

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Тольяттинский государственный университет

Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»

А.С. Климов

ХАРАКТЕРИСТИКА КОНТАКТНЫХ СВАРОЧНЫХ МАШИН

Учебно-методическое пособие
по выполнению лабораторных работ
в условиях самоизоляции

Тольятти 2020

ХАРАКТЕРИСТИКА КОНТАКТНЫХ СВАРОЧНЫХ МАШИН

1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является приобретение навыков работы с методикой освоения данной контактной машины, расшифровки обозначения контактных машин по ГОСТ 297-80.

2 КЛАССИФИКАЦИЯ МАШИН ДЛЯ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ

Контактная машина состоит из следующих составных частей:

- 1) силовой электрической части – служит для выработки и подвода к свариваемым деталям сварочного тока;
- 2) привода сжатия соединяемых деталей и зажимных устройств – обеспечивают приложение сварочных усилий;
- 3) аппаратуры управления – задаёт требуемую последовательность работы машины по технологическому циклу, а также обеспечивающей взаимодействие всех частей машины;
- 4) системы водяного охлаждения активных частей машины.

Согласно ГОСТ 297-80 контактные машины общего назначения классифицируют по следующим признакам:

- 1) по виду сварного соединения: точечные, шовные, рельефные и стыковые;
- 2) по конструктивному оформлению самой машины: стационарные и подвесные (последние со встроенным или отдельными трансформаторами);
- 3) по роду сварочного тока: переменного тока – промышленной, повышенной и пониженной частоты, постоянного тока, конденсаторные;
- 4) по характеру усилия сжатия: с постоянным и переменным усилием;
- 5) по нормируемым техническим требованиям: группа А – повышенная стабильность режима и группа Б – нормальная стабильность режима.

Отклонение вторичного тока не должно отличаться не более чем на $-5...+10\%$ – для машин группы А и $\pm 10\%$ – для машин группы Б; отклонение длительности протекания сварочного тока от установленного значения для точечных, шовных и рельефных машин не должно превышать $\pm 2\%$ – для машин группы А и $\pm 10\%$ для машин группы Б; на машинах с пневматическим приводом должны устанавливаться манометры класса точности не ниже 1,5 – для машин группы А и 2,5 – для машин группы Б.

ГОСТ 297-80 также регламентирует условные обозначения контактных машин (рис. 1), которые позволяют извлечь полную информацию о типе и назначении машины. Обозначения состоят из одиннадцати символов-позиций:

1 – обозначение вида изделия (машина контактная).

2 – обозначение машины по видам соединения, получаемого при сварке (Т – точечная, Ш – шовная, Р – рельефная, С – стыковая).

3 – обозначение машины по конструктивному исполнению и (или) типу источника сварочного тока (В – с выпрямлением тока во вторичном контуре, К – конденсаторная, Н – низкочастотная, Р – радиальная, П – подвесная, С – стыковая сварка сопротивлением, О – стыковая сварка оплавлением). Если буквы нет, то источник переменного тока промышленной частоты.

4 – для точечных, рельефных и шовных машин указывается наибольший вторичный ток (в кА). Для стыковых машин отмечается максимальное усилие осадки (в кН).

5 – номер модификации машины.

6 – вид климатического исполнения по ГОСТ 15150-69*.

7 – группу А или Б в зависимости от нормируемых технических требований.

8 – напряжение питающей сети.

9 – частота питающей сети.

10 – слово «экспорт» (для экспортного варианта).

11 – обозначение технических условий на конкретную машину

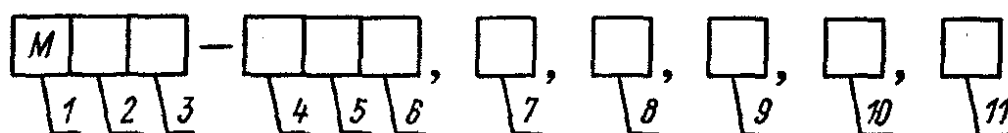


Рисунок 1 – Структура условного обозначения машины для контактной сварки общего назначения

Примеры обозначения и расшифровки:

МТ-1828, А, 380 В, 50 Гц – машина точечная переменного тока промышленной частоты, наибольший вторичный ток 18 кА, заводская модификация № 28, группа А, напряжение питающей сети 380 В, частота 50 Гц.

3 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНТАКТНЫХ МАШИН

Работа контактной сварочной машины протекает в специфических условиях, учёт которых производится при выборе и задании её основных параметров. Общим для всех машин является их работа в повторно-кратковременном режиме, при котором имеет место регулярное чередование времени работы $t_{св}$ (включения сварочного тока) и времени пауз t_n (выключения сварочного тока) (рис. 2). Отношение времени сварки $t_{св}$ к общему времени полного цикла $(t_{св} + t_n)$ обозначается *ПВ* и характеризует повторно-кратковременный режим:

$$ПВ = \frac{t_{св}}{t_{св} + t_n} 100\% . \quad (1)$$

Выбранное или спроектированное оборудование для сварки заданного узла должно обеспечивать выполнение поставленной технологической задачи наиболее экономичным путём. Это достигается путём соблюдения совокупности определённых параметров контактной машины, которые составляют её основную характеристику.

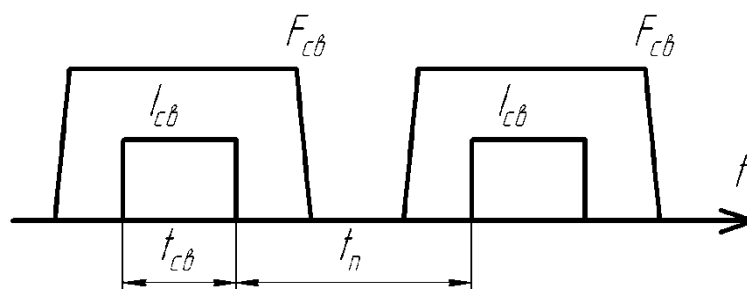


Рисунок 2 – К определению продолжительности включения повторно-кратковременного процесса контактной сварки

Для машин общего назначения в соответствии с ГОСТ 297-80 устанавливаются следующие основные параметры: наибольший вторичный ток $I_{2к\ max}$ и номинальный длительный вторичный ток $I_{2д.\ ном.}$

Наибольший вторичный ток $I_{2к\ max}$ – это ток, который проходит во вторичном (сварочном) контуре в режиме короткого замыкания на максимальной ступени сварочного трансформатора при номинальных значениях раствора и вылета сварочного контура. В предыдущем ГОСТ 297-73 одним из основных параметров был **номинальный вторичный ток $I_{2н}$** – ток, протекающий во вторичном контуре в процессе сварки деталей при номинальной продолжительности включения. Использование этого параметра было удобно пользователям и проектировщикам контактных машин, в том числе и для расчётов элементов вторичного контура. Однако измерение и контроль величины $I_{2н}$ крайне затруднительны. При испытаниях машины необходимо было между электродами устанавливать эталонные сопротивления, соответствующие по значению сопротивлениям заданных свариваемых металлов определённых толщин. Однако, как было показано в гл. 2, сопротивление $R_{э-э}$ изменяется в течение всего сварочного цикла в значительном диапазоне, что усложняет задание величины $I_{2н}$. Кроме того, проблематично и создание эталонных сопротивлений, узаконенных метрологическими службами. Всё это заставило перейти при классификации сварочных машин от номинального сварочного тока к наибольшему вторичному току.

При этом изменилось название ряда машин, хотя сами они остались неизменными. Так, например, машины МТ-1222, МТ-1618 и МТ-3201 обозначаются сейчас соответственно МТ-2202, МТ-1818 и МТ-4019.

Номинальный длительный вторичный ток $I_{2д. ном}$ – условный ток, непрерывное прохождение которого по вторичному контуру вызывает нагрев его элементов до температуры, не превышающей допустимое значение. В соответствии с ГОСТ 297-80 элементы вторичного контура контактных машин переменного тока не должны нагреваться более чем до 100 °С, а машин постоянного тока и низкочастотных машин – не более чем до 70 °С.

Длительный вторичный ток – это условный ток, который при непрерывном прохождении по вторичному контуру нагревает его части до той же температуры, что и реальный ток в повторно-кратковременном режиме. Действующий длительный вторичный ток $I_{2д}$ определяется соотношением

$$I_{2д} = I_2 \sqrt{\frac{ПВ}{100}}, \quad (2)$$

где I_2 – действующий реальный вторичный ток, включение которого производится с заданным $ПВ$.

При условии $I_{2д} > I_{2д. ном}$ элементы вторичного контура будут интенсивно нагреваться до температур, превышающих допустимые, поэтому выбор максимальной продолжительности включения $ПВ_{max}$ процесса сварки должно производиться с учётом заданного вторичного тока I_2 :

$$I_{2д. ном} > I_2 \sqrt{\frac{ПВ_{max}}{100}}. \quad (3)$$

При выборе сварочного оборудования с учётом (3) обычно принимают значения $ПВ$ для точечных машин, равное 20 %, шовных – 50 %, стыковых – 20...30 %.

В соответствии с ранее действующим ГОСТ 297-73 значения номинальных вторичного тока $I_{2н}$ и длительного вторичного тока $I_{2д. ном}$

связывались через номинальное значение продолжительности включения $ПВ_n$:

$$I_{2\partial.ном} = I_{2н} \sqrt{\frac{ПВ_n}{100}}. \quad (4)$$

Кроме основных параметров, контактная сварочная машина может характеризоваться дополнительными электрическими параметрами, которые напрямую связаны с её активными (омическими) и реактивными (индуктивными) сопротивлениями. Полное (общее) сопротивление $Z_{2к}$ сварочной машины в режиме короткого замыкания равно

$$Z_{2к} = \sqrt{(R_1' + R_2)^2 + (X_1' + X_2)^2}, \quad (5)$$

где R_2 и X_2 – активное и индуктивное сопротивления сварочного контура машины, включая вторичную обмотку трансформатора, Ом;

R_1' и X_1' – активное и индуктивное сопротивления первичной обмотки сварочного трансформатора, приведённые ко вторичной цепи:

$$R_1' = R_1 \left(\frac{w_2}{w_1} \right)^2; \quad X_1' = X_1 \left(\frac{w_2}{w_1} \right)^2, \quad (6)$$

где w_1 и w_2 – число витков в первичной и вторичной обмотках сварочного трансформатора.

Формулу (4.5) удобно переписать в виде

$$Z_{2к} = \sqrt{R_{2к}^2 + X_{2к}^2}, \quad (7)$$

где $R_{2к} = R_2 + R_1'$ – активное сопротивление короткого замыкания машины, приведённое к вторичному витку; $X_{2к} = X_2 + X_1'$ – индуктивное сопротивление короткого замыкания машины, приведённое к вторичному витку.

Наибольший вторичный ток $I_{2к\ max}$ может быть определён в зависимости от полного сопротивления $Z_{2к}$ сварочной машины в режиме короткого замыкания и максимального вторичного напряжения $U_{20\ max}$ сварочного трансформатора:

$$I_{2к\ max} = \frac{U_{20\ max}}{Z_{2к}}. \quad (8)$$

При сварке деталей полное сопротивление Z_2 сварочного контура контактной машины включает в себя также электрическое сопротивление между электродами $R_{ээ}$. Поэтому формулу (7) необходимо переписать как

$$Z_2 = \sqrt{(R_{2к} + R_{ээ})^2 + X_{2к}^2}. \quad (9)$$

Тогда сварочный ток I_2 определяется в зависимости от вторичного напряжения U_{20} сварочного трансформатора как

$$I_2 = \frac{U_{20}}{Z_2}. \quad (10)$$

С учётом формул (4)...(10) можно задать следующие дополнительные электрические параметры, характеризующие контактную машину и процесс сварки.

Наибольшая полная мощность при коротком замыкании $N_{к\ max}$ - мощность, забираемая из сети в режиме короткого замыкания на максимальной ступени сварочного трансформатора:

$$N_{к\ max} = U_{20\ max} \cdot I_{2к\ max} = I_{2к\ max}^2 Z_{2к}. \quad (11)$$

Номинальная полная мощность N_n - мощность, забираемая из сети при протекании через вторичный контур номинального тока $I_{2н}$ на номинальной ступени сварочного трансформатора $U_{20н}$:

$$N_n = U_{20н} \cdot I_{2н} = I_{2н}^2 Z_2. \quad (12)$$

Величина N_n долгое время (до 1973 года) использовалась как основная характеристика контактной машины, в том числе и для её маркировки (например МТП-75 – точечная машина с пневматическим приводом сжатия и номинальной полной мощностью 75 кВА, МШП-200 – шовная машина с пневматическим приводом сжатия и номинальной полной мощностью 200 кВА).

Наибольшая активная мощность при коротком замыкании $P_{к\ max}$ – активная мощность, потребляемая сварочной машиной из сети в режиме короткого замыкания на максимальной ступени сварочного трансформатора:

$$P_{к\ max} = R_{2к} \cdot I_{2к\ max}^2. \quad (13)$$

Коэффициент мощности в режиме короткого замыкания $\cos \varphi_k$ - величина, характеризующая отношение активной мощности к полной мощности, потребляемой контактной машиной из сети в режиме короткого замыкания:

$$\cos \varphi_k = \frac{P_{k \max}}{N_{k \max}}. \quad (14)$$

Величина $\cos \varphi_k$ может быть определена из треугольника сопротивлений (рис. 3).

Коэффициент мощности сварки $\cos \varphi$ - величина, характеризующая отношение активной мощности к полной мощности, потребляемой контактной машиной из сети в процессе сварки:

$$\cos \varphi = \frac{(R_{2k} + R_{\text{э-э}}) \cdot I_2^2}{U_{20} \cdot I_2}. \quad (15)$$

Анализ (14) и (15) позволяет установить, что всегда $\cos \varphi > \cos \varphi_k$.

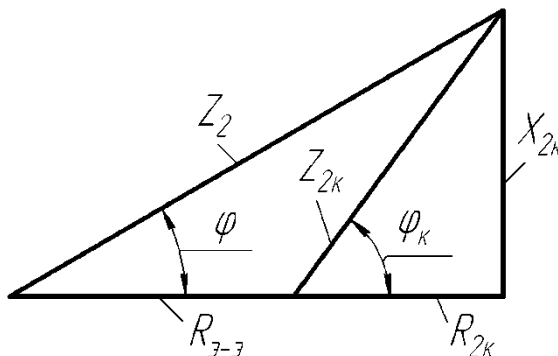


Рисунок 3 – Треугольник сопротивлений схемы замещения контактной сварочной машины

4 МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТРАНСФОРМАЦИИ НА СВАРОЧНЫХ ТРАНСФОРМАТОРАХ КОНТАКТНЫХ МАШИН

Для упрощения настройки контактной сварочной машины на режимы сварки применяется ступенчатое изменение вторичного напряжения сварочного трансформатора. Первичная обмотка делится на секции, отпайки

от каждой секции подсоединяют к переключателю ступеней трансформатора, где с помощью перемычек, ножей или рукояток осуществляют подключение различного числа первичных витков, а, значит, и требуемого коэффициента трансформации. Число ступеней регулирования вторичного напряжения обычно составляет 4...16.

В соответствии с ГОСТ 297-80 вторичное напряжение холостого хода сварочного трансформатора и коэффициент трансформации измеряют на всех ступенях регулирования. При этом допускается измерение коэффициента трансформации по ступеням сварочного трансформатора проверять как для установленного на машине, так и для отдельно взятого трансформатора.

Измерения напряжений со стороны первичного и вторичного контура сварочной машины производятся при полнофазном включении. Для этого необходимо исключить тиристорный контактор из первичной цепи сварочной машины, что производится путём его замыкания накоротко (рис. 4).

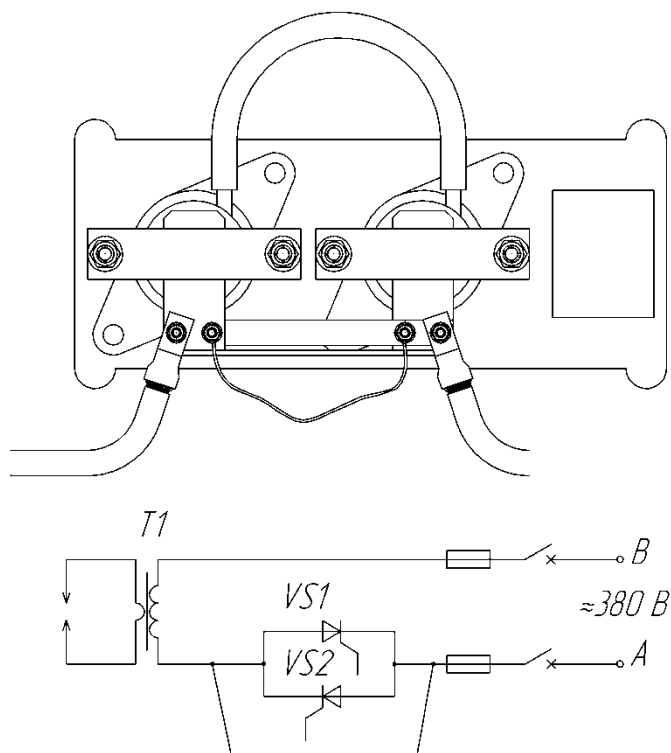


Рисунок 4. Соединение сварочного трансформатора $T1$ с сетью с исключением тиристорного контактора $VS1$ - $VS2$

Расчётное определение коэффициента трансформации на каждой ступени производят при помощи метода двух вольтметров. Для его осуществления включают сварочный трансформатор в режиме холостого хода и при помощи регистратора РКДП-0401 измеряют напряжение U_c со стороны первичной и напряжение U_{20} со стороны вторичной обмоток трансформатора (рис. 5). Коэффициент трансформации определяется как

$$K = \frac{U_1}{U_{20}}. \quad (16)$$

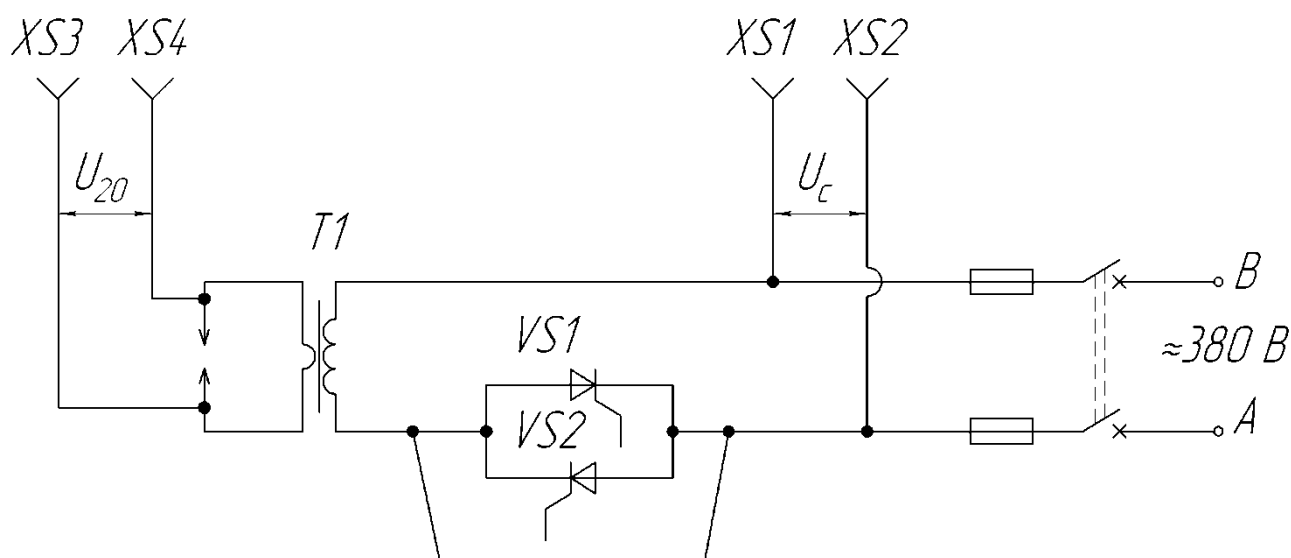


Рисунок 5 – Схема измерения напряжений со стороны первичной и вторичной обмоток сварочного трансформатора

Для измерения напряжения U_c со стороны первичной обмотки сварочного трансформатора подключаются зажимы XS1 и XS2, которые соединяются с каналом «3» или «4» посредством кабель адаптера на напряжение до 600 В. Для измерения напряжения U_{20} на сварочных электродах закрепляются зажимы XS3 и XS4, которые соединяются с каналом «3» или «4» посредством кабель адаптера на напряжение до 10 В.

Для измерения напряжения со стороны первичной и вторичной цепи сварочной машины необходимо произвести её подключение к сети напряжением 380 В посредством включения рубильника. При этом на первичную обмотку сварочного трансформатора сразу начнёт подаваться

сетевое напряжение. **ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕ СТУПЕНЕЙ
ТРАНСФОРМАТОРА ПРИ ВКЛЮЧЕННОЙ СВАРОЧНОЙ МАШИНЕ
НЕДОПУСТИМО!**

Таким образом, определение коэффициентов трансформации на каждой ступени необходимо производить в следующей последовательности.

1. Отключить сварочную машину и аппаратуру управления от сети.
2. Закоротить тиристорный контактор (согласно рис. 4).
3. Произвести подключение кабель адаптеров регистратора к первичной и вторичной цепям сварочной машины согласно схеме (рис. 5).
4. При помощи механизма переключения ступеней установить минимальную ступень сварочного трансформатора.
5. Посредством рубильника подключить сварочную машину к сети 380 В.
6. Произвести осциллографирование напряжений со стороны первичной и вторичной цепей сварочной машины.
7. Отключить сварочную машину и аппаратуру управления от сети.
8. При помощи механизма переключения ступеней установить следующую ступень сварочного трансформатора и повторить пункты 5-7 для всех ступеней регулирования.
9. Заполнить таблицу 1.

Таблица 1 – Вычисление коэффициента трансформации

№ ступени	Измеренное напряжение сети	Действующее вторичное напряжение холостого хода	Коэффициент трансформации
n	U_c	U_{20n}	K_n

5 МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ТОКА КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ НА ТОЧЕЧНЫХ МАШИНАХ

1. Установить на контактной машине минимальный раствор и вылет сварочных электродов.
2. На переключателе ступеней сварочного трансформатора установить максимальную ступень.
3. Установить датчик тока на вторичном контуре сварочной машины и подключить его к каналу «1» регистратора РКДП-0401.
4. Вращением рукояти редукционного клапана установить давление сжатого воздуха в сети машины 5 атм, ориентируясь на показания манометра, установленного на сварочной машине.
5. На регуляторе сварки установить минимальный угол открытия сварочных тиристоров и длительность сварки 6...10 периодов сетевого напряжения.
6. Произвести включение сварочной машины, расположив между электродами пластину из меди М1 или М2 толщиной 5...10 мм. В процессе включения снять показания о вторичном токе при помощи регистратора РКДП-0401.
7. Убедиться, что диаграмма вторичного тока близка к полнофазной и отсутствуют пропуски поджига тиристоров. В противном случае настроить регулятор сварки на больший угол включения тиристоров.
8. Повторить пункт 6 три раза и заполнить таблицу 2.
9. Произвести перерасчёт тока короткого замыкания на каждую ступень сварочного трансформатора, пользуясь соотношением

$$I_{2к} = I_{2к \max} \cdot \frac{U_{20}}{U_{20 \max}}, \quad (17)$$

где $I_{2к}$ – ток короткого замыкания на ступени сварочного трансформатора с напряжением холостого хода U_{20} .

10. Заполнить таблицу 2.3, при этом в столбце «Расчёт тока короткого замыкания» необходимо записать формулу (17) с подставленными значениями и результат расчёта по ней.

Таблица 2 – Результаты измерения максимального тока короткого замыкания

Наименование параметра		Обозначение, единицы измерения	Значение
1. Название сварочной машины в соответствие с паспортной табличкой			
2. Габариты вторичного контура (длина × высота)		$L \times H$, мм	
3. Максимальное напряжение холостого хода сварочного трансформатора		$U_{20 \max}$, В	
4. Принятый угол открытия тириستоров, использующийся в измерении		$\alpha_{\min}$, град	
5. Принятая длительность включения тока		$t_{св}$, периодов	
6. Измеренная величина вторичного тока к.з.	Измерение 1	$I_{2к \max}$, кА	
	Измерение 2		
	Измерение 3		
	Измерение 4		
	Измерение 5		
	Измерение 6		
	Среднее значение		

Таблица 3 – Вычисление тока короткого замыкания на ступенях сварочного трансформатора

№ ступени	Напряжение холостого хода U_{20} , В	Расчёт тока короткого замыкания $I_{2к}$, кА
1		
2		
...	...	...

6. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ АКТИВНОЙ И ИНДУКТИВНОЙ СОСТАВЛЯЮЩИХ КОМПЛЕКСНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ КОНТАКТНОЙ МАШИНЫ

1. С использованием регистратора РКДП-0401, датчика измерения вторичного тока (пояс Роговского) и кабель адаптера на 600 В собрать схему (рис. 6).

Для измерения напряжения U_c со стороны первичной обмотки сварочного трансформатора подключаются зажимы $XS1$ и $XS2$, которые соединяются с каналом «3» или «4» посредством кабель адаптера на напряжение до 600 В. Для измерения вторичного тока i_2 на токоведущем элементе вторичного контура закрепляется датчик тока (пояс Роговского), разъёмы $XS3$ и $XS4$ которого соединяются с каналом «1».

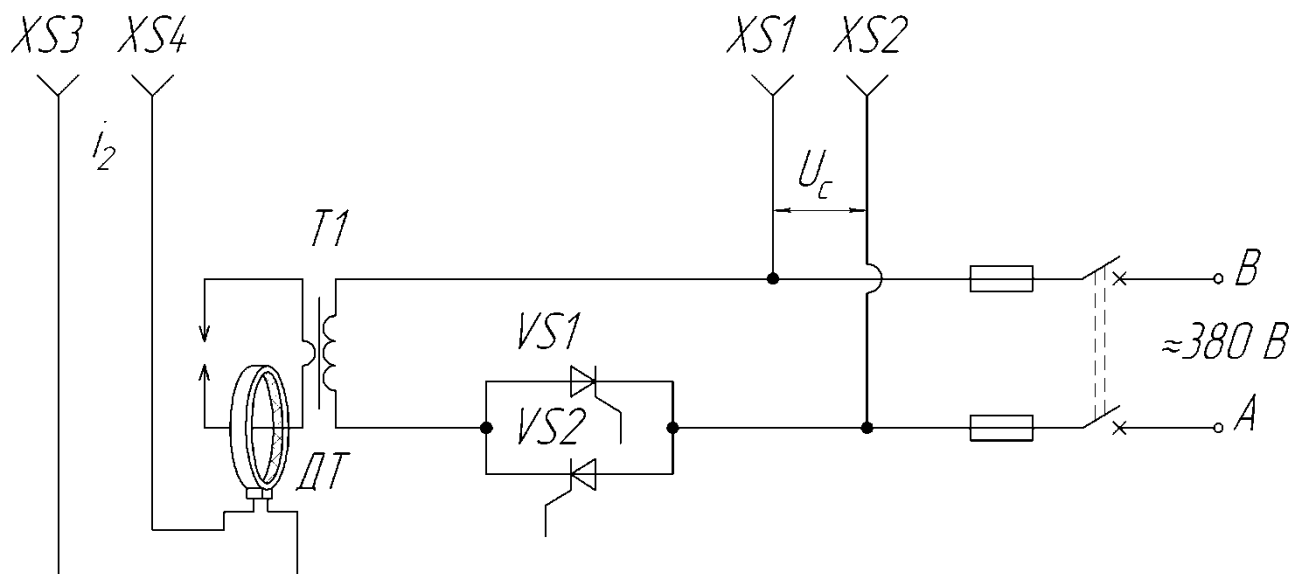


Рисунок 6 – Измерение вторичного тока i_2 и сетевого напряжения u_c на машинах контактной сварки

2. С использованием переключателя ступеней сварочного трансформатора установить номинальную ступень.
3. Вращением рукоятки редукционного клапана установить давление сжатого воздуха в сети машины 5 атм, ориентируясь на показания манометра, установленного на сварочной машине.
4. На регуляторе сварки установить угол открытия сварочных тиристорov $\alpha=90^\circ$ и длительность сварки 6...10 периодов сетевого напряжения.
5. Произвести включение сварочной машины, расположив между электродами пластину из меди М1 или М2 толщиной 5...10 мм. В процессе включения снять показания о вторичном токе и сетевом напряжении при помощи регистратора РКДП-0401.

6. Повторить п.5 шесть раз.

7. По диаграмме мгновенных значений напряжения u_c и тока i_2 для каждого включения определить длительность λ включения сварочных тиристоров (рис. 7) и рассчитать коэффициент мощности $\cos \varphi_{кз}$ короткого замыкания с использованием аппроксимирующей зависимости

$$\cos \varphi(\lambda, \alpha = 90^\circ) \approx 0,665\lambda^3 - 5,014\lambda^2 + 11,621\lambda - 7,600, \quad (18)$$

где λ в радианах.

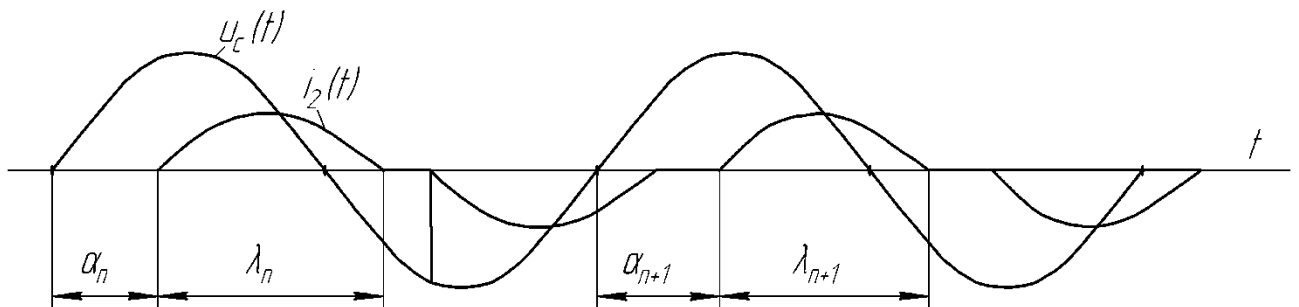


Рисунок 7 – Измерение длительности λ включения сварочных тиристоров по диаграмме мгновенных значений тока i_2 и напряжения u_c

8. По результатам ранее проведённого опыта короткого замыкания (табл. 3) определить полное сопротивление $Z_{2к}$ сварочной машины в режиме короткого замыкания:

$$Z_{2к} = \frac{U_{20н}}{I_{2кн}} = \frac{U_{20\max}}{I_{2к\max}}, \quad (19)$$

где $U_{20н}$ – вторичное напряжение холостого хода на номинальной ступени;

$I_{2кн}$ – ток короткого замыкания на номинальной ступени.

9. Произвести вычисление активной $R_{2к}$ и индуктивной $X_{2к}$ составляющих комплексного сопротивления $Z_{2к}$ сварочной машины в режиме короткого замыкания:

$$R_{2к} = Z_{2к} \cdot \cos \varphi_{кз}, \quad (20)$$

$$X_{2к} = Z_{2к} \cdot \sin \varphi_{кз} = Z_{2к} \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_{кз}}. \quad (21)$$

10. По результатам проведённых вычислений заполнить таблицу 4.

Таблица 4 – Результаты вычислений активной $R_{2к}$ и индуктивной $X_{2к}$ составляющих комплексного сопротивления $Z_{2к}$ сварочной машины

№ опыта	Измеренное по диаграмме значение λ , рад / град	Вычисленное согласно (18) значение $\cos \varphi_k$	Вычисленное согласно (20) значение $R_{2к}$, мкОм	Вычисленное согласно (21) значение $X_{2к}$, мкОм
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
6.				
Среднее значение				

7 ПОСТРОЕНИЕ ВОЛЬТАМПЕРНОЙ И НАГРУЗОЧНОЙ ХАРАКТЕРИСТИК СВАРОЧНОЙ МАШИНЫ

Вторичный ток в режиме полнофазного включения без учёта тока холостого хода может быть определён по формуле

$$I_2 = \frac{U_{20}}{\sqrt{(R_{2к} + R_{ээ})^2 + X_{2к}^2}} . \quad (22)$$

Формула (22) является уравнением нагрузочной характеристика контактной сварочной машины. Расчёт нагрузочных характеристик производится для каждой ступени сварочного трансформатора. Величина сопротивления $R_{ээ}$ участка «электрод-электрод» берётся в диапазоне от нуля (режим короткого замыкания) до бесконечности (режим холостого хода).

Внешняя характеристика машины $U_2=f(I_2)$ для значения напряжения U_{20} холостого хода на каждой ступени трансформатора может быть представлена уравнением

$$U_2(I_2) = \sqrt{U_{20}^2 - (X_{2к} I_2)^2} - R_{2к} I_2 . \quad (23)$$

Для определения значения I_2 в зависимости от установленного напряжения U_{20} холостого хода сварочного трансформатора и сопротивления $R_{ээ}$ удобно пользоваться не вольтамперной характеристикой, а

нагрузочной характеристикой (22), которая непосредственно выражает зависимость $I_2=f(U_{20}, R_{\Sigma\Sigma})$.

8 ПРОГРАММА РАБОТЫ

1. Получить у преподавателя задание на сварочную машину для снятия характеристик.
2. Ознакомиться с устройством и работой регистратора сварочных процессов РКДП-0401.
3. Произвести измерения коэффициентов трансформации на каждой ступени и заполнить таблицу 2.
4. Произвести измерения наибольшего вторичного тока и заполнить таблицу 2.
5. Произвести расчёт тока короткого замыкания для каждой ступени сварочного трансформатора и заполнить таблицу 3.
6. Определить активную и индуктивную составляющие комплексного сопротивления сварочной машины в режиме короткого замыкания и заполнить таблицу 4.
7. Произвести построение вольтамперной и нагрузочной характеристик для данной контактной машины.
8. Произвести расчёт электрических параметров характеристики сварочной машины и заполнить таблицу 5.
9. Зашифровать определённые ранее характеристики в условном обозначении данной контактной машины в соответствии с ГОСТ 297-80.
10. Ответить на контрольные вопросы.

Таблица 5 – Определение электрических параметров контактных сварочных машин

Наименование параметра	Обозначение	Примечание	Значение
1. Номинальное напряжение и частота питающей сети, В, Гц	U_c, f_c		
2. Количество ступеней регулирования вторичного напряжения (номинальная ступень)	$n(n_{ном})$		
3. Коэффициент трансформации на номинальной и максимальной ступенях	K_n, K_{max}	По паспортной таблице	
		$K_n = \frac{U_c}{U_{20n}}, K_{max} = \frac{U_c}{U_{20max}}$	
4. Значение вторичного напряжения на номинальной и максимальной ступенях трансформатора, В	U_{20n}, U_{20max}	По паспортной таблице	
		$U_{20n} = \frac{U_c}{K_n}, U_{20max} = \frac{U_c}{K_{max}}$	
5. Наибольший вторичный ток, кА	I_{2kmax}	Измеряется	
6. Номинальный первичный ток, А	I_{1n}	По паспортной таблице	
		$I_{1n} = \frac{I_{2n}}{K_n}$	
7. Номинальный вторичный ток, кА	I_{2n}	По паспортной таблице	
		$I_{2n} = I_{1n} \cdot K_n$	
		$I_{2n} = I_{2д ном} \sqrt{\frac{100}{ПВ_n}}$	
8. Номинальная продолжительность включения, %	$ПВ$	По паспортной таблице	
		$ПВ_n = \left(\frac{I_{2д ном.}}{I_{2n}}\right)^2 \cdot 100$	
9. Номинальный длительный вторичный ток, А	$I_{2д. ном}$	По паспортной таблице	
		$I_{2д. ном} = I_{2n} \sqrt{\frac{ПВ_n}{100}}$	
10. Полное сопротивление сварочной машины в режиме короткого замыкания, мкОм	$Z_{2к}$	$Z_{2к} = \frac{U_{20max}}{I_{2к max}}$	
11. Наибольшая полная мощность при коротком замыкании, кВА	$N_{к max}$	$N_{к max} = U_{20max} \cdot I_{2к max}$ $= I_{2к max}^2 Z_{2к}$	
12. Номинальная полная мощность, кВА	N_n	По паспортной таблице	
		$N_n = U_{20n} \cdot I_{2n}$ $= I_{2n}^2 Z_2$	
13. Коэффициент мощности в режиме короткого замыкания	$\cos \varphi_k$	Рассчитывается по п. 2.6	
14. Активное сопротивление короткого замыкания машины, приведённое к вторичному витку	$R_{2к}$	$R_{2к} = Z_{2к} \cdot \cos \varphi_k$	
15. Наибольшая активная мощность при коротком замыкании, Вт	$P_{к max}$	$P_{к max} = R_{2к} \cdot I_{2к max}^2$	

9 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА

1. Цель работы
2. Описание контактной сварочной машины (Приложение 1, Фотоотчёт 1).
3. Измерение коэффициентов трансформации (Фотоотчёт 2):
 - 3.1) Методика измерения коэффициента трансформации на каждой ступени сварочного трансформатора;
 - 3.2) Результаты измерений напряжения сети и вторичного напряжения для каждой ступени сварочного трансформатора (Приложение 2) – записать в табл. 1;
 - 3.3) Результаты вычисления коэффициентов трансформации для каждой ступени – записать в табл. 1 (вместе с промежуточными вычислениями).
4. Измерение тока короткого замыкания (Фотоотчёт 3)
 - 4.1) Методика измерения тока короткого замыкания;
 - 4.2) Результаты измерения тока короткого замыкания для данной машины (Приложение 3) – записать в табл. 2;
 - 4.3) Расчёт тока короткого замыкания для каждой ступени трансформатора – записать в табл. 3 (вместе с промежуточными вычислениями).
5. Измерение активной и индуктивной составляющих комплексного сопротивления контактной машины (Фотоотчёт 4)
 - 5.1) Методика определения активной и индуктивной составляющих полного сопротивления контактной машины;
 - 5.2) Диаграммы тока и напряжения (Приложение 4);
 - 5.3) Результаты измерения по диаграмме тока и напряжения длительности включенного состояния тиристоров для шести периодов – записать в табл. 4;

- 5.4) Расчёт коэффициента мощности, активного и индуктивного сопротивлений для шести периодов – записать в табл. 4 (вместе с промежуточными вычислениями).
6. Построение вольтамперной и нагрузочной характеристик для данной машины:
- 6.1) Методика построения нагрузочной характеристики контактной машины;
 - 6.2) Построение нагрузочной характеристики контактной машины (приложение 5), которое может быть выполнено с привлечением автоматизированных вычислений или «вручную» (тогда необходимо представить промежуточные построения);
 - 6.3) Методика построения вольтамперной характеристики контактной машины;
 - 6.4) Построение вольтамперной характеристики контактной машины (приложение 6), которое может быть выполнено с привлечением автоматизированных вычислений или «вручную» (тогда необходимо представить промежуточные построения).
7. Электрические параметры данной контактной машины – заполнить таблицу 5.
8. Условное обозначение контактной машины в соответствии с ГОСТ 297-80 с расфигуркой каждой позиции.
9. Ответы на контрольные вопросы.

10 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1. Перечислите основные электрические параметры характеристики контактной сварочной машины.
- 2. Из каких основных элементов состоит контактная машина для точечной сварки? Описать назначение, особенности, разновидности каждого элемента.

3. Назовите основные особенности трансформаторов для контактных сварочных машин. Из каких элементов они состоят, их основные разновидности?
4. Какие бывают переключатели ступеней трансформаторов контактных сварочных машин?
5. Чем отличается фактическая продолжительность включения от расчётной?
6. Что такое номинальный вторичный ток, длительный вторичный ток и наибольший вторичный ток? Какие их величины для данной машины?
7. В чём состоит сущность коэффициента мощности контактной сварочной машины в режиме короткого замыкания и в режиме сварки, от каких величин зависит его значение?
8. Как происходит фазовое регулирование тока на машинах контактной сварки?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1) Климов, А.С. Контактная сварка. Вопросы управления и повышения стабильности качества. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011. – 216 с.
- 2) Оборудование для контактной сварки: Справочное пособие / Под ред. В.В. Смирнова. – СПб.: Энергоатомиздат, 2000. – 848 с.
- 3) Климов, А.С. Основы технологии и построения оборудования для контактной сварки / А.С. Климов, И.В. Смирнов, А.К. Кудинов, Г.Э. Кудинова // Санкт-Петербург : Лань, 2011. – 336 с.
- 4) ГОСТ 297-80. Машины контактные. Общие технические условия. – Введ. 1983-01-01. – М. : Изд-во стандартов, 1981. – 27 с.
- 5) Банов, М.Д. Технология и оборудование контактной сварки / М.Д. Банов. – М: Издательский центр «Академия», 2005. – 224 с.

Приложение 1 – Описание контактной сварочной машины МТПУ-300

Машина МТПУ-300 предназначена для электрической контактной точечной сварки деталей из нержавеющей стали толщиной до 3+3 мм, из лёгких сплавов толщиной 1,5+1,5 мм, а так же крестообразных соединений стержней арматуры классов В1, А1, А2, А3. Роликовые направляющие, плавное регулирование рабочего хода и дополнительный ход верхнего электрода, возможность перемещения нижней контактной части в вертикальном направлении и стабильное давление между сварочными электродами, не зависящее от их износа, обеспечивают удобство в эксплуатации, высокую производительность и высокие качества получаемых соединений. Машина МТПУ-300 (рис. П-1) состоит из сварного корпуса 1, сварочного трансформатора 2, переключателя ступеней 3, направляющего устройства 4, токоподвода 5, привода давления 6, системы охлаждения 7.

На верхней плоскости корпуса закреплены электромагнитные пневматические клапаны 8, лубрикатор 9 и редукционный клапан 10. На лицевой стороне боковой поверхности кронштейна корпуса закреплён кран 11 для управления воздухом, поступающим в камеру привода давления 6. На заднем щитке корпуса монтируется регулятор времени 12, коробка зажимов 13 и электрический выключатель 14. Машина снабжается переносной педальной кнопкой 15.

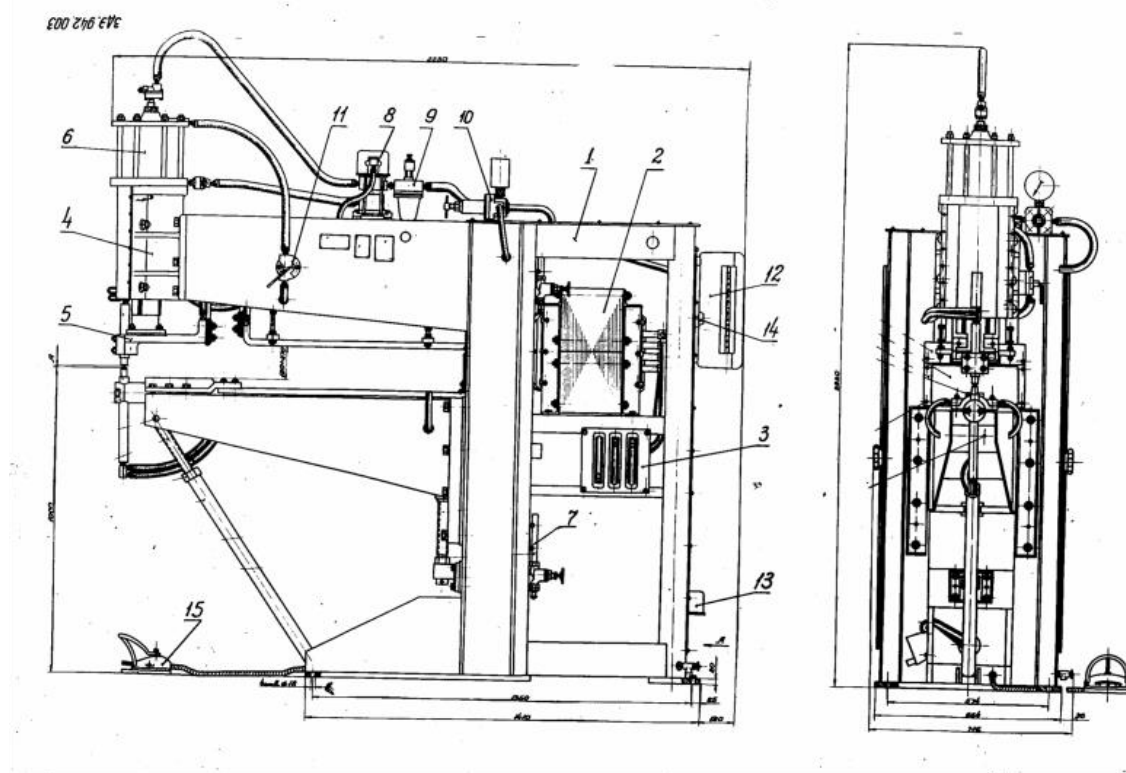


Рисунок П-1 – Машина для контактной сварки МТПУ-300

Фотоотчёт 1 – Ознакомление с контактной машиной МТПУ-300



Общий вид



Вторичный контур



Регулятор контактной сварки



Трансформатор



Система привода сжатия



Паспортная табличка

Фотоотчёт 2 – Измерение коэффициентов трансформации



Сварочный
трансформатор

Механизм
переключения ступеней

Тиристорный контактор



Тиристорный контактор



«Крокодилы»



«Обход» контактора



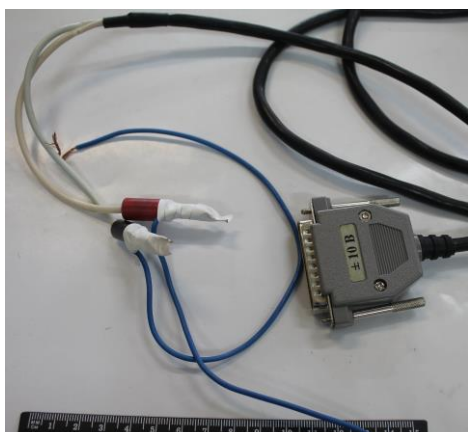
Регистратор РКДП-0401



Датчик первичного напряжения (до 600 В)



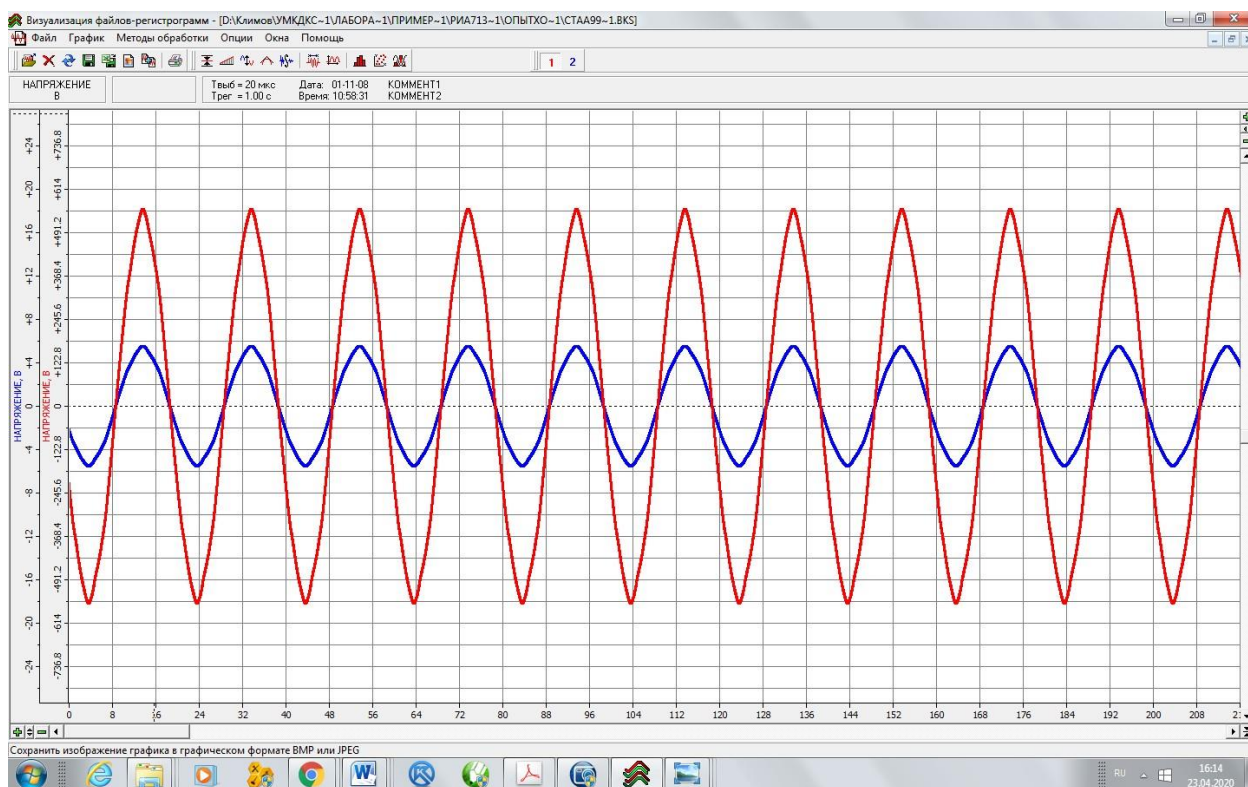
Подключение датчика первичного напряжения со стороны первичной обмотки трансформатора в силовом шкафу сварочной машины



Датчик вторичного напряжения (до 10 В)



Подключение датчика вторичного напряжения со стороны вторичной обмотки трансформатора к электрододержателям сварочной машины



Пример осциллограмм сетевого (красная) и вторичного (синяя) напряжений

**Приложение 2 – Результаты измерений напряжения сети и вторичного
напряжения для каждой ступени сварочного трансформатора**

№ ступени	Измеренное напряжение сети, В	Действующее вторичное напряжение холостого хода, В
n	U_c	U_{20n}
1	370	2,64
2	385	2,96
3	380	3,17
4	361	3,28
5	384	3,84
6	376	4,18
7	389	4,86
8	374	5,34
9	381	5,44
10	377	5,80
11	368	6,13
12	394	7,16
13	391	7,82
14	375	8,33
15	382	9,55
16	381	10,89

Фотоотчёт 3 – Измерение тока короткого замыкания

ВТОРИЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ					
СТУПЕНИ	ПОЛОЖЕНИЯ НОЖЕЙ			СОЕДИНЕНИЕ НА	ВОЛЬТ
ПЕНИ	1	2	3	ДОСКЕ ЗАЖИМОВ	
1	2			ПОСЛЕДОВА- ТЕЛЬНО	2,32
2	1	2			2,50
3	2		2		2,71
4	1				2,95
5	2				3,25
6	1	2		ПАРАЛЛЕЛЬНО	3,61
7	2		1		4,05
8	1				4,65
9	2	2			4,65
10	1		2		5,00
11	2	1			5,41
12	1				5,90
13	2				6,50
14	1	2			7,22
15	2		1		8,12
16	1				9,30

Таблица ступеней трансформатора



Установка максимальной ступени трансформатора («1-1-1»)



Датчик тока разомкнут и готов к установке



Датчик тока установлен на нижнем хоботе вторичного контура



Регулятор сварки настроен на минимальный угол открытия сварочных тиристоров



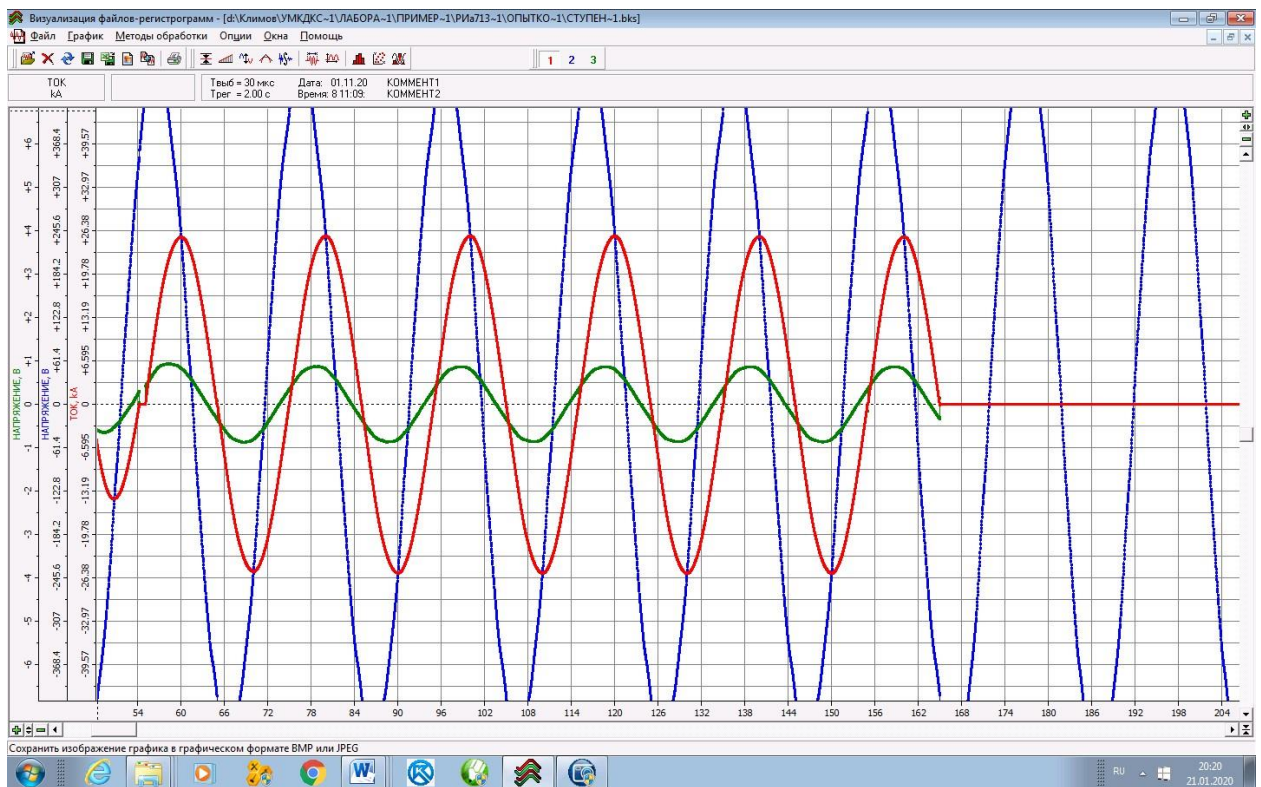
Установка на регуляторе сварки длительности импульса тока 6 периодов



Датчик тока подключён к каналу «1»
регистратора РКДП-0401



Пластина из меди М2 толщиной
10 мм размещена между
электродами



Пример осциллограмм тока (красная) и сетевого напряжения (синяя) в
режиме полнофазного включения

Приложение 3 – Результаты измерения тока короткого замыкания

№ пп	Наименование параметра		Обозначение, единицы измерения	
1.	Название сварочной машины в соответствие с паспортной табличкой			МТПУ-300
2.	Габариты вторичного контура (длина × высота)		$L \times H$, мм	480 x 250
3.	Максимальное напряжение холостого хода сварочного трансформатора		$U_{20\ max}$, В	10,86
4.	Принятый угол открытия тириستоров, использующийся в измерении		α_{min} , град	60
5.	Принятая длительность включения тока		$t_{св}$, периодов	6
6.	Измеренная величина вторичного тока к.з.	Измерение 1	$I_{2к\ max}$, кА	36,1
		Измерение 2		36,0
		Измерение 3		36,4
		Измерение 4		35,9
		Измерение 5		35,8
		Измерение 6		36,0
		Среднее значение		36,0

Фотоотчёт 4 – Измерение активной и индуктивной составляющих комплексного сопротивления контактной машины



Регистратор РКДП-0401,
блок питания регистратора,
датчик вторичного тока
и датчик первичного
напряжения



Датчик первичного напряжения
подключен к питающей сети



Датчик тока установлен на нижнем
хоботе вторичного контура

ВТОРИЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ				
СТУ-ПОЛОЖЕНИЯ	НОЖЕЙ СОЕДИНЕНИЕ НА			ВОЛЬТ
ПЕНИ	1	2	3	ДОСКЕ ЗАЖИМОВ
1	2			2.32
2	1	2		2.50
3	2		2	2.71
4	1	1		2.95
5	2			3.25
6	1	2		3.61
7	2		1	4.05
8	1	1		4.65
9	2			4.65
10	1	2		5.00
11	2		2	5.41
12	1	1		5.90
13	2			6.50
14	1	2		7.22
15	2		1	8.12
16	1	1		9.30

Таблица ступеней
трансформатора



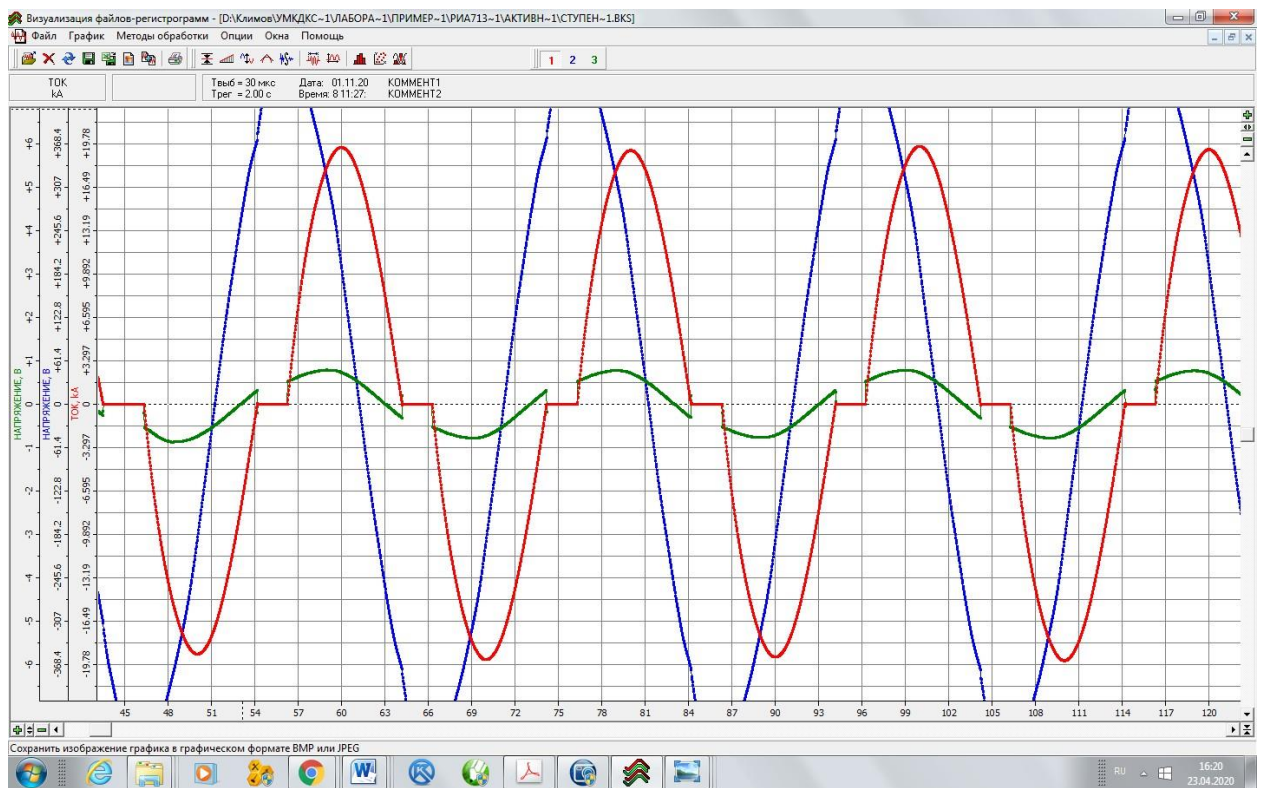
Установка номинальной (15-й)
ступени трансформатора («2-1-1»)



Пластина из меди М2 толщиной 10 мм размещена между электродами

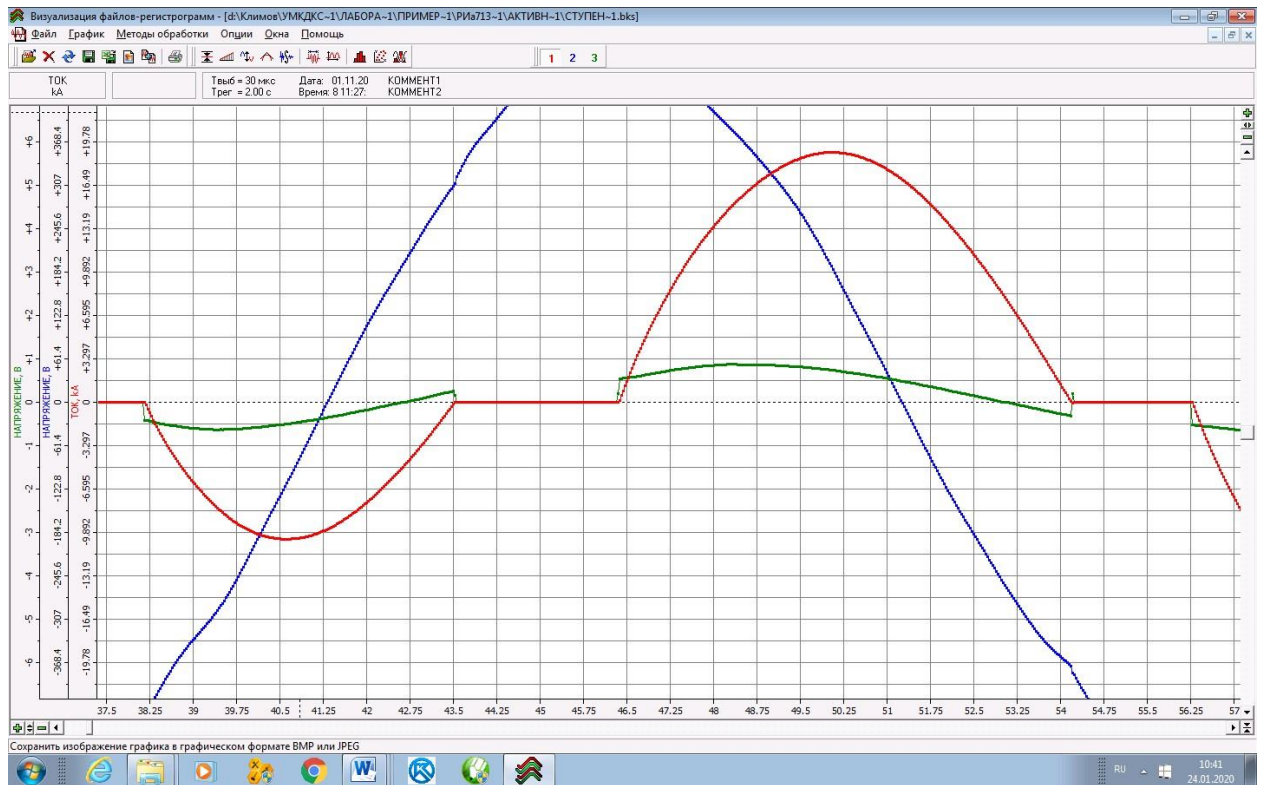


Настройка регулятора контактной сварки на угол открытия тиристоров 90 электрических градусов

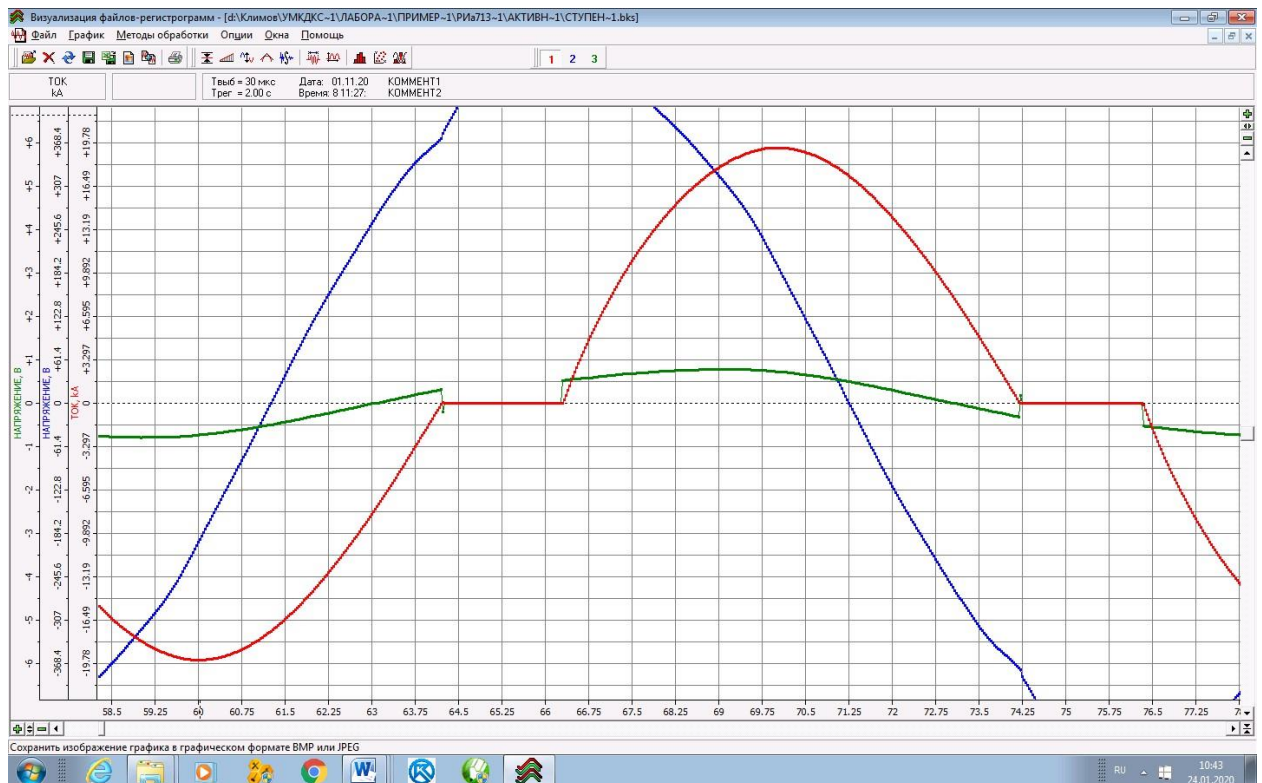


Пример осциллограмм вторичного тока (красная) и сетевого напряжения (синяя) при фазовом регулировании сварочного тока (угол открытия тиристоров 90 электрических градусов)

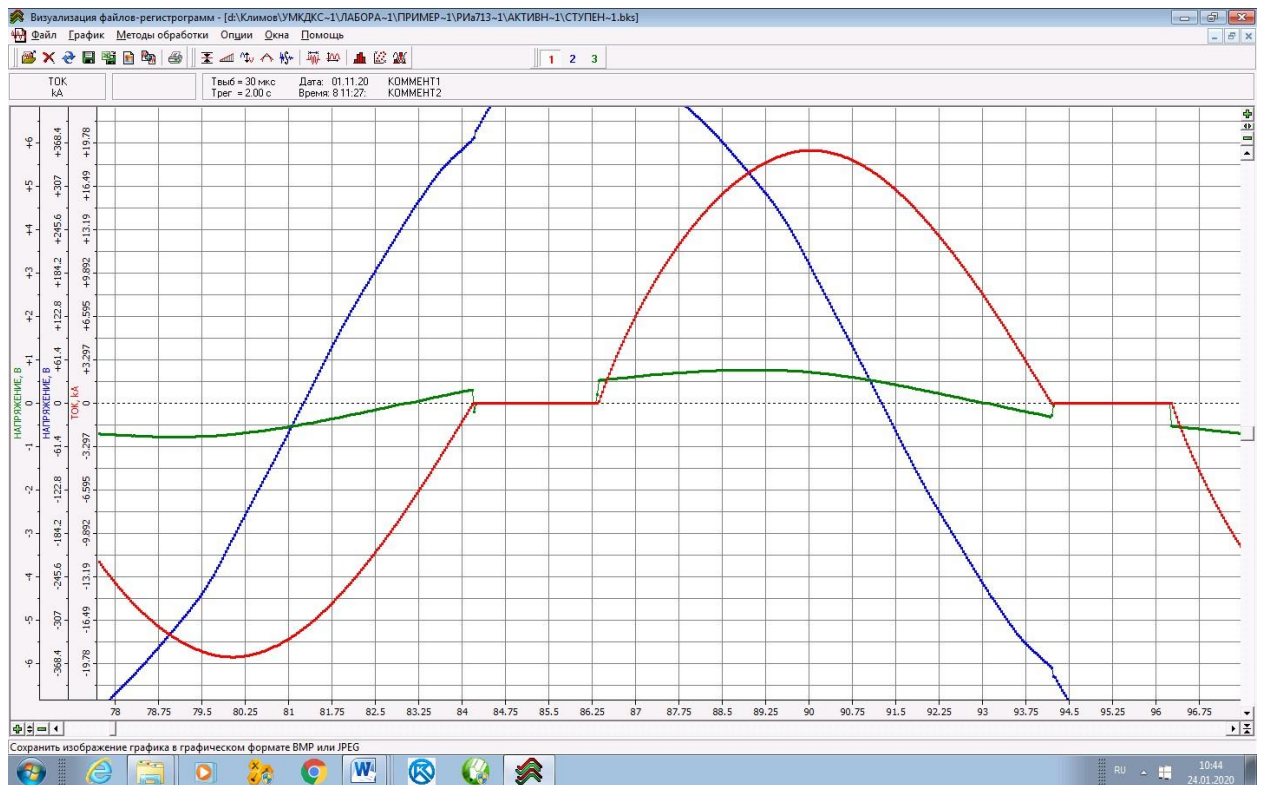
Приложение 4 – Диаграммы тока и напряжения для определения длительности включенного состояния тиристоров



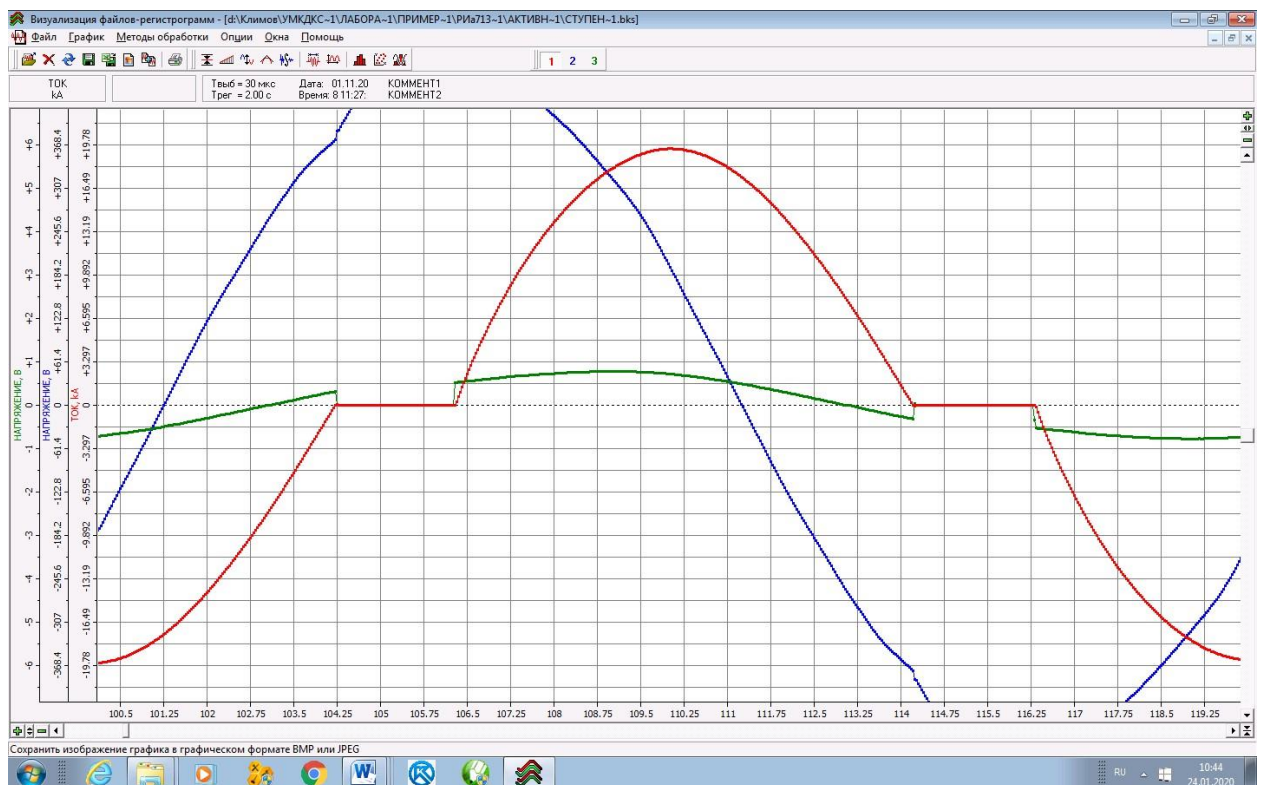
1-е измерение



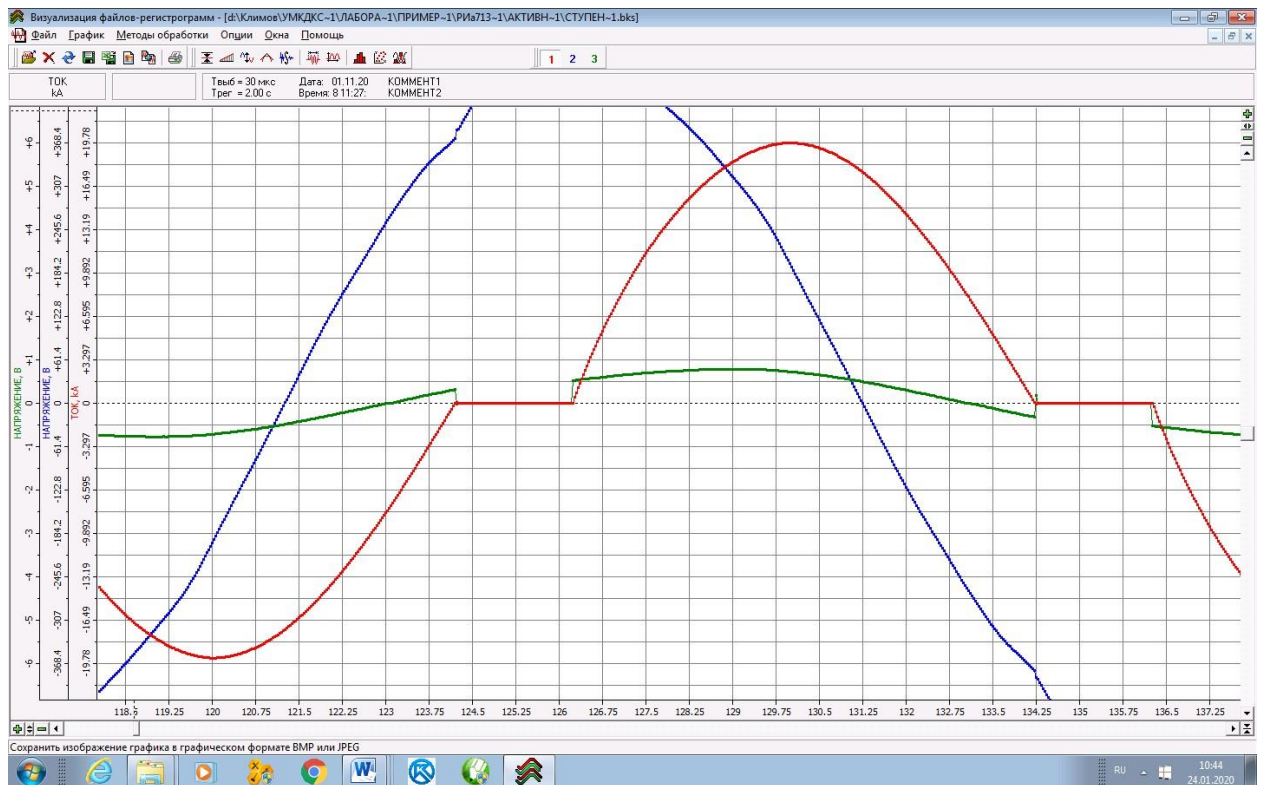
2-е измерение



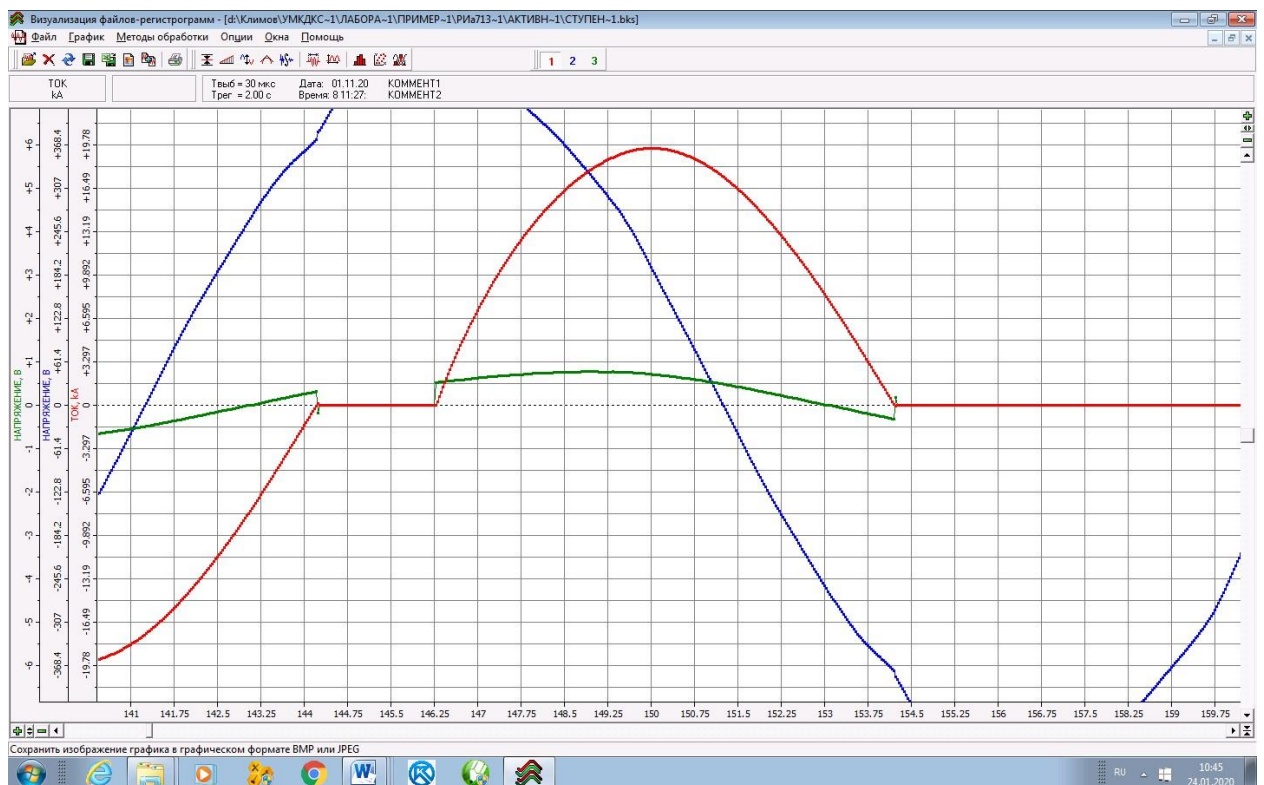
3-е измерение



4-е измерение



5-е измерение



6-е измерение

Приложение 5 - Построение нагрузочной характеристики контактной машины

Вторичный ток в режиме полнофазного включения без учёта тока холостого хода может быть определён по формуле

$$I_2 = \frac{U_{20}}{\sqrt{(R_{2к} + R_{\text{э}})^2 + X_{2к}^2}} \quad (22)$$

В системе MathCAD для каждой ступени трансформатора построим график функции $I_2 = f(U_{20}, R_{\text{э}})$ согласно уравнению (22).

$U_c := 380$

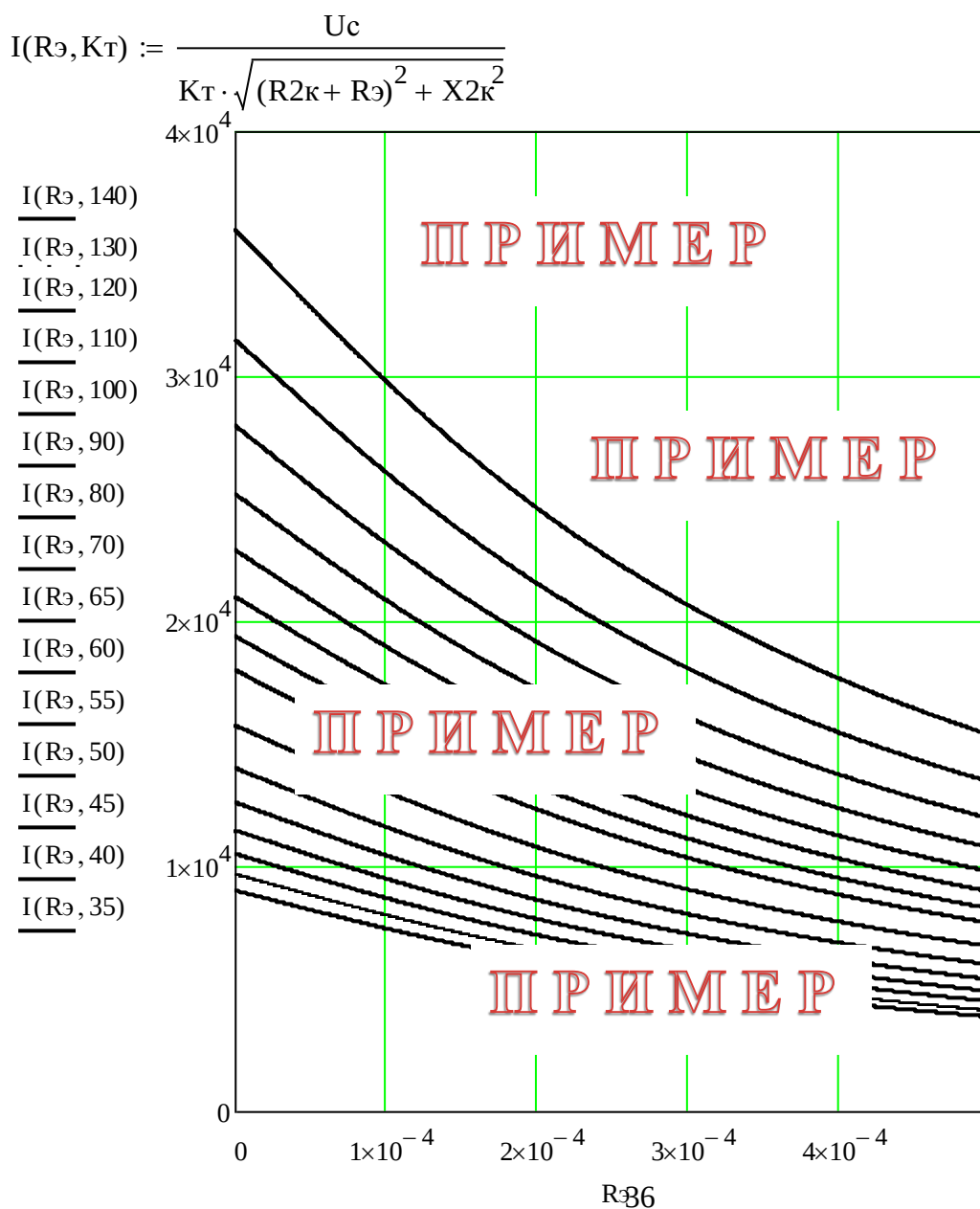
Действующее сетевое напряжение, В

$R_{2к} := 158 \cdot 10^{-6}$

Активное сопротивление машины, Ом

$X_{2к} := 257 \cdot 10^{-6}$

Индуктивное сопротивление машины, Ом



Приложение 6 - Построение вольтамперной характеристики контактной машины

Внешняя характеристика машины $U_2=f(I_2)$ для значения напряжения U_{20} холостого хода на каждой ступени трансформатора может быть представлена уравнением

$$U_2(I_2) = \sqrt{U_{20}^2 - (X_{2к} I_2)^2} - R_{2к} I_2. \quad (23)$$

В системе MathCAD для каждой ступени трансформатора построим график функции $U_2=f(I_2)$ согласно уравнению (23).

$U_c := 380$	Действующее сетевое напряжение, В
$R_{2к} := 158 \cdot 10^{-6}$	Активное сопротивление машины, В
$X_{2к} := 257 \cdot 10^{-6}$	Индуктивное сопротивление машины, В

$$U_2(I_2, K_T) := \sqrt{\left(\frac{U_c}{K_T}\right)^2 - (X_{2к} \cdot I_2)^2} - R_{2к} \cdot I_2$$

