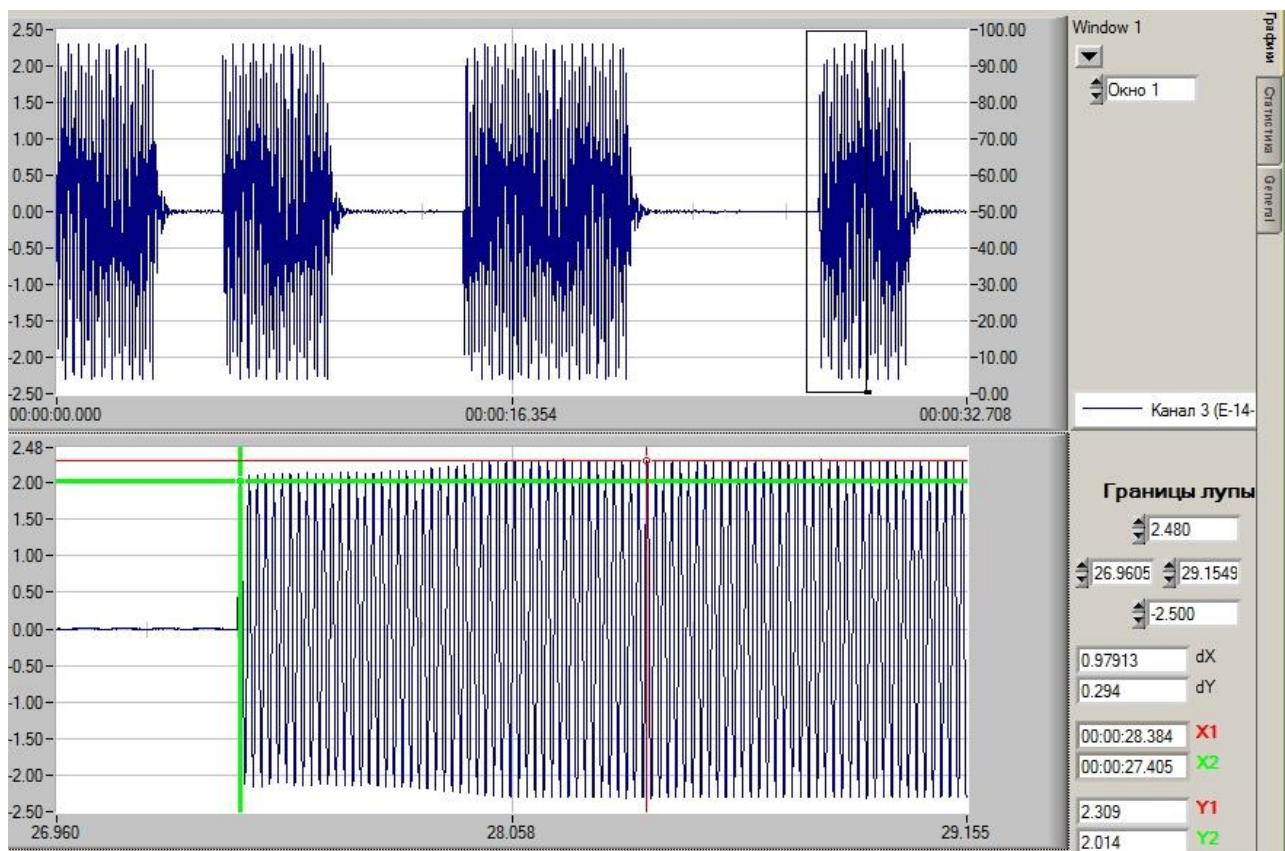


Рисунок 9. Осциллограмма электродвигателя при перерыве питания 5,88 с по каналу
контроля напряжения

Действующее значение тока самозапуска электродвигателя при $t_{пер} = 5,87$ с, А,

$$I_{сз} = (1,575 - 0,631 + 0,012) \cdot 2,87 \cdot 15 = 41,16. \quad (12)$$

Установившееся действующее значение напряжения электродвигателя при $t_{пер} = 5,88$ с, В,

$$U_{уст} = 2,309 \cdot 42,8 \cdot 3,8 = 375,54, \quad (13)$$

В таблице 2 приведены полученные данные экспериментальным путём и паспортные данные электродвигателя.

Таблица 2. Сравнительный анализ экспериментальных и паспортных данных двигателя А42-4

Параметр	Паспортные данные	Экспериментальные данные	Приведённая погрешность, %
U , В	380	375,54	1,17
I , А	6,1	5,98	1,97
$I_{п}$, А	42,7	41,24	3,42
$K_{п}$, о. е.	7	6,89	1,57

Исходя из представленных выше результатов, использование устройства контроля параметров пуска и самозапуска электродвигателя приводит к результатам с малой погрешностью.

Библиографический список:

1. Egonsky A. A., Kovalenko I. V. Analysis of self-starting of own needs of heat power plants. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2020, vol. 862, pp. 1-7. doi: 10.1088/1757-899X/862/6/062001.

2. Электродвигатели. Общие сведения [Электронный ресурс]: сайт содержит сведения о различных характеристиках и параметрах электродвигателей. – Санкт-Петербург, [2013-]. – Режим доступа: http://kskz.ru/stati_elektrodivigateli.

3. Моделирование привода погружного насоса интеллектуальной скважины: монография / А. В. Федотов [и др.]. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2012. – 175 с.

4. Усов С.В. Электрическая часть электростанций / Учебник для вузов. Под ред. С.В. Усова. – Л.: «Энергия», 1977. – 167-169 с.

5. Иванов В.С., Соколов В.И. Режимы потребления и качество электроэнергии систем электроснабжения промышленных предприятий: Учеб. пособие. – М.: Энергоатомиздат, 1987.