

# Интернет-Диагностика ТПЧ

---

## Контроллер C5 пятого поколения для серии ТПЧ

**Александр Николаевич Юлегин, к.т.н.**

**22.05.2012**

Сервисная система Интернет-Диагностика ТПЧ на базе Контроллера C5 (кратко C5 Диагностика) располагается по адресу [www.aljuel.eu/c5/index.html](http://www.aljuel.eu/c5/index.html), где на веб-странице отображается сводная таблица Осциллограмм, поступающих на сервер со всех ТПЧ. Предлагаемая система классификации Осциллограмм позволяет по строгим правилам фиксировать для каждой Осциллограммы результат ее подробного обследования – Диагноз. Строгие и краткие записи Диагнозов многих сотен или тысяч Осциллограмм в совокупности представляют результаты обширных исследований. В сложных случаях, чтобы установить правильный Диагноз одной Осциллограммы, приходится анализировать группу Осциллограмм и поднимать историю «болезни». Веб-приложение C5 Диагностика является фундаментом «быстрого реагирования» в эксплуатации и одновременно мощным инструментом для выявления характерных «болячек» ТПЧ, что создает основы для совершенствования продукции.

## Оглавление

Ссылки на таблицы .....	1
1. Этапы внедрения C5 Диагностики .....	2
2. Постановка задачи, понятие Диагноза.....	2
3. Используемые термины и обозначения .....	5
4. Нештатные режимы .....	7
5. Компоненты Диагноза в части графических характеристик сигналов .....	14
6. Регистрируемые режимы.....	17
Дополнительные материалы .....	24
Альбом типовых Осциллограмм.....	24

## Ссылки на таблицы

Табл. 1. Этапы внедрения C5 Диагностики

Табл. 2. Используемые термины и обозначения

Табл. 3. Классификация типовых нештатных режимов

Табл. 4. Компоненты Диагноза в части графических характеристик сигналов Осциллограммы

Табл. 5. Классификация регистрируемых аварийных режимов StopNum – Rank

### NB! Советы по использованию данного документа:

- Используйте ссылки – щелчок мышью на соответствующую строку в оглавлении или в списке таблиц, а также – в перечне рисунков альбома;
- Начните с чтения Help-а к сводной таблице Осциллограмм.

## 1. Этапы внедрения C5 Диагностики

Сервисная система Интернет-Диагностика ТПЧ (кратко C5 Диагностика) располагается по адресу [www.aljuel.eu/c5/index.html](http://www.aljuel.eu/c5/index.html), где на веб-странице отображается сводная таблица Осциллограмм, поступающих на сервер со всех ТПЧ. Осциллограммы на сервере, повторяющиеся или малоинтересные, удаляются. Этапы внедрения C5 Диагностики показаны в Табл.1.

Табл. 1. Этапы внедрения C5 Диагностики

Дата этапа	Содержание этапа
26.08.2010	Первое появление Осциллограмм с эксплуатируемых ТПЧ. GSM модем стал ставится во все Контроллеры C5 пятого поколения, начиная с заводского номера №27. Первые Осциллограммы начали приходить на Контроллер №28, затем №29, №30, №31, затем №27.
23.11.2010	Первое появление Осциллограмм Теста с производственного участка Контроллеров C5, когда была внедрена система тестирования с использованием Интернета (первый – Контроллер выпуска №34). На каждый Контроллер C5, начиная с №34, всегда оставляются на сайте только 3 последние Осциллограммы Теста, предыдущие удаляются.
20.01.2012	Первая редакция файла статистики ( <a href="#">c5-statistics.xls</a> ) для учета приходящих на сервер Осциллограмм. Файл статистики периодически обновляется администратором и доступен для просмотра всем пользователям без ограничений.
22.05.2012	Разработка данного документа: Руководство по диагностированию Осциллограмм (c5-diagnostics.doc, c5-diagnostics.pdf)

## 2. Постановка задачи, понятие Диагноза

В сервисной системе, обслуживающей сводную таблицу Осциллограмм, предусмотрены средства, которые позволяют комментировать и сортировать Осциллограммы, просматривать графическую информацию и комментарии характерных групп Осциллограмм. Отдельная задача состоит в том, чтобы фиксировать результат обследования каждой Осциллограммы по строгим правилам.

В данном документе предлагается система классификации приходящих на сервер Осциллограмм, которая должна обеспечивать возможность записи по строгим правилам краткого и точного результата обследования данной Осциллограммы – Диагноз:

- в части режима ТПЧ, который отображает Осциллограмма;
- в части проблем, которые выявляются при рассмотрении Осциллограммы и нуждаются в устранении.

Проблемы, которые нужно выявить, вызываются причинами самого разного характера. Проблемы относятся ко всей сфере ТПЧ. Во-первых, это проблемы, порождаемые оборудованием: сложные режимы, электромагнитные помехи, дефекты компонентов и их износ. Во-вторых, это проблемы, порождаемые человеческим фактором – ошибки наладчика, монтажника и Потребителя ТПЧ (у Потребителя – в части требований к нагрузке и к ТПЧ). Проблема приводит к Останову ТПЧ – Осциллограмма посылается на сервер – ее требуется диагностировать. Перечисленные проблемы суммируются в произвольной комбинации и вносятся в Осциллограмму, в результате могут превратить её в «ребус», требующий кропотливого и скрупулёзного разбора.

Диагноз регистрируется в полях (столбцах) сводной таблицы Осциллограмм: StopNum, Rank, Comment. Сложность задачи диагностирования Осциллограмм объясняется их большим разнообразием, возникающим от множества влияющих факторов. При рассмотрении Осциллограммы, анализируются все влияющие факторы, в результате складывается Диагноз из набора отдельных информационных компонентов. Первый компонент Диагноза – номер канала срабатывания защиты – формируется Контроллером С5 автоматически. Номер канала имеет 7 значений StopNum = 1,2,...,6,15 и автоматически заносится в поле StopNum при пересылке Осциллограммы. Второй компонент в поле Rank (один символ, чаще всего цифра от 0 до 9) вносится самим Пользователем. Следующие компоненты Диагноза вносятся Пользователем в поле Comment друг за другом через запятую, в частном случае могут отсутствовать.

Каждый информационный компонент Диагноза характеризует отдельный аспект данной Осциллограммы. Для выделения и классификации таких аспектов нужен практический опыт анализа большого количества Осциллограмм, чтобы получить широкий охват вариантов. По крайней мере, для выявления основных аспектов нужен анализ порядка 1500...2000 Осциллограмм. При этом должны быть решены следующие задачи:

- Классифицировать типовые аварийные режимы ТПЧ, выделить категории, группы, подгруппы и т.д.
- Классифицировать типовые электромагнитные помехи в сигналах. Помехи могут приходить извне ТПЧ (по сети) или рождаться внутри, и в результате могут порождать аварийные регистрируемые и нештатные режимы ТПЧ.
- Классифицировать типовую порчу оборудования. Чаще всего могут выходить из строя тиристоры и демпфирующие RC-цепи инвертора. Порча тиристора может быть разного характера, например, пробой (двухсторонняя проводимость) или ухудшение запирающих свойств. В Осциллограмме может зафиксироваться режим, где тиристор вышел из строя прямо в работе ТПЧ, а может зафиксироваться Осциллограмма пуска с изначально заперченным тиристором. Кроме того, по-разному отражается на Осциллограмме порча одного или двух тириستоров.
- Классифицировать типовые ошибки Потребителя. Такие ошибки обычно бывают в части нагрузки ТПЧ: слишком большая или слишком малая индуктивность линии, слишком большая или слишком малая потребляемая нагрузкой мощность, неправильная конструкция конденсаторной батареи и т.п.
- Классифицировать типовые ошибки наладчика – в основном это ошибки в настроечных Константах (потенциометрах). Ошибки могут приводить к аварийному (или нежелательному) режиму ТПЧ, или к неправильному масштабу изображения сигналов.
- Классифицировать типовые ошибки монтажа. На Осциллограмме нередко проявляются повторяющиеся ошибки монтажа в шкафу ТПЧ. Например, отсутствие нагрузочного резистора в датчике тока, или неправильный номинал ограничительного резистора в цепи импульса управления тиристорами и т.п.
- Классифицировать типовые ошибки Пользователя программы графического просмотра с5-график. Задача просмотра Осциллограмм осложняется необходимостью поддержки множества исполнений ТПЧ. Исполнения отличаются по мощности, по производителю и по поколениям. Соответственно отличаются параметры настройки, которые надо задавать программе с5-график для корректного просмотра

Осциллограмм. Типовая ошибка Пользователя в том, что он настроил программу с5-график на просмотр одного исполнения ТПЧ, а Осциллограмма пришла от другого исполнения ТПЧ. Чтобы не забывать менять настройку с5-график, необходимо в Диагнозе отражать сведения об исполнении ТПЧ. По умолчанию сведения не указываются для исполнения ТПЧ-320 производства г. Новозыбков.

Факторы, влияющие на Осциллограмму, накладываются друг на друга в самых произвольных сочетаниях, образуя множество вариантов, весьма трудоемких для диагностирования. Возможное число сочетаний типовых ошибок в одной Осциллограмме порождает сотни или тысячи уникальных вариантов. Тем не менее, практически все Осциллограммы поддаются пониманию. Кроме задачи понять Осциллограмму, встает не менее трудоемкая задача – записать Диагноз. Если записывать Диагноз в поле Comment в виде словесного описания, то каждый Диагноз – это целый трактат, кроме того, возможны их тысячи вариантов, поэтому нельзя копировать из какого-то архива заранее подготовленные тексты. Такой способ записи Диагноза не реализуем. Остается единственный вариант – записывать Диагноз в поле Comment в виде кода: набора кратких обозначений, а число сочетаний отдельных компонентов кода никак не ограничивать.

При необходимости в поле Comment в сводной таблице Осциллограмм добавляется пояснительный текст, который будем называть Комментарием. Таким образом, в общем случае в поле Comment будут располагаться Диагноз, в виде кода в одну строку, и текст Комментария – со 2-ой строки. В частном случае, сравнительно редко, Диагноз включает только поля StopNum и Rank, а поле Comment может быть пустым – когда информационные компоненты использованы по умолчанию – отсутствуют. Комментарий наоборот, чаще всего бывает пуст. Обычно Комментарий требуется в нестандартных случаях.

Лаконичность Диагноза создает удобства и позволяет содержать в строгом порядке всю сводную таблицу Осциллограмм. Легко принимаются решения по удалению устаревших и повторяющихся Осциллограмм. Оставляются те Осциллограммы, которые полезны для изучения и напоминания всем Пользователям.

Предлагаемая диагностика является фундаментом «быстрого реагирования» в эксплуатации и одновременно мощным инструментом для выявления характерных «болячек» ТПЧ. Опыт показывает, что поддаются диагностированию практически все Осциллограммы за редким исключением. Однако в сложных случаях приходится анализировать группу Осциллограмм, более ранних и более поздних для данного ТПЧ (поднимать «историю болезни»), сравнивать с Осциллограммами других ТПЧ, после чего выносится правильный Диагноз. На основе обобщения опыта строятся методы «лечения», закладываются усовершенствования в конструкторскую документацию ТПЧ, чем достигается новый виток в повышении качества продукции.

### 3. Используемые термины и обозначения

3.1. В данном документе, а также в Комментариях к Осциллограммам, используются термины и краткие обозначения, приведенные в Табл.2.

**Табл. 2. Используемые термины и обозначения**

пп	Термин или обозначение	Пояснение
3.2	Диагноз	Разбор Осциллограммы по информационным компонентам
3.3	Комментарий	Текст в поле Comment после Диагноза, начиная с новой строки
4.1, 4.2	Категории ав. режимов	Регистрируемые режимы и нештатные режимы
	Регистрируемый режим	Можно указать связь с номером канала защиты (StopNum)
	Нештатный режим	Невозможно указать связь с конкретным каналом защиты (StopNum)
-	ИУ	Импульс управления для включения тиристора
-	Диагональ инвертора	1-ая диагональ – проводят плечи моста – левое верхнее и правое нижнее; 2-ая диагональ – проводят плечи моста – правое верхнее и левое нижнее
-	Полумост инвертора	Проводят два левых плеча (верхнее и нижнее), или два правых плеча
-	Коммутация	Состояние проводимости более чем двух плеч
3.4	Завершенная (нормальная) коммутация	После коммутации наступает смена активной диагонали, которая в полупериоде несет положительную энергию в контур
3.5	tq	Предоставляемое (схемное) время выключения тиристорov инвертора
3.6	Незавершенная коммутация, tq существует	Новая диагональ активна короткое время – на интервале tq, затем возвращается старая диагональ, которая несет отрицательную энергию в контур
3.7	Незавершенная коммутация, tq не существует	После проводимости 4-х плеч сразу возвращается старая диагональ; активность новой диагонали вообще отсутствовала
3.8	Полу завершенная коммутация	Новая диагональ активна на интервале tq, затем после самовключения 1-го плеча в диагонали наступает пауза тока, далее после поступления ИУ активна старая диагональ
3.9	Срыв коммутации	Незавершенная или полу завершенная коммутация; в контур поступает отрицательная энергия, или нулевая – при полу завершенной коммутации
-	Опрокидывание	Пишется с заглавной буквы, означает срыв коммутаций
3.8	Опрокидывание через 3 плеча	Альтернативное название полу завершенной коммутации
3.10	Аварийный ПП (ПП-1, ПП-2, ПП-3)	Аварийный переходной процесс (ПП) может быть вызван пуском (ПП-1), нештатным режимом (ПП-2) или изменением мощности нагрузки (ПП-3)
-	АПВ	Автоматическое повторное включение ТПЧ
-	Lk	Индуктивность линии от зажимов X,Y до центра конденсаторной батареи
-	ОС	Обратная связь – напряжение контура
-	UexR	Сигнал ОС
-	UexC	Сигнал производной ОС
-	$\alpha$	Угол управления выпрямителем
-	$\beta$	Угол управления инвертором
3.11	Защитный Импульс (ЗИ)	ИУ инвертора, вырабатываемый в момент самовключения тиристорov
3.12	Зона ЗИ	Интервал, на котором разрешено формирование ЗИ, примерно $\beta = 100^\circ \dots 170^\circ$
3.13	Режим Imin	Регулятор минимального тока постоянно изменяет угол $\beta$ с частотой модуляции 300Гц: несколько полупериодов подряд угол $\beta$ близок к $90^\circ$
-	Пробный (одноимпульсный) Пуск	Выполняется при положении переключателя Логик SW2:2=Off; в этом случае включен одиночный импульс выпрямителя для пробного пуска
3.14	Нулевой Вентиль (НВ)	Третий ИУ выпрямителя имитирует включение т.н. Нулевого Вентиля

3.2. Диагноз – разбор Осциллограммы по информационным компонентам. Диагноз регистрируется в полях сводной таблицы Осциллограмм: StopNum, Rank, Comment. В поле Comment информационные компоненты Пользователь вносит через запятую. В частном случае поле Comment может быть пустым.

- 3.3. Комментарий – текст, который в сводной таблице Осциллограмм вносится в поле Comment после Диагноза, начиная с новой строки. Для большинства Осциллограмм Комментарий не требуется.
- 3.4. Нормальная (завершенная) коммутация. Исходное состояние – активна старая диагональ. При поступлении ИУ включается новая диагональ, наступает проводимость 4-х плеч, после чего происходит смена старой диагонали на новую. Далее прикладываемое положительное напряжение выдерживается, т.е. нет самовключения старой диагонали, остается активной новая диагональ, которая несет положительную энергию в контур.
- 3.5. Предоставляемое время  $t_q$  выключения тиристоров – интервал отрицательного напряжения на тиристорах от момента окончания коммутации до момента перехода напряжения через ноль в плюс. Обозначение  $t_q$  произошло от традиционных обозначений времени ( $t$ ) и заряда ( $Q$  или  $q$ ), поскольку собственное время выключения тиристора (паспортное) прямо пропорционально заряду  $Q_{rr}$  обратного восстановления запирающих свойств тиристора. Обозначение  $t_q$  произносится «тэ-ку», не путать с тангенсом. Предоставляемое время также иногда называют схемным временем, т.к. оно предоставляется схемой. Предоставляемое (схемное) должно быть равно или больше собственного (паспортного) времени выключения тиристора  $t_q$ .
- 3.6. Незавершенная коммутация, когда  $t_q$  существует. Исходное состояние: активна старая диагональ. При поступлении ИУ включается новая диагональ, наступает проводимость 4-х плеч, после чего происходит смена старой диагонали на новую. С наступлением положительного напряжения происходит самовключение старой диагонали, после чего старая диагональ становится активной, а в контур поступает отрицательная энергия. Активность новой диагонали была непродолжительной, пока существовал интервал  $t_q$ .
- 3.7. Незавершенная коммутация, когда  $t_q$  не существует. Исходное состояние: активна старая диагональ. При поступлении ИУ включается новая диагональ, наступает проводимость 4-х плеч. Ток старой диагонали не доходит до нуля и начинает увеличиваться, после чего возвращается активность старой диагонали, в контур поступает отрицательная энергия. Активность новой диагонали вообще отсутствовала.
- 3.8. Полу завершенная коммутация ( $t_q$  существует), или Опрокидывание через 3 плеча. Исходное состояние: активна старая диагональ. При поступлении ИУ включается новая диагональ, наступает проводимость 4-х плеч. С наступлением положительного напряжения происходит самовключение только одного плеча старой диагонали. Теперь в коммутации проводят только 3 плеча, после чего проводят полумост, а в диагонали наступает пауза тока. Пауза тока заканчивается в момент прихода ИУ, опять в коммутации проводят только 3 плеча, после чего становится активной новая диагональ. Таким образом, коммутация новой диагонали была сорвана только наполовину, нулевой ток в диагонали не несет отрицательную энергию в контур.
- 3.9. Срыв коммутации (Опрокидывание). Признаком срыва коммутаций является незавершенная коммутация ( $t_q$  существует или не существует), или полу завершенная коммутация. Термин «Опрокидывание» произошел в связи с тем, что вместо положительной энергии в контур поступает отрицательная энергия (или нулевая при Опрокидывании через 3 плеча).
- 3.10. Аварийный ПП (ПП-1, ПП-2, ПП-3). Аварийный переходной процесс (ПП) может быть вызван пуском (ПП-1), нештатным режимом (ПП-2) или изменением мощности нагрузки (ПП-3). Началом ПП-1 считается первый полупериод напряжения контура. Началом ПП-2 и ПП-3 считается полупериод, где появилось возмущающее воздействие. Концом ПП считается полупериод, где зарегистрирована авария. Продолжительность аварийного ПП обычно составляет несколько полупериодов инвертора (иногда десятки).
- 3.11. Защитный Импульс (ЗИ) – автоматически формируемый ИУ инвертора в момент самовключения тиристоров, чтобы дать возможность быстро растечься току по шайбе, и тем самым защитить тиристор от прогорания в отдельных точках. ЗИ эффективно защищает тиристоры при коротком и межвитковом замыкании в индукторе, а также при ошибках настройки предоставляемого времени  $t_q$ .

- 3.12. Зона ЗИ – интервал, на котором разрешено формирование ЗИ. Зона ЗИ находится в первой четверти полупериода инвертора и соответствует углу примерно  $\beta = 100^\circ \dots 170^\circ$ .
- 3.13. Режим  $I_{\min}$ . Режим ТПЧ на ограничении минимального тока – задействован регулятор минимального тока (Рис. 3). Угол  $\beta$  постоянно меняется с частотой модуляции 300Гц: несколько полупериодов подряд угол  $\beta$  близок к  $90^\circ$ . Режим  $I_{\min}$  включается в работу при пониженном напряжении инвертора, чтобы не допустить прерывания тока. С повышением напряжения выше примерно 500В (действующее) режим  $I_{\min}$  выключается – если нагрузка согласована. При несогласованной нагрузке (маленькая потребляемая мощность) режим  $I_{\min}$  не выключается при напряжении выше 500В и создается опасность перенапряжений (отрицательных) – должна сработать защита с отключением ТПЧ.
- 3.14. Нулевой Вентиль (НВ). Кроме основных ИУ выпрямителя (сдвоенных) имеется еще третий ИУ, который имитирует включение т.н. Нулевого Вентилля на выходе выпрямителя, отсекающего отрицательную полярность.

## 4. Нештатные режимы

4.1. Аварийные режимы подразделяются на две категории:

- Регистрируемые режимы, которые имеют связь с номером канала защиты StopNum;
- Нештатные режимы, которые не имеют связи с номером канала защиты StopNum.

Регистрируемые режимы регистрируются Контроллером и ТПЧ выключается. Имеется всего 7 групп регистрируемых режимов, где каждая группа объединена одним общим признаком – номером канала защиты – StopNum=1,2,...6,15.

Основное отличие нештатного режима от регистрируемого в том, что нештатный режим нельзя «привязать» к какому-то конкретному номеру канала защиты StopNum, т.е. значение StopNum может оказаться любым. Нештатные режимы либо нечувствительны для Контроллера (не распознаются), либо приводят к зарегистрированной аварии с неоднозначным номером канала.

В качестве примера нештатных режимов, которые часто бывает незамеченными Контроллером и ТПЧ остается в работе, можно привести режимы по п.4.3 и п.4.6 (**UexC** и **IL**). Эти режимы связаны с электромагнитными помехами. Другие нештатные режимы могут привести к срабатыванию любого канала защиты. Например, нештатный режим по п.4.11 (**a=a-60**), порождаемый ошибкой ИУ выпрямителя, может с равной вероятностью привести к перегрузке по току (StopNum=4) или перегрузке по напряжению (StopNum=3), реже – к срыву коммутаций (StopNum=1), еще реже – не замечается Контроллером и ТПЧ остается в работе. Еще пример: режим по п. 4.18 (**class**), связанный с потерей класса тиристора, нельзя отнести к категории «регистрируемые режимы» и описать его в разделе 0, т.к. номер канала StopNum неоднозначен. Поэтому этот режим должен попасть в раздел 4, где описывается категория «нештатные режимы».

В тех нештатных режимах, когда ТПЧ в принципе может оставаться в работе, создается потенциальная опасность порчи оборудования. Однако, по тем или иным причинам, Осциллограммы все равно посылаются на сервер, например, при настройке защит. И тогда нештатные режимы распознаются Пользователем визуально при рассмотрении Осциллограмм.

Для нештатных режимов предусмотрены краткие обозначения, являющиеся информационными компонентами Диагноза. Эти компоненты представлены в Табл.3.

4.2. Регистрируемый режим может быть никак не связан с нештатным режимом. Т.е. оба режима в общем случае независимы – могут быть наложены или не наложены друг на друга.



Осциллограмму необходимо диагностировать следующим образом: в поле Rank в сводной таблице Осциллограмм вносится ранг зарегистрированного режима из Табл.5, а в поле Comment вносится обозначение нештатного режима из Табл.3. Возможен случай, когда в одной Осциллограмме обнаруживаются несколько разных нештатных режимов. Тогда они вносятся в поле Comment через запятую, например: UexC.2b, IL.1a.

4.3. Режим **UexC** – обозначение нештатного режима, который рождается от помехи в сигнале UexC. Источником помехи для сигнала UexC является, как правило, скачок напряжения выпрямителя, см. п.4.9 и Рис. 4, Рис. 5. Сигнал UexC пропорционален производной от напряжения контура (напряжение ОС), поэтому он весьма чувствителен к искажению ОС. Поскольку сигнал UexC участвует в формировании ИУ инвертора, то искажения UexC приводят к сдвигу ИУ: как вправо (уменьшение  $\beta$ ), так и влево (увеличение  $\beta$ ), см. Рис. 4, или к появлению дополнительного ИУ в неправильный момент. Это может быть разовый ложный ИУ – один из миллионов (1 раз в час), или более частый – один из тысяч (1 раз в секунду), или еще более частый.

4.4. Сдвиг ИУ вправо приводит к уменьшению предоставляемого времени выключения  $t_q$ , что может вызвать опрокидывание инвертора или Пробой плеча. Сдвиг ИУ влево приводит к увеличению обратного выброса напряжения. Если при этом  $\beta$  приближается к  $90^\circ$ , то выброс обратного напряжения может привести к срабатыванию защиты по напряжению (отрицательному) и порче тиристора.

4.5. Чтобы устранить ложный ИУ от помехи в сигнале ОС, надо поставить заземляющий фильтр на выход высоковольтного трансформатора обратной связи (ВОС). Фильтр ставится на вторичную сторону (низковольтную), смотрите Рис. 1. Провода обратной связи должны быть в экране. Экран заземляется там же, где и фильтр. Место для расположения фильтра выбирается там, где точка заземления фильтра и экрана может быть подсоединена кратчайшим проводом к цеховой Земле или к Земле шкафа ТПЧ.

Проверьте: стандартный трансформатор ВОС должен иметь индуктивность порядка 50 мкГ вторичной стороны (низковольтной) при закороченной первичной стороне. В этом случае:  $C=100$  нФ,  $R=15$  ohm. Активная мощность, выделяемая в каждом резисторе, зависит от частоты и напряжения на выходе ТПЧ, установленная мощность резисторов должна быть как минимум вдвое больше активной мощности:

- 8 кГц – 800В, активная мощность в резисторе 0.6Вт;
- 1 кГц – 1000В, активная мощность в резисторе 0.015Вт.

Конденсатор должен обладать хорошим показателем тангенса потерь, характерным для высокочастотных конденсаторов, и должен выдерживать длительно действующее напряжение и частоту как минимум 150В, 10 кГц.

4.6. Режим **IL** – обозначение нештатного режима, который рождается от помехи в сигнале IL. Если сигнал IL искажен, то может сформироваться ложный Защитный Импульс (ЗИ). Теоретические основы ЗИ даны в [1]. Импульс ЗИ является ложным в том случае, если он сформировался без необходимости, т.е. не было самовключения тиристора. Ложный ЗИ дает сбой частоты инвертора, что можно услышать на слух. Если одиночные ЗИ повторяются, то к равномерному «писку» ТПЧ примешиваются характерные «щелчки» или «потрескивания». При этом авария может не регистрироваться.

4.7. Опасна только такая помеха в сигнале IL, которая приходит в зоне ЗИ, – т.е. на интервале, который разрешен для формирования ЗИ. Зона ЗИ находится в первой четверти полупериода и соответствует углу управления инвертора примерно  $\beta = 100^\circ \dots 170^\circ$ . За пределами зоны ЗИ сигнал IL не контролируется, поэтому помеха в нем не опасна.

4.7.1. Причиной помехи может быть отсутствие добавочного конденсатора, который должен устанавливаться согласно п.4.16 в случае, когда в цепи датчика тока IL используется внешний нагрузочный резистор.

- 4.7.2. Источником помехи может быть процесс в самом токе  $I_L$  (Рис. 6). Обратный выброс тока тиристора инвертора одновременно является выбросом тока  $I_L$ . Демпфирующие RC-цепи инвертора демпфируют выброс тока, в результате колебательный процесс должен затухнуть за время порядка 10...15 мкс. При относительно низкой частоте инвертора, 4 кГц и ниже, к началу зоны ЗИ выброс должен быть окончательно демпфирован. При высокой частоте, 8...10 кГц, в зоне ЗИ остается колебательность тока  $I_L$ , что может привести к формированию ложного ЗИ.
- 4.7.3. Также возможно формирование ложного ЗИ по синфазной помехе (Рис. 7). Возникновение синфазной помехи смотрите п.4.9. Ложный ЗИ по синфазной помехе чаще встречается при низких частотах инвертора.
- 4.8. Необходимо добиться устранения ложного ЗИ. Сначала необходимо определить: вырабатывается ложный ЗИ или штатный ЗИ? Вторым случаем можно наблюдать в 3-х нештатных режимах **class**, **tq**, **du/dt** по пп. 4.18, 4.19, 4.20, соответственно. **Внимание!** Внештатный режим **IL** наиболее часто путается с внештатным режимом **du/dt**. Разница только в том, что в 1-ом случае ЗИ вырабатывается до момента максимальной крутизны вниз в сигнале  $I_L$ , а во 2-ом случае – заметно после. Таким образом, вопрос различения ложный/штатный ЗИ, одновременно является вопросом записи правильного диагноза. (Совет: в порядке обучения, чтобы не путать режимы **IL** и **du/dt**, найдите эти режимы в сводной таблице Осциллограмм и убедитесь в различии момента формирования ЗИ.)
- В крайнем случае, для решения вопроса различения ложный/штатный ЗИ, можно кратковременно отключить ЗИ с помощью клавиши Логик SW2:5=Off и убедиться (например, по звуку), что одиночные ЗИ пропали. Однако такой способ не рекомендуется, т.к. ЗИ выполняет функцию защиты тириستоров. Правильнее – рассматривать Осциллограмму и определить, что раньше: фронт ЗИ или максимальная крутизна вниз в сигнале  $I_L$ , о чем уже сказано выше.
- Если установлен факт ложного формирования ЗИ, то надо уменьшить чувствительность канала формирования ЗИ с помощью джемперов J1, J2, J3 на плате Аналог, как это описано в [1]. Для минимальной чувствительности устанавливается только один джемпер J2.
- Если после этого ложный ЗИ остается, то надо поставить в цепь сигнала  $I_L$  внешний (по отношению к Контроллеру) фильтрующий конденсатор параллельно нагрузочному сопротивлению. Внешний конденсатор надо ставить на вход Контроллера (на разъем) или по возможности максимально близко (Рис. 2). Внутри Интеграла нагрузочное сопротивление равно 180 ом, внутренняя емкость равна 6.8нФ, постоянная времени равна 1.2 мкс. Внешним конденсатором нужно увеличить постоянную времени до 2...3 мкс (до исчезновения ложных ЗИ), т.е. внешняя емкость должна быть 4.7...10нФ. Если кроме внутреннего нагрузочного сопротивления 180 ом используется внешний резистор, то внешний конденсатор устанавливается согласно п.4.16.
- 4.9. Синфазные помехи в сигналах Контроллера возникают в результате скачка напряжения выпрямителя  $U_d$ . В этот момент во всех силовых цепях возникает скачок синфазного напряжения относительно земли шкафа. Скачок потенциала проникает через проходные емкости в цепи Контроллера и создает скачок синфазного напряжения во всех сигналах. Если скачок синфазного напряжения достаточно велик, это может привести к появлению дифференциальной составляющей, т.е. к ошибке полезного сигнала. Тогда можно наблюдать в Осциллограмме совпадение ложного ИУ с моментом включения очередного тиристора выпрямителя.
- Если причиной помехи является соседний ТПЧ, который работает от той же сети, то в напряжении  $U_d$  выпрямителя данного ТПЧ можно заметить выброс напряжения. Этот выброс создается в момент включения очередного тиристора выпрямителя соседнего ТПЧ. В этот же момент может появиться помеха в сигналах  $U_{exC}$ ,  $I_L$  и вызвать ложный ИУ.
- 4.10. Нештатные режимы, обозначенные как **UexC** и **IL**, дополнительно классифицируются (через точку) индексом 1a, 1b, 1c, 2a, 2b, 2c, чтобы в кратком обозначении дать всю полноту информации:

- цифра 1 или 2 – признак активности ложного ИУ; вопрос в том, ложный ИУ имеет или не имеет отношения к регистрации аварии:
  - 1) ИУ не активен – регистрация аварии произошла совсем по другой причине, не имеющей никакого отношения к ложному ИУ;
  - 2) ИУ активен – вызвал срабатывание одного или нескольких каналов защиты;
- буква a, b, c – признак происхождения помехи:
  - а) ложный ИУ инвертора совпадает с моментом включения очередного тиристора выпрямителя данного ТПЧ;
  - б) ложный ИУ инвертора совпадает с выбросом напряжения в сигнале Ud (рождающимся, например, от соседнего ТПЧ);
  - с) ложный ИУ не относится к вариантам a,b, однако наблюдается достаточно заметная колебательность сигналов UexC или IL непосредственно перед ложным ИУ; для сигнала UexC этот случай встречается редко (например, неправильный монтаж конденсаторной батареи, или редкий, нигде не описанный случай), а для сигнала IL этот случай описан в п.4.7.2;

Например, для Осциллограммы на Рис. 5 обозначение **UexC.2b** – означает, что, во-первых, ложный ИУ инвертора сформировался по помехе в сигнале UexC. Во-вторых, ложный ИУ вызвал срабатывание одного или нескольких каналов защиты. В-третьих, ложный ИУ не совпал с включением тиристора выпрямителя, но совпал с помехой в сигнале Ud, что указывает на внешний для данного ТПЧ источник помехи (по сети – от соседнего ТПЧ).

4.11. Режим **a=a-60**. В этом внештатном режиме вместе с очередным тиристором выпрямителя одновременно включается следующий на очереди тиристор – ложное включение, что эквивалентно скачку угла управления  $\alpha=60^\circ$  (Рис. 8). Напряжения выпрямителя скачком увеличивается. Обычно такой режим вызывает бросок тока выпрямителя и срабатывание защиты по току, или (и) по напряжению, или (и) по Опрокидыванию. Бывает иногда одновременное срабатывание всех трех защит в любом порядке.

Нештатный режим **a=a-60** может появляться, например, вследствие появления другого нештатного режима **not\_turn** по п. 4.12. Дело в том, когда в режиме **not\_turn** произошел отказ включения Нулевого Вентиля, то в следующий момент включения произойдет такая реакция, как будто угол выпрямителя  $\alpha$  сделал скачок на  $60^\circ$  (см. Осциллограмму, например, 29-105 и многие другие аналогичные с Диагнозом: “not\_turn, a=a-60, end”).

Однако также наблюдаются другие случаи, по крайней мере, в двух ТПЧ – см. Осциллограммы, например, 29-61, 39-27 с Диагнозом: “a=a-60 (нет not\_turn)”. В этих случаях режим **a=a-60** возникает при отсутствии режима **not\_turn**, т.е. режим **a=a-60** порождается какими-то другими причинами. На данный момент такие причины достоверно неизвестны, есть только некоторые предположения. Например, могут повлиять электромагнитные наводки из одного канала выпрямителя в другой, если меры подавления помех оказались недостаточны – ошибка номинала нагрузочного резистора или конденсатора на управляющем электроде тириستоров выпрямителя, не подсоединены экранирующие провода. Возможно также, что тиристоры выпрямителя некачественные – могут включаться слишком маленьким током (от электромагнитной наводки).

4.12. Режим **not\_turn** (тиристор не включается). ИУ поступает от Контроллера (виден на Осциллограмме), однако включение тиристора не происходит. Нештатный режим **not\_turn** возникает, например, вследствие ошибки монтажа на этапе производства ТПЧ, если токоограничивающий резистор импульсного трансформатора в блоке управления тиристорами имеет неправильный номинал. Правильный номинал 2 Ом - 2Вт должен быть во всех каналах (выпрямитель, инвертор, Блок Пуска). При неправильном номинале ток включения тиристоров недостаточен, в результате в Осциллограмме можно видеть отсутствие реакции на

приходящий ИУ выпрямителя или инвертора. Такое же отсутствие реакции возникает при обрыве проводов ИУ, или в случае дефекта тиристора выпрямителя. Сопротивление цепи управляющего электрода разрешается не более 5 ом для тиристорov выпрямителя и не более 10 ом для тиристорov инвертора и Блока Пуска. В первом случае ток управления 1А (источник нерегулируемый 7В), во втором – 1.5А (источник регулируемый 15...20В).

4.13. Режим **Ro\_1**. Нештатный режим возникает вследствие ошибки монтажа на этапе производства ТПЧ. Нагрузочное сопротивление Ro\_1 (см. Паспорт Объекта) в блоке датчиков в канале защиты по току выпрямителя отсутствует или резистор имеет неправильный номинал. Резистор Ro\_1 предназначен для выравнивания масштабов тока выпрямителя и инвертора. Ошибка приведет к неправильному порогу срабатывания защиты по току и к неправильному масштабу изображения тока выпрямителя на Осциллограмме.

Знак “<” в обозначении **Ro\_1: 0<510** означает, что неправильный номинал (0 - отсутствие) должен быть заменен на правильный номинал (510 Ohm).

4.14. Режим **two-humped** (двугорбый). Нештатный режим возникает при неправильном выборе пусковой емкости в Блоке Пуска, если емкость установлена значительно больше оптимума (многократно). В этом случае форма тока разряда «двугорбая» (Рис. 9). Оптимальное значение пусковой емкости составляет 20...30% от емкости контура.

4.15. Режим **polar**. ИУ инвертора есть, а коммутаций нет (Рис. 10). Возможно, провода от тиристорov Блока Пуска имеют неправильную полярность. Или ширина разрядного тока перекрывает ширину первой полуволны напряжения инвертора. Следует поменять полярность проводов от тиристорov Блока Пуска в точке подсоединения к шинам инвертора X, Y. Если обе ширины примерно одинаковы (близки), следует изменить ширину разрядного тока, меняя пусковую емкость. Надо добиться определенности и надежного пуска – ширина разрядного тока должна быть надежно малой или наоборот надежно большой. Соответственно менять полярность проводов от тиристорov Блока Пуска.

4.16. Режим **C-IL**. Нештатный режим возникает при отсутствии соответствующего конденсатора в цепи датчика тока IL. В тех случаях, когда к стандартному нагрузочному сопротивлению 180 ом на плате Интеграл добавляется внешний параллельный резистор (например, при использовании датчика ЛЕМ), тогда должен одновременно устанавливаться добавочный (параллельный) конденсатор прямо на входе Контроллера (Рис. 2). Емкость добавочного конденсатора выбирается из расчета, что постоянная времени RC (где R и C – сопротивление и емкость добавочных компонентов) должна составлять порядка 2...3 мкс.

**Примечание.** Контроллер C5 контролирует пропуск коммутации. Авария регистрируется в следующем полупериоде после одного или двух пропусков коммутации. Малый интервал коммутации может привести к ложной регистрации аварии (Рис. 11). Чтобы исключить ложную регистрацию необходимо устанавливать параллельную емкость в цепь сигнала IL, чтобы искусственно расширить (внутри C5) интервал коммутации.

4.17. Режим **Err\_Id**. Ошибка в монтаже подсоединения первичных трансформаторов датчика тока выпрямителя.

4.18. Режим **class**. Нештатный режим возникает вследствие порчи тиристора в процессе эксплуатации: ухудшился класс тиристора, т.е. уменьшилось пороговое прямое напряжение, при котором тиристор остается заперт. При достижении этого порога происходит самовключение тиристора и начинается процесс коммутации обычно немного не доходя до амплитуды синусоиды (Рис. 12). В результате может возникнуть превышение обратного напряжения (StopNum=3), или (и) превышение тока (StopNum=4), или срыв коммутаций (StopNum=1). Если используется инвертор с двумя последовательными тиристорами в плече, то регистрируется Пробой (StopNum=2).

Если самовключение произошло в зоне ЗИ, где  $\beta > 90^\circ$ , то сформируется ЗИ, и кроме него правее сформируется штатный ИУ, т.е. будут видны два ИУ. Если же самовключение произошло ровно на амплитуде

напряжения  $\beta = 90^\circ$ , то ЗИ может не сформироваться. Тогда можно увидеть переключения противоэдс Е без ИУ – очевидный признак пробоя тиристора. В этом случае будет виден только один ИУ – штатный, правее коммутации. Штатный ИУ уже ни на что не влияет (Рис. 12).

Отсутствие ЗИ при  $\beta = 90^\circ$  нельзя классифицировать как недостаток Контроллера С5, т.к. в данном случае ЗИ помочь не сможет, поскольку тиристор уже ухудшил свои свойства, и восстановить их невозможно. ЗИ эффективно защищает тиристор от разрушения, когда самовключение произошло во всех остальных случаях и тиристор изначально цел.

- 4.19. Режим **tq**. Самовключение, когда недостаточно предоставляемое время выключения tq (по причине порчи тиристора или просто время недостаточно).
- 4.20. Режим **du/dt**. Самовключение, когда тиристор портится в части параметра du/dt. **Внимание!** Не путайте похожие режимы IL и du/dt.
- 4.21. Режим **URRM**. Пробой тиристора, когда не выдерживается повторяющееся импульсное обратное напряжение (Repetitive peak reverse voltage). Тиристор становится короткозамкнутым – появляется двухсторонняя проводимость (Рис. 28).
- 4.22. Режим **short**. Порча тиристора (K3): проводимость в прямом и обратном направлении; индекс 1 – изначально присутствует дефект, индекс 2 – дефект появился непосредственно в работе.
- 4.23. Режим **SW3=0**. Переключатель Процессор SW3 установлен в положение 0, чтобы занесение точек в Осциллограмме начиналось от разряда пусковой емкости (Старт-Осциллограмма). Срабатывание защиты с фиксацией StopNum в принципе может выйти (не обязательно) за пределы видимости Старт-Осциллограммы.
- 4.24. Режим **SW2:2=Off**. Клавиша переключателя Логик SW2:2 установлена в положение Off, чтобы задать пробный (одноимпульсный) Пуск ТПЧ.
- 4.25. Режим **collapse** (коллапс) – это устойчивое состояние угла на ограничении  $\beta = \beta_{\max}$ , которое возникает при скачкообразном нарушении стабилизации предоставляемого времени tq вследствие неправильно заданных Констант (потенциометров), главным образом – tq\_6. Коллапс возникает при изменении нагрузки от малой к большой. При малой нагрузке время tq завышено незначительно. С ростом нагрузки завышение tq возрастает и далее происходит скачок угла  $\beta$  к  $\beta_{\max}$ . С уменьшением нагрузки произойдет обратный скачок. Во время обратного скачка возможно возникновение перегрузки по напряжению, обычно по положительной амплитуде. Более редкий случай – перегрузка по отрицательной амплитуде, когда нагрузка находится на грани Коллапса и возможны многократные скачки туда-обратно.
- 4.26. Проблемы малых сигналов по пп. 4.27, 4.28, 4.29: неправильное (заниженное) минимальное ограничение напряжения инвертора. Установите правильное значение  $U_{\min}=100V$  (действ.) при помощи потенциометра Монитор R29 (Рис. 3).

Если ограничение занижено  $U_{\min} < 100V$ , то в угле  $\beta$  возникает несимметрия в соседних полупериодах. Это объясняется тем, что малые сигналы в Контроллере С5 приводят к ошибке формирования ограничения угла  $\beta_{\max}$ , который увеличивается больше нормы. В пределах нормы  $\beta_{\max}=90...100^\circ$ . Но если  $\beta_{\max} = 110^\circ$  и выше, это приводит к проблемам. Тогда в одном полупериоде угол  $\beta$  максимален – на ограничении слева  $\beta = \beta_{\max}$ . А в соседнем полупериоде угол  $\beta$  минимален, т.е. на ограничении справа  $\beta = \beta_{\min}$ . Появившаяся несимметрия углов  $\beta$  чаще всего приводит к срыву коммутаций (п.4.28). Если же амплитуда противоэдс мала  $E_m=60V$  и менее, а ток инвертора достаточно большой  $I_L=80A$  и более, то  $\beta_{\max}$  вообще не формируется и ИУ пропадает (п.4.27).

Иногда может возникнуть устойчивый несимметричный режим (п.4.29). В таком режиме в выходном токе инвертора появляется постоянная составляющая, которая не может передаваться трансформатором датчика

тока. Поэтому сигнал с трансформатора поступает с отсеченной постоянной составляющей. Тогда после выпрямления в сигнале  $I_L$  появляются не одинаковые амплитуды тока в соседних полупериодах. Соответственно угол  $\beta$  формируется неправильно – несимметрия усиливается и поддерживается несимметричный режим.

- 4.27. Режим **noBeta**. Исчезает ИУ инвертора в случае, когда амплитуда противоэдс мала  $E_m=60V$  и менее, а ток инвертора достаточно большой  $I_L=80A$  и более, см. п. 4.26. Пропуск коммутации может произойти не только при исчезновении ИУ, а также по другой причине, когда ИУ приходит на уже проводящую диагональ. Возможен случай, когда в одном полупериоде ИУ исчез, а на следующем – опять появился. Но коммутация будет все равно пропущена, и сработает регистрация аварии после полупериода с наличием ИУ, но без наличия коммутации.
- 4.28. Режим **asymmetry.1**. Возникает несимметричный режим по углу  $\beta$ , который практически сразу завершается срывом коммутаций, см. п. 4.26.
- 4.29. Режим **asymmetry.2**. Возникает несимметричный режим по углу  $\beta$ , который может существовать сравнительно длительное время, после чего возможен срыв коммутаций, но не обязательно, см. п. 4.26.
- 4.30. Режим **unique**. Уникальные Осциллограммы, а также Осциллограммы, которые не поддаются объяснению на данный момент.
- 4.31. Режим **end**. Осциллограмма полезна для изучения вопроса перенапряжений при выключении ТПЧ. Если в конце процесса ток выпрямителя  $I_d$  спадает до нуля, то устанавливается равенство  $E=U_d$ .

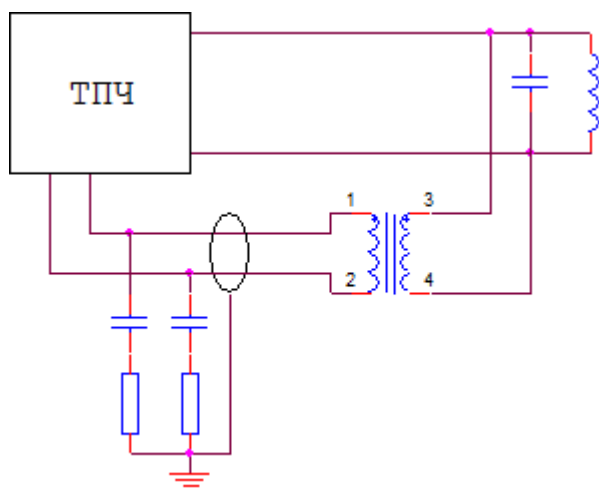


Рис. 1. Фильтр на выходе высоковольтного трансформатора обратной связи (ВОС)

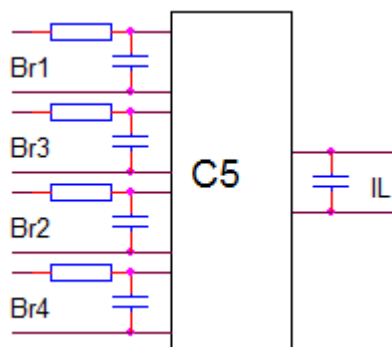


Рис. 2. Компоненты фильтров на входе Контроллера C5

**Табл. 3. Классификация типовых нештатных режимов**

Пп.	Обозначение в поле Comment	Описание нештатного режима
<b>Нештатные режимы вследствие электромагнитных помех</b>		
4.3...	<b>UexC.1a...2c</b>	Ложный ИУ инвертора формируется по помехе в сигнале UexC
4.10	<b>IL.1a...2c</b>	Ложный ИУ инвертора формируется по помехе в сигнале IL (не путайте с режимом du/dt)
4.11	<b>a=a-60</b>	Ложное включение тиристора выпрямителя – скачок угла управления $\alpha=\alpha-60^\circ$
<b>Нештатные режимы вследствие часто повторяющихся ошибок монтажа ТПЧ</b>		
4.12	<b>not_turn</b>	ИУ от Контроллера есть, а включения тиристора нет
4.13	<b>Ro_1: 0&lt;510</b>	Ошибка номинала Ro_1
4.14	<b>two-humped</b>	Двугорбый разряд тока пусковой емкости, если она сильно завышена
4.15	<b>polar</b>	ИУ инвертора есть, а коммутаций нет; следует поменять полярность проводов X,Y
4.16	<b>C-IL</b>	Режим возникает при отсутствии соответствующего конденсатора в цепи датчика тока IL
4.17	<b>Err_Id</b>	Ошибка монтажа в первичных трансформаторах тока выпрямителя
<b>Нештатные режимы вследствие порчи тириستоров</b>		
4.18	<b>class class.2</b>	Ухудшился класс тиристора; индекс 2 – длительный режим
4.19	<b>tq</b>	Самовключение тиристора, когда недостаточно предоставляемое время выключения tq
4.20	<b>du/dt</b>	Самовключение тиристора, когда портится параметр du/dt (не путайте с режимом IL)
4.21	<b>URRM</b>	Пробой тиристора (накоротко) обратным напряжением
4.22	<b>short.1 short.2</b>	Порча тиристора (K3): проводимость в прямом и обратном направлении; индекс 1 – изначально есть дефект, индекс 2 – дефект появился в работе
<b>Устанавливаемые Пользователем нештатные режимы</b>		
4.23	<b>SW3=0</b>	Переключатель Процессор SW3 установлен в положение 0
4.24	<b>SW2:2=Off</b>	Клавиша переключателя Логик SW2:2 установлена в положение Off
4.25	<b>collapse</b>	Устойчивое состояние $\beta=\beta_{\max}$ вследствие неправильно заданных Констант (потенциометров), главным образом – tq_6
<b>Нештатные режимы, которые возникают при малых сигналах</b>		
4.27	<b>noBeta</b>	Исчезает ИУ инвертора в случае, когда амплитуда Em=60V и менее, а ток IL=80A и более
4.28	<b>asymmetry.1</b>	Несимметричный режим, который сразу завершается срывом коммутаций
4.29	<b>asymmetry.2</b>	Несимметричный режим, который может существовать сравнительно длительное время
<b>Нештатные режимы, как методический материал</b>		
4.30	<b>unique</b>	Уникальные, редкие, или не объяснимые (на данный момент) Осциллограммы
4.31	<b>end</b>	Конец ПП, когда ток выпрямителя Id спадает к нулю, устанавливается равенство E=Ud

## 5. Компоненты Диагноза в части графических характеристик сигналов

5.1.В Диагнозе в некоторых случаях необходимо давать графические характеристики сигналов. К таким характеристикам относятся параметры сигналов (средние, действующие и пиковые значения), а также информация об ошибках изображения сигналов.

В изображении сигналов на Осциллограмме могут встречаться ошибки различного характера:

- Неправильно заданные наладчиком настроечные Константы приводят к ошибкам масштабирования сигналов, как по оси абсцисс, так и по оси ординат;

- Неправильная настройка Пользователем Маткад-программы с5-график приводит к ошибкам изображения сигналов.

В Диагнозе должны быть предусмотрены соответствующие информационные компоненты, относящиеся к коррекции изображения сигналов: указания на ошибки наладчика и рекомендации Пользователю по настройке программы с5-график. Эти компоненты приведены в Табл.4.

5.2. Пользователь должен задать правильные значения масштабных Констант по оси ординат, их всего три,  $R_0$ ,  $E_1$ ,  $IL_5$ :

- при правильном значении  $E_1$  должны совпасть амплитуды сигналов  $E$  и  $U_{exR}$ ;
- при правильном значении  $R_0$  должны совпасть средние значения  $U_d$  и  $E$  (когда выпрямитель открыт и в Осциллограмму помещилось достаточно большое число полупериодов инвертора для хорошего усреднения);
- при правильном значении  $IL_5$  должны совпасть сигналы токов  $IL$  и  $I_d$  (без учета коммутационных провалов в токе  $IL$  и при угле выпрямителя  $\alpha < 60^\circ$ ).

Возможен также неправильный масштаб изображения сигнала  $I_d$ , если допущена ошибка монтажа – см. нештатный режим  $Ro_1$  в Табл.3. Однако ошибочный масштаб изображения  $I_d$  не является следствием какой-либо ошибки в настройках Константах, поэтому в Табл.4 такая ошибка не должна быть показана.

В Маткад-программе с5-график предусмотрены два способа масштабирования Осциллограмм. По умолчанию используется способ  $ZoomSelect=2$ , когда вышеуказанные Константы  $R_0$ ,  $E_1$ ,  $IL_5$  учитываются для масштабирования и могут подправить возможные аппаратурные погрешности в каналах передачи сигналов. Неправильные масштабные Константы можно игнорировать. Для этого надо задать способ  $ZoomSelect=1$ . Тогда Константы  $R_0$ ,  $E_1$ ,  $IL_5$  не учитываются, масштабирование осуществляется без подправок погрешностей.

5.3. Неправильно заданная Константа  $f_7$  приведет к ошибке по оси абсцисс. Шаг времени занесения точек в Осциллограмму может оказаться слишком мелким для данной частоты ТПЧ. Нужно задать Константу  $f_7$  согласно Паспорту Объекта, иначе на Осциллограмме будет охвачен недостаточный интервал времени для анализа предыстории аварии.

5.4. Возможен достаточно редкий случай слияния двух Осциллограмм на одном графическом поле – Merge2 (слияние двух). Если в один файл попадают две Осциллограммы, то они отображаются друг за другом вплотную на одном рисунке. В изображении сигналов видны скачки на стыке двух Осциллограмм. Точно и просто можно определить момент времени, где заканчивается одна Осциллограмма и начинается вторая, если анализировать сигнал  $U_{exR}$ . В этом сигнале хорошо виден скачок фазы: от фазы последней синусоиды первой Осциллограммы к фазе первой синусоиды второй Осциллограммы. Далее задавая моменты времени начала и конца, можно рассмотреть первую и вторую Осциллограммы по отдельности.

5.5. Программа с5-график должна быть настроена в зависимости от исполнения ТПЧ. Иначе масштабы изображения токов инвертора и выпрямителя не совпадут:  $IL \neq I_d$ . Настройка включает масштабный набор из 4-х параметров ( $ni1_1$ ,  $ni1_2$ ,  $Ro_1$ ,  $Ro_2$ ). Программа с5-график предлагает Пользователю выбор нужного набора из 4-х показанных вариантов масштабных наборов Set0, Set1, Set2, Set3. Пользователь должен выбрать правильный масштабный набор, руководствуясь Паспортом Объекта, где указаны все параметры. При правильной настройке программы с5-график должны совпасть на Осциллограмме сигналы токов  $IL$  и  $I_d$  (без учета коммутационных провалов в токе  $IL$  и при угле выпрямителя  $\alpha < 60^\circ$ ).

5.6. В старых программах Процессора, которые «зашиты» в старые Контроллеры С5, иногда встречается ошибка выбора шага времени. В нормальном случае шаг времени является переменным. На интервале коммутации



(и еще чуть дальше) шаг мелкий – 2 мкс. Вне коммутации шаг подстраивается в зависимости от частоты инвертора так, чтобы на полупериоде было порядка 20 точек. Такой способ позволяет подробно рассмотреть быстрые процессы (на интервале коммутации) и в тоже время охватить достаточно большой интервал просмотра Осциллограммы. Однако в старых программах Процессора возможна ошибка выбора шага, которая проявляется в том, что короткий шаг 2 мкс используется больше, чем это необходимо. Т.е. интервал, где используется короткий шаг 2 мкс, намного шире, чем интервал коммутации, может растянуться даже на весь полупериод инвертора.

Алгоритм Процессора построен так, что во время занесения с коротким шагом из 6-ти сигналов заносятся только 4 сигнала  $E$ ,  $IL$ ,  $U_{exR}$ ,  $U_{exC}$ , а остальные два сигнала  $U_d$ ,  $I_d$  не заносятся в память – игнорируются. Именно благодаря такому алгоритму удастся заносить 4 самых важных сигнала с таким коротким шагом 2 мкс. Поэтому в графиках  $U_d$  и  $I_d$  есть пропуски – прерывание. При нормальном занесении точек будут пропуски  $U_d$  и  $I_d$  весьма короткие – только на интервале коммутации (и чуть позже), что нормально для таких медленных сигналов. Но при ошибке выбора шага, пропуски  $U_d$  и  $I_d$  могут быть длительными. На графиках  $U_d$  и  $I_d$  такие пропуски выглядят как прямая линия, которая может восприниматься Пользователем визуально как сигнал.

Чтобы избежать такого восприятия, необходимо рассматривать графики  $U_d$  и  $I_d$  на 4-ой трассе (trace4 – сиреневый цвет). Трасса 4 отличается от трасс 1, 2, 3 тем, что график строится в виде точек (кружочков), которые не соединяются между собой отрезками прямых линий. Поэтому пропуски  $U_d$  и  $I_d$  будут правильно восприниматься визуально.

В Диагнозе Осциллограммы ошибка выбора шага должна быть отмечена для того, чтобы при повторном рассмотрении Осциллограммы не забыть о существовании ошибки и сразу корректно рассматривать графики  $U_d$  и  $I_d$  на 4-ой трассе.

5.7. Многие Осциллограммы взяты в качестве примеров как рисунки в документации. В правом нижнем углу каждого рисунка указана ссылка SerNum-SaveNum, чтобы Пользователь мог отыскать эту Осциллограмму в сводной таблице и самостоятельно рассмотреть ее. Для таких Осциллограмм вводится в поле Comment информационный компонент **doc** (впереди всех других компонентов), который напоминает Пользователю, что нельзя удалять эту Осциллограмму (как устаревшую). Возможен также вариант: **doc(?)** – Осциллограмма пока еще не внесена в документацию, или вариант **doc(!)** – обязательно будет внесена.

5.8. Для съема параметров сигналов в Маткад-программе c5-график предусмотрена строка для копирования:

$P\_$  – мощность как произведение  $IL\_ * U_d\_$  в киловаттах;

$f\_$  – частота в герцах подсчитывается по формуле  $f\_ = 1/T_{cp}$ , где  $T_{cp}$  – средний период, который определяется как среднее значение по всем периодам, целиком попавшим в устанавливаемый Пользователем интервал Осциллограммы;

$IL\_$  – среднее значение сигнала  $IL$  в устанавливаемом Пользователем интервале Осциллограммы;

$U_d\_$  – среднее значение сигнала  $U_d$  в устанавливаемом Пользователем интервале Осциллограммы;

$U_{eff}$  – эффективное (действующее) значение сигнала  $U_{exR}$  в устанавливаемом Пользователем интервале Осциллограммы;

$P2$  – мощность как произведение  $IL\_ * U_d\_$  в киловаттах, приведенная к напряжению  $U_{eff}=750V$ ;

SaveNum – номер сохранения Осциллограммы.

При копировании выделяются мышкой, справа от знака равенства, одновременно все цифровые значения (всего 7) и вносятся в одну строку поля Comment. Параметры  $P\_$ ,  $f\_$ ,  $IL\_$ ,  $U_d\_$  являются альтернативой

параметров P, f, Id, Ud в полях сводной таблицы Осциллограмм. Разница в том, что последние являются результатом усреднения по очень большому интервалу, составляющему несколько секунд (несколько тысяч или десятков тысяч периодов). Поэтому эти значения часто бывают не установившимися (случайными), их нельзя использовать для гарантируемых оценок.

5.9. Для съема пиковых значений в Маткад-программе c5-график предусмотрены переменные max\_tr, min\_tr.

**Табл. 4. Компоненты Диагноза в части графических характеристик сигналов Осциллограммы**

Пп	Обозначение в поле Comment	Описание графических характеристик
<b>Ошибки масштабов</b>		
5.2	R_0: xxx < yyy E_1: xxx < yyy IL_5: xxx < yyy	Неправильные масштабные Константы R_0, E_1, IL_5 приводят к неправильному масштабу изображения сигналов на Осциллограмме: Ud, E, IL, соответственно; можно изменить способ рассмотрения Осциллограммы, если выбрать ZoomSelect=1
5.3	f_7: xxx < yyy	Неправильное значение Константы f_7 приводит к неправильному шагу по оси времени
<b>Памятки Пользователю Маткад-программы c5-график</b>		
5.4	Merge2	Слияние двух Осциллограмм на одном графическом поле
5.5	Set0,Set1, Set2,Set3	Программа предлагает Пользователю на выбор 4 масштабных набора Set0...Set3 из 4-х параметров каждый (ni1_1, ni1_2, Ro_1, Ro_2); эти параметры см. в Паспорте Объекта
5.6	UdId-tr4	Графики сигналов Ud и Id надо рассматривать на 4-ой трассе (trace4 – сиреневый цвет)
5.7	doc, doc(?), doc(!)	Внесение Осциллограммы в документы: уже внесена; еще нет(?); обязательно будет(!)
<b>Параметры сигналов, снимаемые в Маткад-программе c5-график</b>		
5.8	P_, f_, IL_, Ud_, Ueff, P2, SaveNum	Предусмотренная строка копирования параметров
5.9	E=934Vmax; -984Vmin	Пример съема пиковых значений сигнала, максимум и минимум (max_tr, min_tr)

## 6. Регистрируемые режимы

6.1. Регистрируемые режимы подразделяются на 7 групп по номеру канала защиты StopNum=1,2,...,6,15. Номер канала автоматически заносится в поле StopNum в сводной таблице Осциллограмм. Также номер канала от 1 до 6 высвечивается на LCD-Дисплее Контроллера C5. Для канала 15 нет свечения, LCD-Дисплей темный. Обычно канал 15 соответствует нормальному Останову (безаварийному), однако существуют исключения.

Все регистрируемые режимы сведены в Табл.5. Внутри одной группы StopNum отдельные режимы ранжированы (пронумерованы). Первый ранг (Rank=1) отведен наиболее часто встречающемуся, характерному (штатному), режиму данной группы StopNum. Ранг вносится Пользователем в сводную таблицу Осциллограмм в поле Rank. В поле Comment вносятся информационные компоненты Диагноза через запятую из Табл.3 и Табл.4, а также при необходимости уточняющая информация. Такой информацией может быть, например, сработавший канал Пробоя или несколько таких каналов, или численные значения критичных параметров, которые определяют срабатывание защиты.

Информация в поле Rank и информация в поле Comment принципиально отличаются друг от друга по назначению. Первая информирует, как произошла регистрация данного канала защиты – по какому конкретному признаку сработал канал. Эти признаки пронумерованы (ранжированы). Например, защита от перенапряжения StopNum=3 может сработать по признаку превышения положительной амплитуды Rank=1, а также – по признаку превышения отрицательной амплитуды. Второй случай подразделяется еще на

несколько вариантов Rank=2,3,5,6 (берется в учет признак, задействован регулятор lmin или не задействован, и другие признаки). Возрастание номера ранга ставится в соответствие в основном с уменьшением частоты встречи данной причины регистрации. Однако главное, чтобы каждый номер ранга был четко и однозначно сопоставлен с одной из причин регистрации аварии. Т.е. ранг указывает на причину регистрации – не более того. Зная номер ранга, мы знаем ответ на вопрос – почему произошло срабатывание именно этого канала. Но это не значит, что по номеру ранга мы знаем, отчего возник данный аварийный режим, и что он собой представляет. Для этой информации отведено поле Comment.

Поле Comment может быть пустым (если нет нештатного режима), а поле Rank всегда должно заполняться. Это означает, что в Диагнозе, как минимум указывается причина, почему произошла регистрация именно этого канала защиты. Бывают случаи, когда причина регистрации необъяснима (нет возможности связать регистрацию с какими-нибудь признаками), тогда в поле Rank ставится знак минус (-). В этом случае в поле Comment указывается максимальная информация о нештатных режимах и дополнительно дается текстовый Комментарий.

Ссылки на конкретные Осциллограммы составляются из двух номеров через тип: SerNum – SaveNum.

## 6.2. Универсальные значения Rank, которые могут быть действительны для любой зарегистрированной аварии.

6.2.1. Rank=0. Осциллограмма не рассмотрена.

6.2.2. Rank=A (Autorecloser – АПВ). В данном АПВ было два режима: первый – аварийный, второй – нормальный. Выключение сделано кнопкой СТОП в нормальном режиме, поэтому в данной Осциллограмме зафиксировался нормальный режим. В поле StopNum зафиксировалось значение, которое относится к аварийному режиму, поскольку это значение сбрасывается только в момент нажатия кнопки СТОП. Графики аварий обычно нулевые: Avar1=0 и Avar2=0. Хотя иногда бывает, что один из графиков является константой, равной StopNum. Если перед тем, как нажали кнопку СТОП, режим не меняли (задание), то нормальный режим (на Осциллограмме) будет точно такой же, каким он был до аварии. Аварийный режим, где отработал АПВ, зафиксировался в Черном Ящике. Номер SaveNum аварийного режима на единицу меньше, чем в данной Осциллограмме. Аварийный режим можно извлечь из Черного Ящика по каналу USB.

6.2.3. Rank=D (Distortion – искажение). Причиной срабатывания защиты является искажение (выброс) в сигналах Контроллера. Обычно искажение совпадает с броском напряжения выпрямителя от включения очередного тиристора данного или соседнего ТПЧ. Вероятная причина искажений – подключение осциллографа или компьютера к С5 в сочетании с некачественным монтажом или питанием. Отсоедините осциллограф и компьютер. Проверьте качество монтажа: минимальные длины проводов (без петель), подсоединение всех экранных проводов в кабелях согласно схеме подключения С5, укладка кабелей С5 по возможности с удалением от силовых цепей и т.д.

6.2.4. Rank=T (Test). Осциллограмма теста в производстве Контроллеров С5.

6.2.5. Rank=- (знак минус). Причина регистрации данного канала защиты не попадает в предусмотренные варианты и на данный момент не имеет однозначного объяснения.

## 6.3. Опрокидывание инвертора, StopNum=1. Изучение вариантов коммутации надо начать, прежде всего, с изучения Рис. 13 ... Рис. 20. Затем надо изучить дополнительные рисунки, ссылки на которые даны в тексте ниже.

Для всех вариантов ( $\beta < \beta_{\max}$ ,  $\beta = \beta_{\max}$ ) срыв коммутаций считается необратимым, если в конце ПП при данном угле  $\beta$  становится невозможной завершенная (нормальная) коммутация.

6.3.1. Rank=1.

Настроечные Константы (потенциометры) установлены неправильно (Рис. 21, Рис. 22).

Два признака:

- 1)  $\beta < \beta_{\max}$  в незавершенных коммутациях в конце ПП-1, ПП-2, ПП-3;
- 2) Срыв коммутаций необратим.

Здесь рассматриваются те случаи, когда на срыв коммутаций повлияла неправильная установка Констант (потенциометров). Возможны два варианта незавершенных коммутаций:  $t_q$  существует, что случается при высоких частотах;  $t_q$  не существует, обычно при низких частотах. Если  $t_q$  существует, то обычно после 2-ой незавершенной коммутации происходит регистрация аварии (в момент формирования ЗИ). Если  $t_q$  не существует, то обычно авария регистрируется намного позже – при существенном затухании колебаний в контуре (когда коммутационный провал в токе  $I_L$  становится уже слабо выраженным, т.е. производная тока маленькая).

#### 6.3.2. Rank=2,3,...6.

В ПП-1, ПП-2, ПП-3 ток  $I_L$  нарастает в каждом полупериоде. Однако амплитуда напряжения контура (и амплитуда противоэдс  $E_m$ ) нарастает относительно медленнее, или даже снижается несмотря на рост тока  $I_L$ . Отношение  $I_L/E_m$ , за счет роста тока  $I_L$ , постоянно увеличивается в каждом полупериоде. Сначала видны нормальные коммутации, затем ненормальные (срыв коммутаций).

Два признака:

- 1)  $\beta = \beta_{\max}$  в незавершенных коммутациях в конце ПП-1, ПП-2, ПП-3;
- 2) ) Срыв коммутаций необратим.

- Rank=2. В ходе ПП-1, ПП-2, ПП-3 нет стабильности  $t_q$ , т.е. существуют полупериоды, где предоставляемое время  $t_q$  завышено, т.к. настроечные Константы (потенциометры) установлены не оптимально (Рис. 23). Если точнее установить настроечные Константы (потенциометры), то можно продлить продолжительность ПП и в принципе, возможно, выйти из него без аварии.
- Rank=3. В ПП-1 первая амплитуда в норме  $E_m \geq 150V$ , нет полупериодов, где предоставляемое время  $t_q$  завышено. Следовательно, Пуск невозможен из-за перегрузки индуктора (Рис. 24).
- Rank=4. В ПП-1 первая амплитуда  $E_m < 150V$ . Чтобы увеличить первую амплитуду  $E_m \geq 150V$ , надо увеличить пусковую емкость. При высокой частоте контура допускается увеличить ширину разрядного тока больше, чем ширина первой полуволны напряжения контура. При этом надо поменять полярность проводов от тиристоры Блока Пуска, см. п.4.15.
- Rank=5. Возмущение в ПП-2 вызвало слишком существенное уменьшение амплитуды напряжения контура, поэтому восстановление колебаний не удалось (Рис. 25, Рис. 26).
- Rank=6. В ПП-3 произошел чрезмерный скачок мощности нагрузки, короткое или межвитковое замыкание в индукторе (Рис. 27).

#### 6.3.3. Rank=7,8,9.

Здесь рассматриваются только внештатные режимы, когда возникновение нештатного режима не имеет отношения к настроечным Константам (потенциометрам):

- Rank=7. Авария зарегистрировалась в момент формирования ЗИ, когда в контуре еще достаточно амплитуда напряжения для нормальных коммутаций, еще нет необратимого срыва коммутаций, и

в принципе еще мог бы восстановиться нормальный режим, если была бы удалена (мысленно) причина, вызываемая нештатным режимом.

- Rank=8. Авария зарегистрировалась при отсутствии ЗИ, когда произошло существенное затухание колебаний в контуре, и коммутационный провал в токе IL становится уже слабо выраженным (малая производная тока), или ток IL обрывается к нулю (проводит полумост).
- Rank=9. Интервал коммутации на одном или на двух предыдущих полупериодах недопустимо узкий (нештатный режим C-IL, см. Рис. 11), или произошел реальный пропуск одной или двух коммутаций в нештатных режимах **polar, not\_turn, SW2:2=Off, noBeta**.

#### 6.3.4. Rank=a,b,c.

Проблемы малых сигналов или (и) глубокого регулирования выпрямителя:

Rank=a. ИУ инвертора хаотичные, отсутствие обратной связи (OC).

Rank=b. С приходом очередного ИУ выпрямителя, в инверторе не удалось поддержать коммутации - произошел срыв коммутаций, т.к. ток растет быстрее, чем напряжение.

Rank=c. С приходом очередного ИУ выпрямителя, в инверторе не удалось поддержать коммутации - произошел срыв коммутаций, т.к. при малых сигналах возможна неточность формирования ИУ инвертора.

#### 6.4. Пробой одного из двух последовательных тиристоров в плече инвертора, StopNum=2.

Возможно, в сигнале Пробоя есть помеха, шум, который нужно фильтровать. Поставьте сглаживающие RC-цепочки во все цепи Br1, Br2, Br3, Br4 на входе Контроллера по Рис. 2. Номинал резистора 100ohm-0.5W, конденсатор 0.47μF-25V. **Внимание!** Если фильтр не установлен, то Осциллограммы плохо поддаются диагностированию, поскольку срабатывание защиты чувствительно к действию слабых факторов. Надежная сортировка по рангу 1,2,3 обеспечивается только после установки фильтра.

Проверьте осциллографом деление напряжений на тиристорах в том плече, на которое указал светодиод. Если не видно подозрительных несимметрий в режиме с пониженным напряжением, а авария срабатывает редко, и нет возможности надолго оставить осциллограф подключенным, то рекомендуется сенсор S2 отсоединить от напряжения выпрямителя Ud и использовать его вместо осциллографа. Тогда в Осциллограмме будет видно подключенное напряжение на тиристоре вместо Ud. Сенсор S2 является резервным в Контроллере C5, его сигнал не участвует ни в регулировании, ни в защите, используется только для наблюдения Пользователем в Осциллограмме. После обнаружения дефекта верните подключение сенсора S2 к напряжению выпрямителя Ud.

##### 6.4.1. Rank=1. На повторяющихся Осциллограммах выполняется как минимум один признак из трех:

- значительное одиночное уменьшение tq;
- есть совпадение срабатывания защиты с помехой в сигнале Ud (от своего ИУ выпрямителя или от соседнего ТПЧ);
- нет повторения амплитуды напряжения E.

Если выполняется только первый признак, то причины срабатывания защиты от Пробоя, возможно, те же самые, как при Опрокидывании: Rank=1,2,...,6. Если кроме первого выполняется второй признак, то возможно сдвиг ИУ вызван искажением сигнала UexC. Необходимо поставить фильтр OC – см. Рис. 1. Если срабатывание Пробоя продолжается с этими же признаками, то на входе Контроллера по Рис. 2 устанавливается конденсатор фильтра во всех цепях Br1, Br2, Br3, Br4 по условию постоянной времени  $R \cdot C$ , равной полупериоду инвертора, но не менее 0.47μF. Допускается электролитический, или любой другой конденсатор, номинальное напряжение не менее 15В.

##### 6.4.2. Rank=2. На повторяющихся Осциллограммах выполняется как минимум первый признак из четырех:

- несимметрия интервала tq в соседних полупериодах;

- примерно одна и та же амплитуда напряжения  $E$ ;
- срабатывает один и тот же канал (из двух Br13, Br24), светится один и тот же светодиод в Контроллере (из 4-х);
- нет совпадения с помехой в сигнале  $U_d$  (от своего ИУ выпрямителя или от соседнего ТПЧ).

Возможно, реального Пробоя нет, но при определенном напряжении инвертора появляется существенная несимметрия напряжений на тиристорах, что приводит к появлению установившегося сигнала в датчике Пробоя и к срабатыванию защиты. Несимметрия может быть связана с разбросом зарядов восстановления, как отдельных тиристоров, так и плеч и диагоналей моста инвертора. Проверьте форму и неравномерность деления напряжений по тиристорам и по плечам моста. Попробуйте сделать перекрестные замены тиристоров, чтобы добиться выравнивания формы напряжений.

#### 6.4.3. Rank=3. На повторяющихся Осциллограммах выполняются как минимум два признака из четырех:

- примерно одна и та же амплитуда напряжения  $E$ ;
- один и тот же канал (из двух Br13, Br24), светится один и тот же светодиод в Контроллере (из 4-х);
- нет существенного одиночного уменьшения  $t_q$ , нет существенных несимметрий  $t_q$ ;
- нет совпадения с помехой в сигнале  $U_d$  (от своего ИУ выпрямителя или от соседнего ТПЧ).

Возможно, существует реальный Пробой одного из двух последовательных тиристоров в плече.

### 6.5. Перегрузка по напряжению, StopNum=3.

#### 6.5.1. Rank=1. Превышение положительной амплитуды $E$ , нет нештатного режима.

Отрегулируйте порог срабатывания защиты, пользуясь методикой регулировки Констант  $U_8$  и  $U_{z\_9}$  в Паспорте Объекта и в Шпаргалке конфигурационного файла \*.ini.

#### 6.5.2. Rank=2. Превышение отрицательной амплитуды $E$ , нет нештатного режима.

Регулятор  $I_{min}$  (см. Табл.2) не задействован, выпрямитель открыт, напряжение инвертора близко к номинальному, ИУ инвертора в норме. Возможно, не отрегулированы Константы  $U_8$  и  $U_{z\_9}$ , или отрицательный выброс напряжения достаточно большой. Возможно, демпфирующие RC-цепи инвертора не в норме, или индуктивность линии  $L_k$  недостаточна для ограничения  $di/dt$  в тиристорах. Надо увеличить  $L_k$  и проверить RC-цепи.

#### 6.5.3. Rank=3. Превышение отрицательной амплитуды $E$ , когда нештатный режим вызвал срабатывание защиты.

#### 6.5.4. Rank=4. Превышение положительной амплитуды $E$ , когда нештатный режим вызвал срабатывание защиты.

#### 6.5.5. Rank=5,6. Превышение отрицательной амплитуды $E$ , нет нештатного режима.

- Rank=5. Ток  $I_L$  достаточно маленький, задействован режим  $I_{min}$ ,  $\alpha > 0^\circ$ , установившееся напряжение инвертора (действующее) не превышает норму (500V для сети 380V). Отрицательный выброс напряжения достаточно большой. Возможно, не отрегулированы Константы  $U_8$  и  $U_{z\_9}$ , или демпфирующие RC-цепи инвертора не в норме, или индуктивность линии  $L_k$  недостаточна для ограничения  $di/dt$  в тиристорах. Надо увеличить  $L_k$  и проверить RC-цепи.
- Rank=6. Ток  $I_L$  достаточно маленький, задействован режим  $I_{min}$ ,  $\alpha \geq 0^\circ$ , установившееся напряжение инвертора превышает норму (500V для сети 380V). Потребляемая нагрузкой мощность слишком мала для данного исполнения ТПЧ. В принципе возможно модифицирование параметров Контроллера C5, чтобы решить проблему. (Нужно выпаять резисторы Интеграл R124, R125, перед этим позвоните или напишите Изготовителю C5.)

### 6.6. Перегрузка по току, StopNum=4.

- 6.6.1. Rank=1. Нет нештатного режима, или он не повлиял на срабатывание данного канала. Отрегулируйте порог срабатывания. Подробное описание методики регулировки Констант Id\_2 и Iz\_A смотрите в Паспорте Объекта и в Шпаргалке конфигурационного файла \*.ini.
- 6.6.2. Rank=2. Нештатный режим вызвал срабатывание защиты (случай Rank=3 сюда не относится).
- 6.6.3. Rank=3. Регистрация защиты по току опередила регистрацию защиты от Опрокидывания, или Опрокидывание вообще не зарегистрировалось (в пределах видимости Осциллограммы).

6.7. Коммутатор, StopNum=5

- 6.7.1. Rank=1. Отношение напряжений инвертора к выпрямителю U/Ud превысило норму – примерно 2. Проверьте соотношение и отрегулируйте при необходимости порог срабатывания при помощи соответствующего потенциометра в Коммутаторе.
- 6.7.2. Rank=2. У Коммутатора контакт нормально-замкнутый. Если отсоединить эту цепь и включить тестовую проверку ИУ, то сработает авария и на сервер уйдет Осциллограмма, где видны только ИУ.

6.8. Система охлаждения, StopNum=6, Rank=1. При необходимости проверьте измерительным прибором температуры в точках расположения датчиков и сравните с нормой, указанной в документации на ТПЧ.

6.9. Нет индикации на LCD-Дисплее, StopNum=15.

На Осциллограмме признаком команды СТОП является обнуление сигнала частотомера. Команда СТОП без регистрации аварии может сформироваться в следующих случаях:

- при нажатии кнопки СТОП;
- при критическом повышении частоты;
- при исчезновении частоты в результате затухания напряжения контура.

- 6.9.1. Rank=1. Нормальный Останов, нет регистрации аварии, выключение произошло по кнопке СТОП. Команда СТОП (обнуление частотомера) может быть не видна на Осциллограмме, если установлен режим SW3=0 (только Пуск).
- 6.9.2. Rank=2. Пробный (одноимпульсный) Пуск, авария не зарегистрировалась. Признаком пробного Пуска на Осциллограмме является отсутствие работы Нулевого Вентиля. Команда СТОП (обнуление частотомера) сформировалась при повышении или исчезновении частоты.
- 6.9.3. Rank=3. Нет пробного (одноимпульсного) Пуска, авария не зарегистрировалась. Команда СТОП (обнуление частотомера) сформировалась при повышении или исчезновении частоты.

Табл. 5. Классификация регистрируемых аварийных режимов StopNum – Rank

StopNum	Rank	Описание
Любой 6.2	0	Осциллограмма не рассмотрена
	A	Autorecloser – АПВ; на Осциллограмме нормальный режим, но StopNum аварийный
	D	Distortion – искажение; причина – подключение осциллографа или компьютера к Контроллеру
	T	Test; Осциллограмма теста в производстве Контроллеров C5
	-	Причина регистрации аварии неизвестна, т.е. не попадает в предусмотренные варианты
1 Опроки- дывание 6.3	Rank=1. Два признака: $\beta < \beta_{\max}$ ; необратимый срыв коммутаций	
	1	Настроечные Константы (потенциометры) установлены неправильно.
	Rank=2,3,...6. Два признака: $\beta = \beta_{\max}$ ; необратимый срыв коммутаций	
	2	ПП-1,2,3: есть завышения $t_q$ ; Константы (потенциометры) установлены не оптимально
	3	ПП-1: первая ампл. $E_m \geq 150V$ , нет завышения $t_q$ ; Пуск невозможен из-за перегрузки индуктора
	4	ПП-1: первая амплитуда $E_m < 150V$ ; увеличьте $E_m \geq 150V$ (увеличьте пусковую емкость)
	5	ПП-2: возмущение слишком велико, поэтому восстановление колебаний не удалось
	6	ПП-3: чрезмерный скачок мощности нагрузки (короткое или межвитковое замыкание)
	Rank=7,8,9. Внештатные режимы, не имеющие отношения к Константам (потенц.)	
	7	Авария зарегистрировалась в момент формирования ЗИ
	8	Авария зарегистрировалась при отсутствии ЗИ
	9	Интервал коммутации узкий или произошел пропуск одной или двух коммутаций
	Rank=a. Проблемы малых сигналов или (и) глубокого регулирования выпрямителя.	
	a	ИУ инвертора хаотичные, отсутствие обратной связи (ОС).
	b	Срыв коммутаций после ИУ выпрямителя, т.к. ток растет быстрее, чем напряжение.
	c	Срыв коммутаций после ИУ выпрямителя вследствие неточности формирования ИУ инвертора.
2 Пробой 6.4	1	Видно одиночное уменьшение $t_q$ ; вероятно, сдвиг ИУ вызван искажением сигнала $U_{exC}$
	2	Наблюдается несимметрия интервала $t_q$ в соседних полупериодах
	3	Нет уменьшения $t_q$ ; возможно, в сигнале Пробоя есть помеха, или реально произошел Пробой
3 Пере- грузка U 6.5	1	Превышение положительной амплитуды $E(+)$ ; отрегулируйте Константы $U_8, U_{z\_9}$
	2	Превышение $E(-)$ , нет $I_{\min}$ , $\alpha = 0^\circ$ , $U \leq U_{\text{ном}}$ ; проверьте $U_8, U_{z\_9}$ , индуктивность $L_k$ , RC-цепи
	3	Превышение $E(-)$ , нештатный режим вызвал срабатывание защиты
	4	Превышение $E(+)$ , нештатный режим вызвал срабатывание защиты
	5	Превышение $E(-)$ , есть $I_{\min}$ , $\alpha > 0^\circ$ , $U \leq 500V$ ; проверьте $U_8, U_{z\_9}$ , индуктивность $L_k$ , RC-цепи
	6	Превышение $E(-)$ , есть $I_{\min}$ , $\alpha \geq 0^\circ$ , $U > 500V$ ; нужно выпаять резисторы Интеграл R124, R125
4 Перег. Id 6.6	1	Нет нештатного режима (или он не влияет), отрегулируйте Константы $I_{d\_2}$ и $I_{z\_A}$
	2	Нештатный режим вызвал срабатывание защиты (случай Rank=3 сюда не относится)
	3	Регистрация защиты по току опередила регистрацию защиты от Опрокидывания
5 Ком-тор 6.7	1	Отношение напряжений инвертора к выпрямителю $U/U_d$ превысило норму – примерно 2; отрегулируйте порог срабатывания при помощи потенциометра в Коммутаторе
	2	Тестовая проверка ИУ, когда отсоединен нормально-замкнутый контакт Коммутатора
6 Охлж. 6.8	1	При необходимости проверьте измерительным прибором температуры в точках расположения датчиков и сравните с нормой, указанной в документации на ТПЧ
15 Нет индикац. 6.9	1	Нормальный Останов
	2	Пуск пробный (одноимпульсный); выключение при повышении/исчезновении частоты
	3	Нет пробного (одноимпульсного) Пуска; выключение при повышении/исчезновении частоты



## ***Дополнительные материалы***

1. [App1](#) Защита тиристорных инверторов от повреждений – прогорания шайбы.

### ***Альбом типовых Осциллограмм***

#### **Характерные режимы**

Рис. 3. 39-0. Напряжение инвертора на минимальном ограничении  $U_{\min}$

#### **Нештатные режимы**

Рис. 4. 53-85. Помеха в сигнале  $U_{exC}$  приводит к сдвигу ИУ; здесь после нормального ИУ следует сдвиг вправо, затем влево, потом снова нормальный ИУ

Рис. 5. 39-67. Ложный ИУ инвертора от помехи в сигнале  $U_{exC}$ ; здесь частота низкая и этой помехи не видно, но есть доказательство ее существования, поскольку виден выброс в сигнале  $U_d$  (помеха по сети)

Рис. 6. 53-92. Ложный ИУ формируется вследствие помехи в сигнале  $I_L$ ; происхождение помехи – в RC-цепях не демпфирован обратный выброс тока тиристорных

Рис. 7. 64-97. Ложный ИУ инвертора от помехи в сигнале  $I_L$ ; происхождение помехи - включение очередного тиристора выпрямителя

Рис. 8. 39-31. Ложное включение тиристора выпрямителя, что эквивалентно скачку угла управления  $\alpha = \alpha - 60^\circ$

Рис. 9. 64-21. «Двугорбый» разряд тока, пусковая емкость намного (в несколько раз) больше требуемой

Рис. 10. 64-147. ИУ инвертора есть, а коммутаций нет – надо перевернуть полярность проводов от разрядных тиристорных Блока Пуска до шин инвертора в точках X, Y

Рис. 11. 29-187. Интервал коммутации недопустимо узкий, сработала Авария в момент  $t_{_1}$ , затем снимаются ИУ

Рис. 12. 33-47. ИУ не совпадает с переключением противоэдс  $E$ ; ухудшился класс тиристора, происходит самовключение в момент достижения пробивного напряжения

#### **Теория. Рассмотрение вариантов коммутаций инвертора для их изучения**

Рис. 13. Нормальная коммутация, когда происходит смена активной диагонали моста (сигнал  $I_L$  – выпрямленный)

Рис. 14. 36-133. Две первых коммутации завершенные, затем запирающие свойства ухудшились или потеряны – коммутации незавершенные, каждый раз возвращается предыдущая диагональ

Рис. 15. 36-156. Незавершенная коммутация – предоставляемое время  $t_q$  не существует; после проводимости 4-х тиристорных возвращается предыдущая диагональ

Рис. 16. 36-134. Первые две коммутации нормальные, затем тиристор пробивается; в следующих трех коммутациях видна проводимость в прямом и обратном направлении

Рис. 17. 36-135. Нормальных коммутаций нет, пуск с изначально пробитым тиристором

Рис. 18. 53-210. Первая коммутация нормальная, вторая и третья – незавершенные

Рис. 19. 53-187. В 1-ой и 2-ой коммутациях видна пауза тока – т.н. Опрокидывание через 3 плеча или полу завершенная коммутация – только один тиристор самовключился, второй выключен, его ток стал равен нулю, и остались включены только 2 тиристора полумоста, после ИУ возвращается диагональ; здесь 3-я коммутация незавершенная

Рис. 20. 53-86. Первых 2 коммутации завершенные, 3-я незавершенная, 4-ая и 5-ая – полу завершенные, 6-ая незавершенная

### **Варианты срыва коммутаций (Опрокидывание)**

Рис. 21. 59-33. Нет стабильности предоставляемого времени  $t_q$  – настроечные Константы (потенциометры) установлены неправильно

Рис. 22. 39-48. Опрокидывание при Пуске ТПЧ; коммутации незавершенные; Константы (потенциометры) установлены неправильно

Рис. 23. 53-107. Предоставляемое время  $t_q$  избыточное, настроечные Константы (потенциометры) неправильные, в результате ухудшается темп роста колебаний в контуре и через несколько полупериодов коммутации становятся невозможны

Рис. 24. 53-87. Срыв коммутаций, если индуктор перегружен металлом в холодном состоянии выше нормы или индуктивность линии  $L_k$  выше нормы

Рис. 25. 53-129. Третий ИУ инвертора сдвинут влево по помехе ( $t_q$  завышено), что в конечном итоге привело к срыву коммутаций

Рис. 26. 39-17. В 5-ой коммутации ложный ИУ инвертора совпадает с ИУ выпрямителя, что приводит к срыву коммутаций

Рис. 27. 53-197. Скачком изменились параметры нагрузки, амплитуда напряжения контура внезапно уменьшилось, частота увеличилась – признаки короткого замыкания в индукторе

Рис. 28. 35-34. Пробой тиристора отрицательным напряжением – появляется КЗ – двусторонняя проводимость; ток достаточно большой, видимо тиристор перегрелся

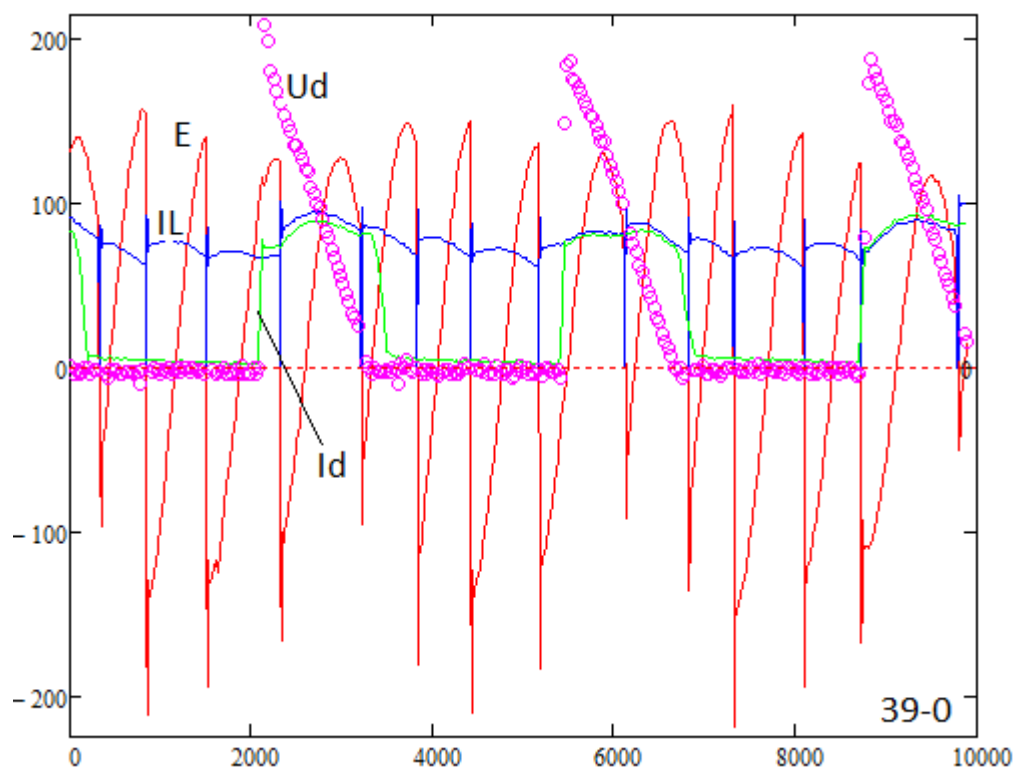


Рис. 3. 39-0. Напряжение инвертора на минимальном ограничении  $U_{min}$

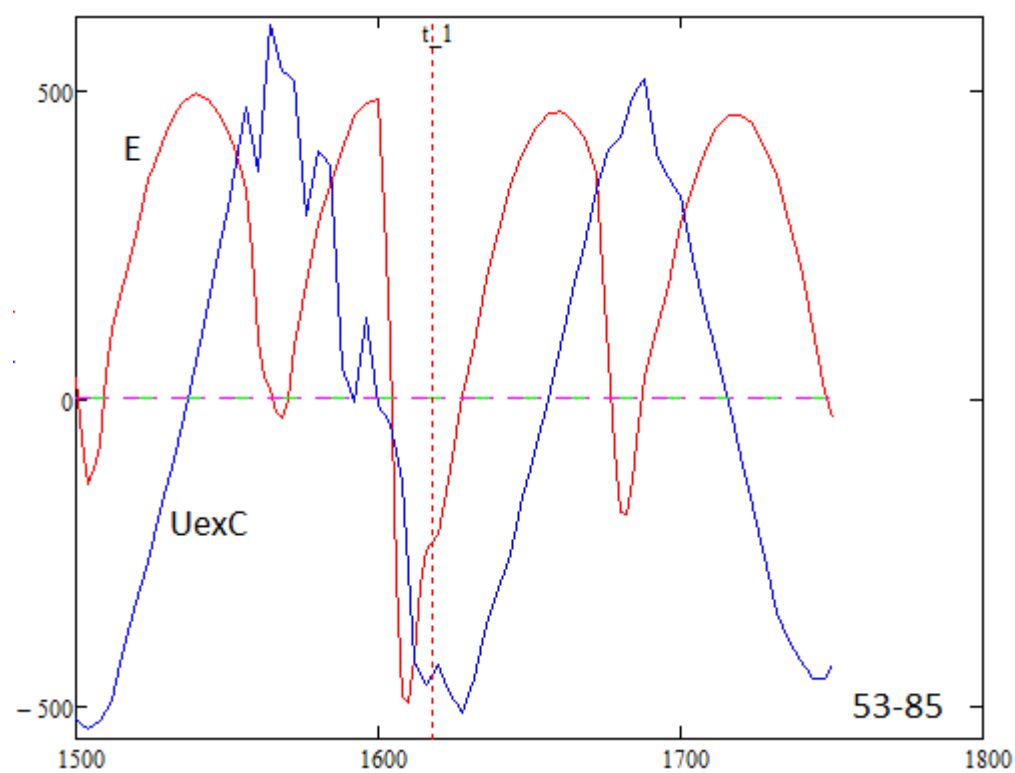


Рис. 4. 53-85. Помеха в сигнале  $U_{exC}$  приводит к сдвигу ИУ; здесь после нормального ИУ следует сдвиг вправо, затем влево, потом снова нормальный ИУ

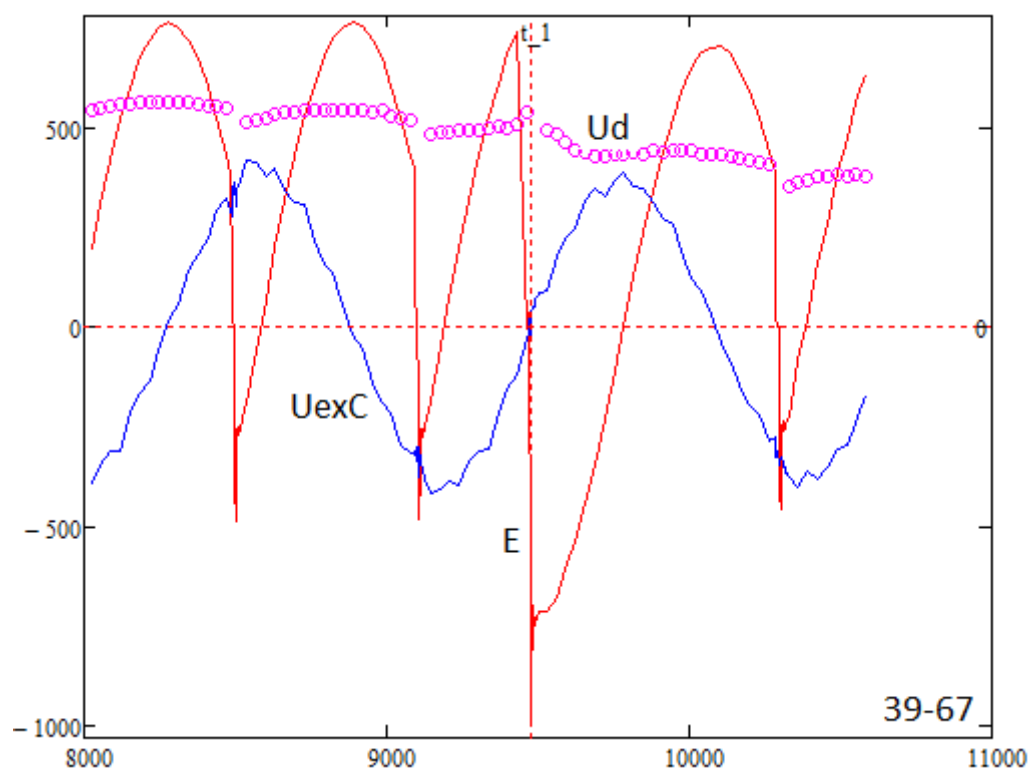


Рис. 5. 39-67. Ложный ИУ инвертора от помехи в сигнале  $U_{exC}$ ; здесь частота низкая и этой помехи не видно, но есть доказательство ее существования, поскольку виден выброс в сигнале  $U_d$  (помеха по сети)

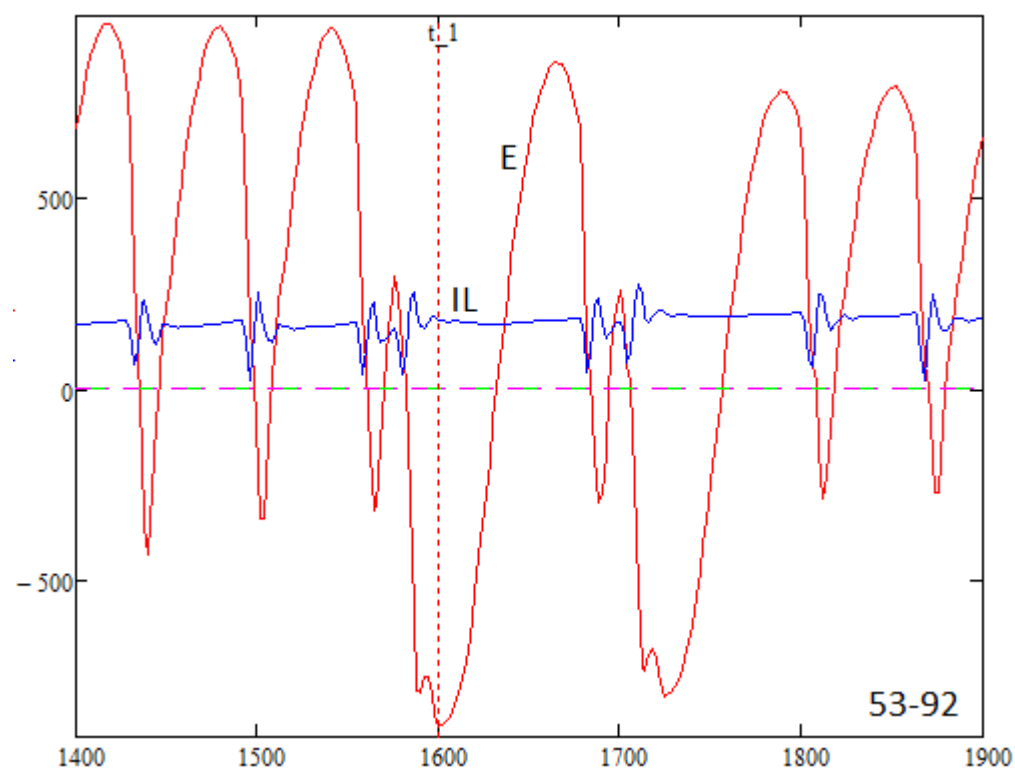


Рис. 6. 53-92. Ложный ИУ формируется вследствие помехи в сигнале  $IL$ ; происхождение помехи – в  $RC$ -цепях не демпфирован обратный выброс тока тиристоров

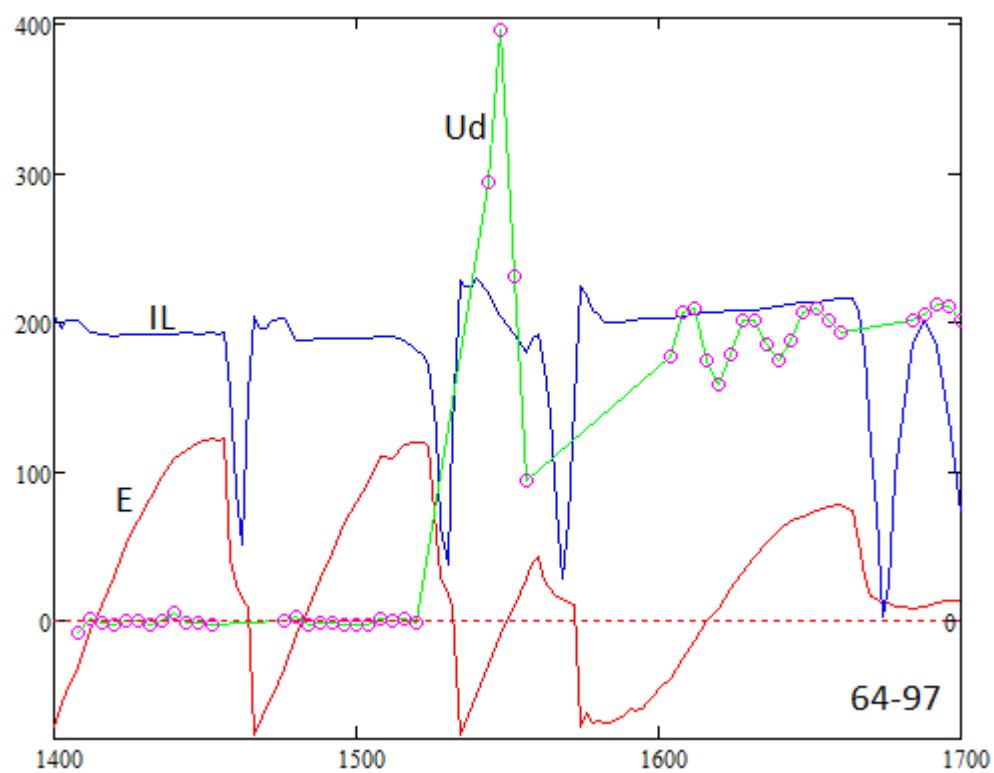


Рис. 7. 64-97. Ложный ИУ инвертора от помехи в сигнале IL; происхождение помехи - включение очередного тиристора выпрямителя

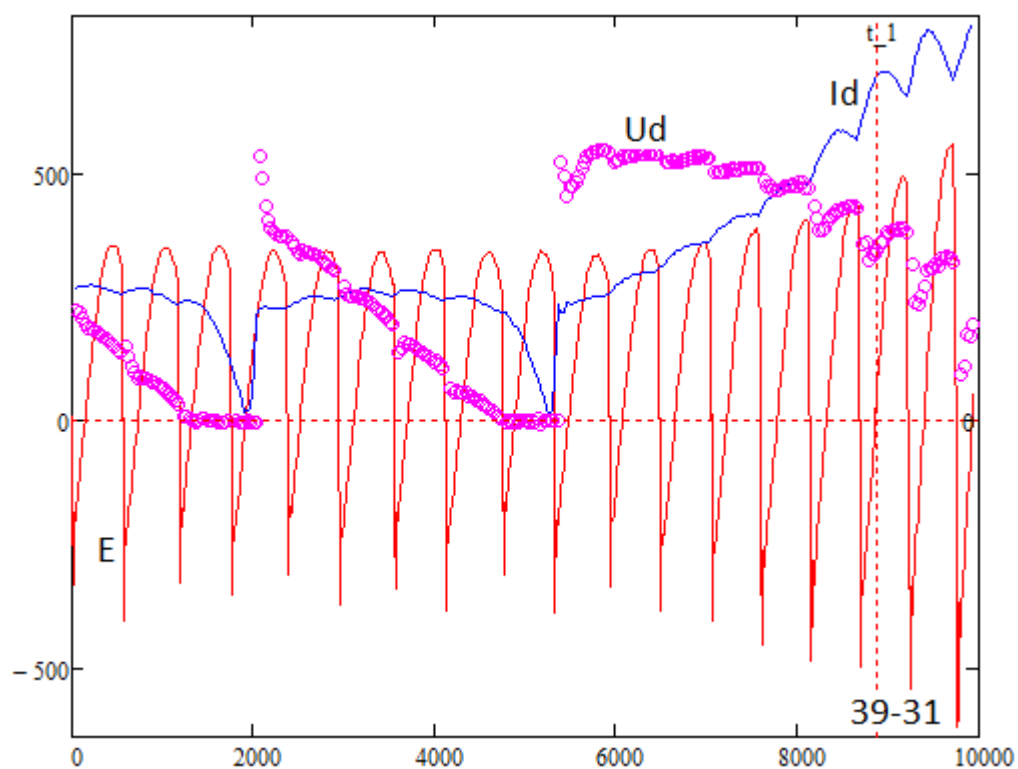


Рис. 8. 39-31. Ложное включение тиристора выпрямителя, что эквивалентно скачку угла управления  $\alpha = \alpha - 60^\circ$

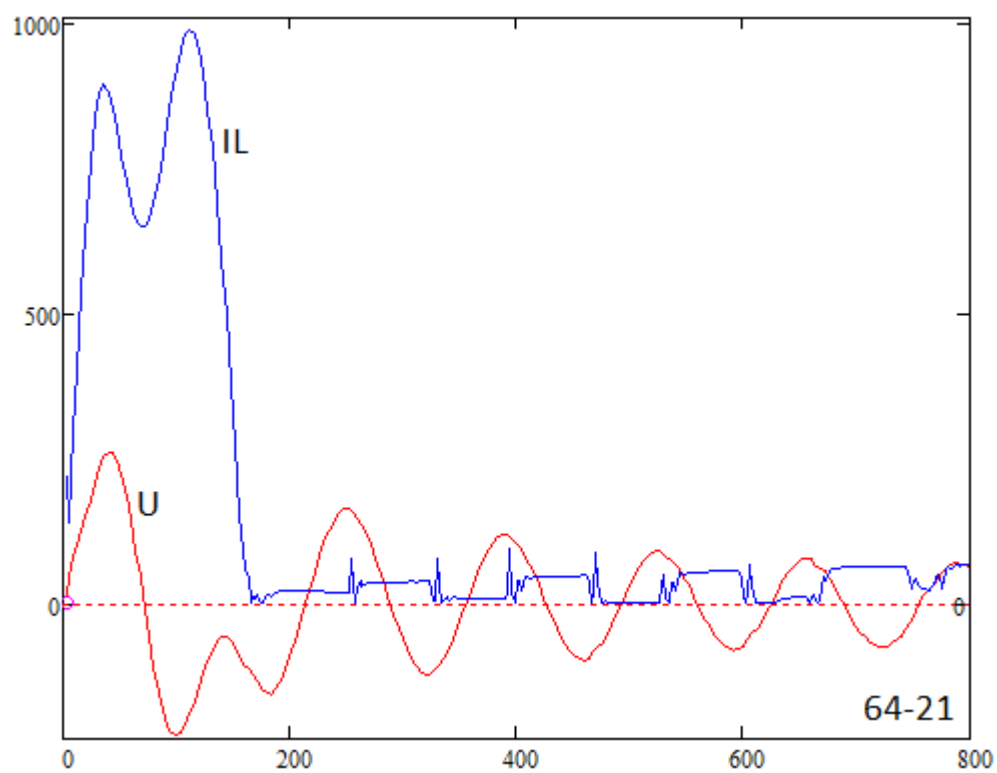


Рис. 9. 64-21. «Двугорбый» разряд тока, пусковая емкость намного (в несколько раз) больше требуемой

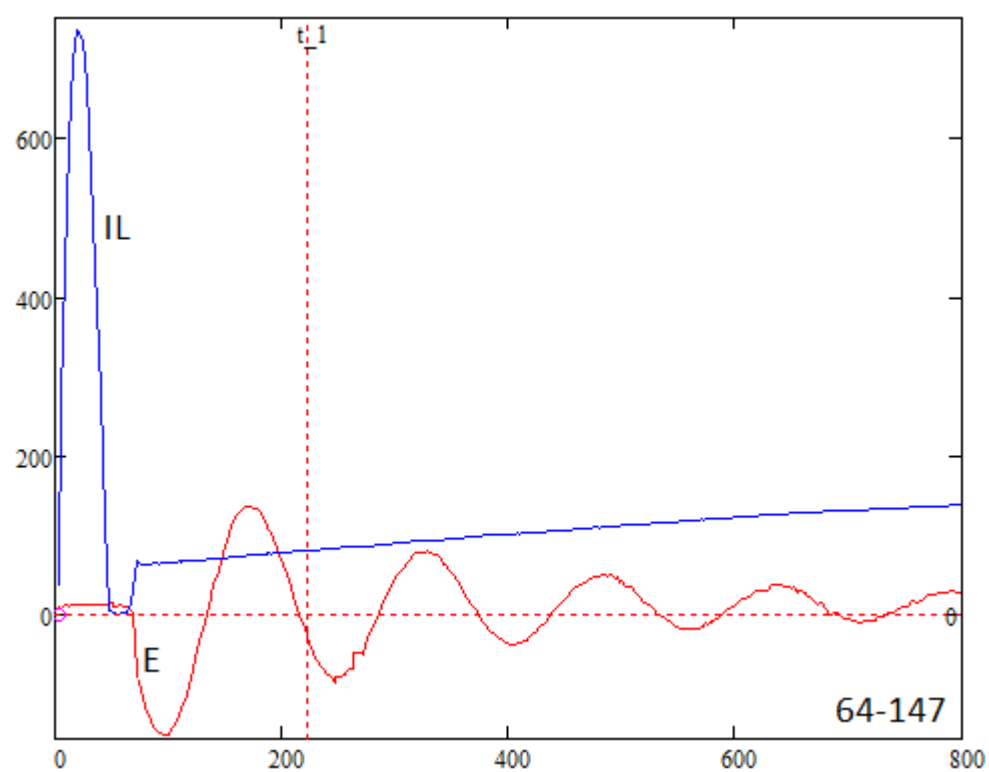


Рис. 10. 64-147. ИУ инвертора есть, а коммутаций нет – надо перевернуть полярность проводов от разрядных тиристорных Блока Пуска до шин инвертора в точках X, Y

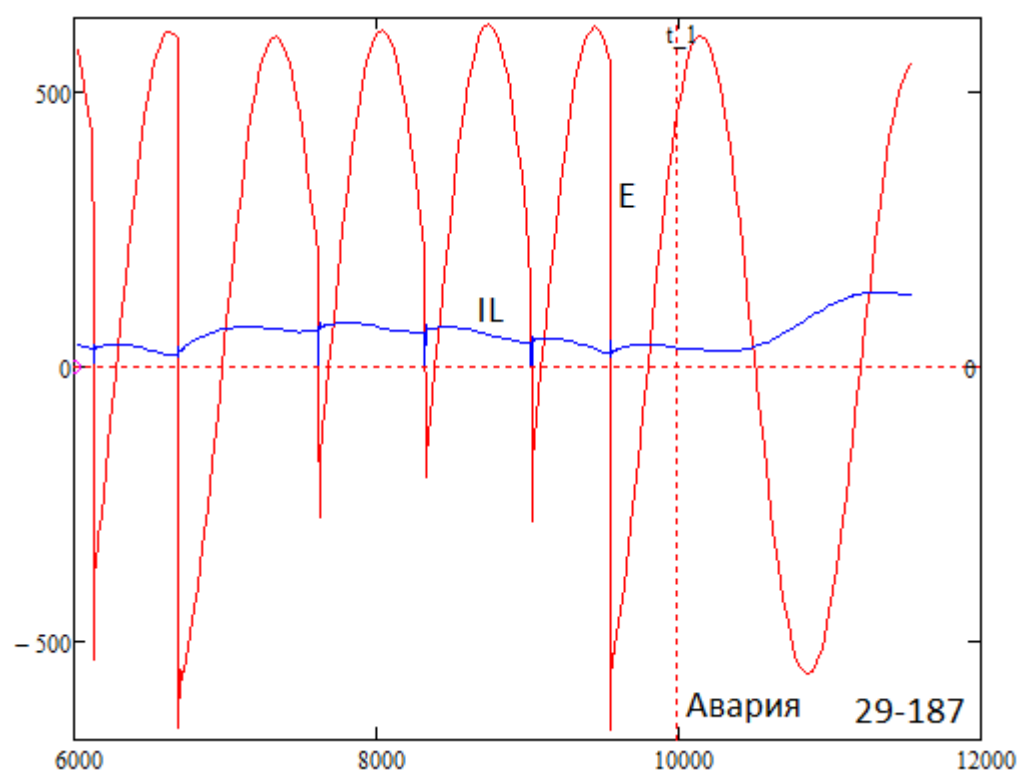


Рис. 11. 29-187. Интервал коммутации недопустимо узкий, сработала Авария в момент  $t_1$ , затем снимаются ИУ

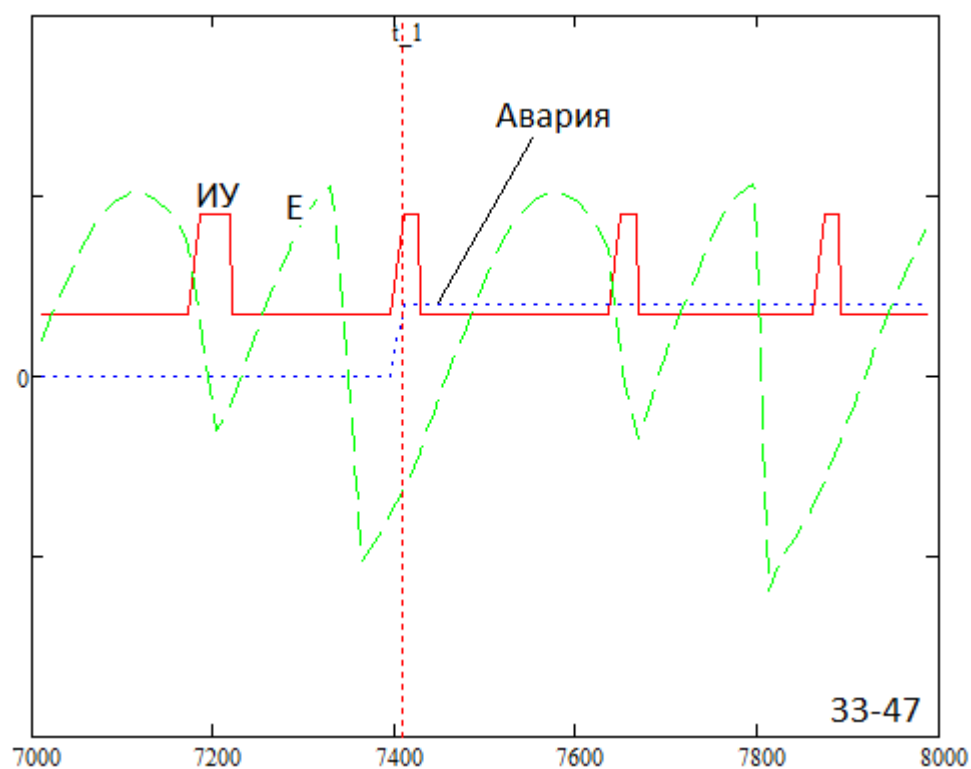


Рис. 12. 33-47. ИУ не совпадает с переключением противоэзд Е; ухудшился класс тиристора, происходит самовключение в момент достижения пробивного напряжения

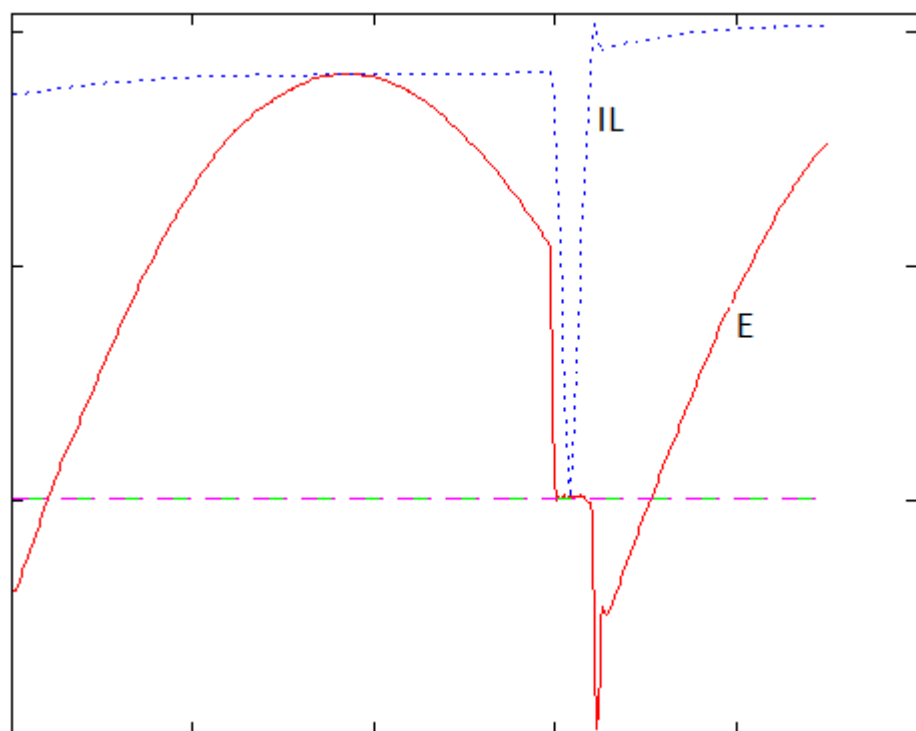


Рис. 13. Нормальная коммутация, когда происходит смена активной диагонали моста (сигнал IL – выпрямленный)

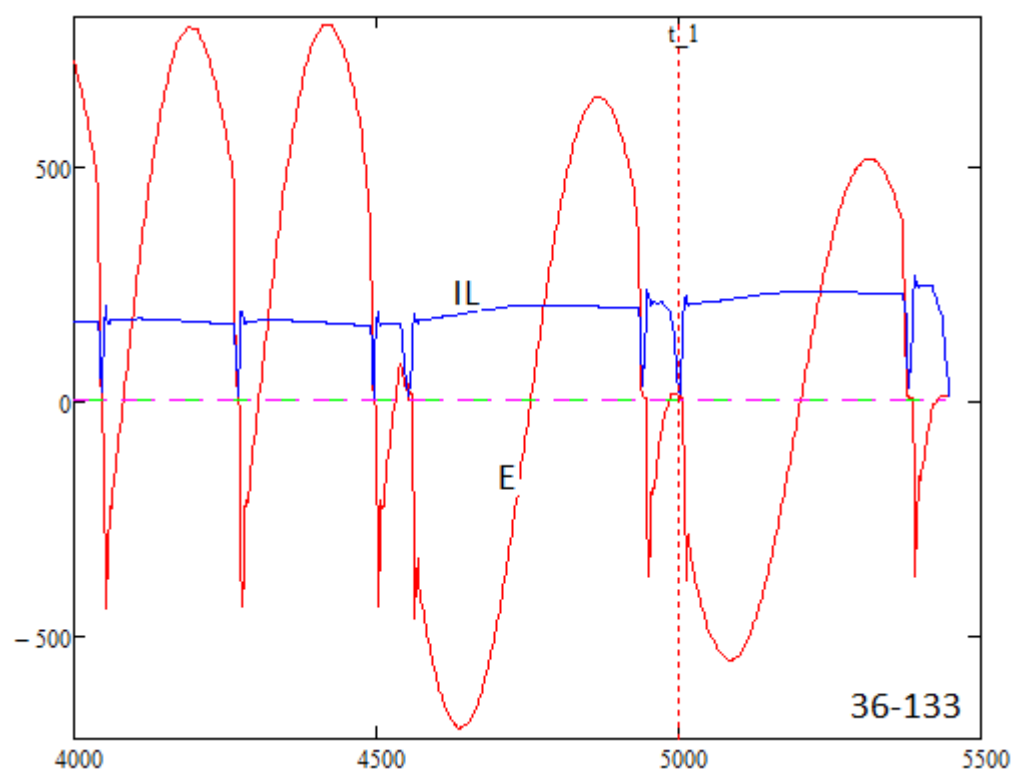


Рис. 14. 36-133. Две первых коммутации завершены, затем запирающие свойства ухудшились или потеряны – коммутации незавершенные, каждый раз возвращается предыдущая диагональ



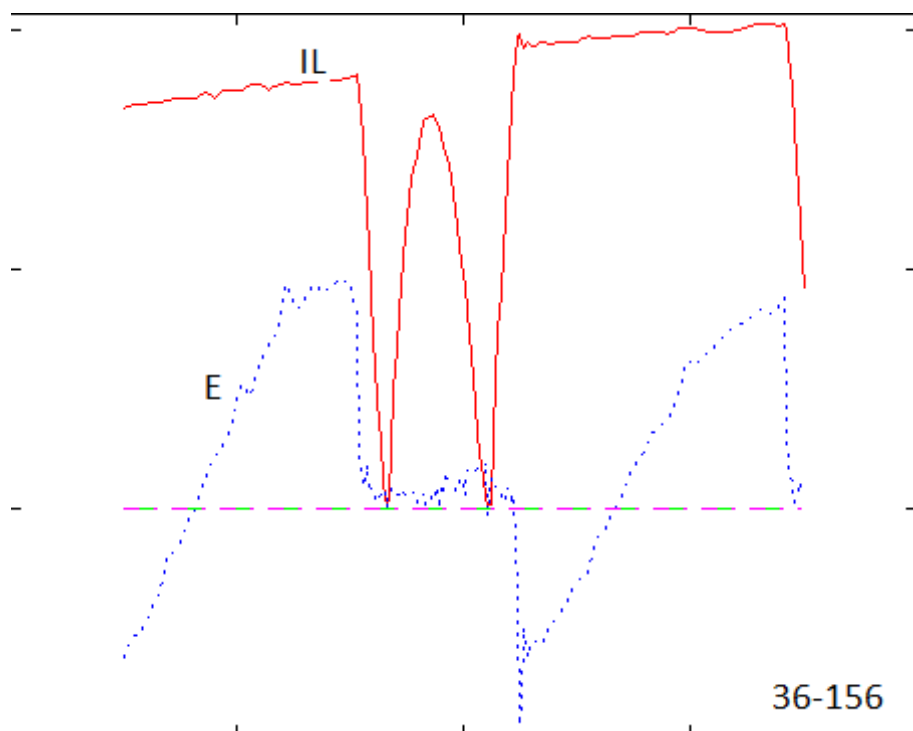


Рис. 15. 36-156. Незавершенная коммутация – предоставляемое время  $t_q$  не существует; после проводимости 4-х тиристоров возвращается предыдущая диагональ

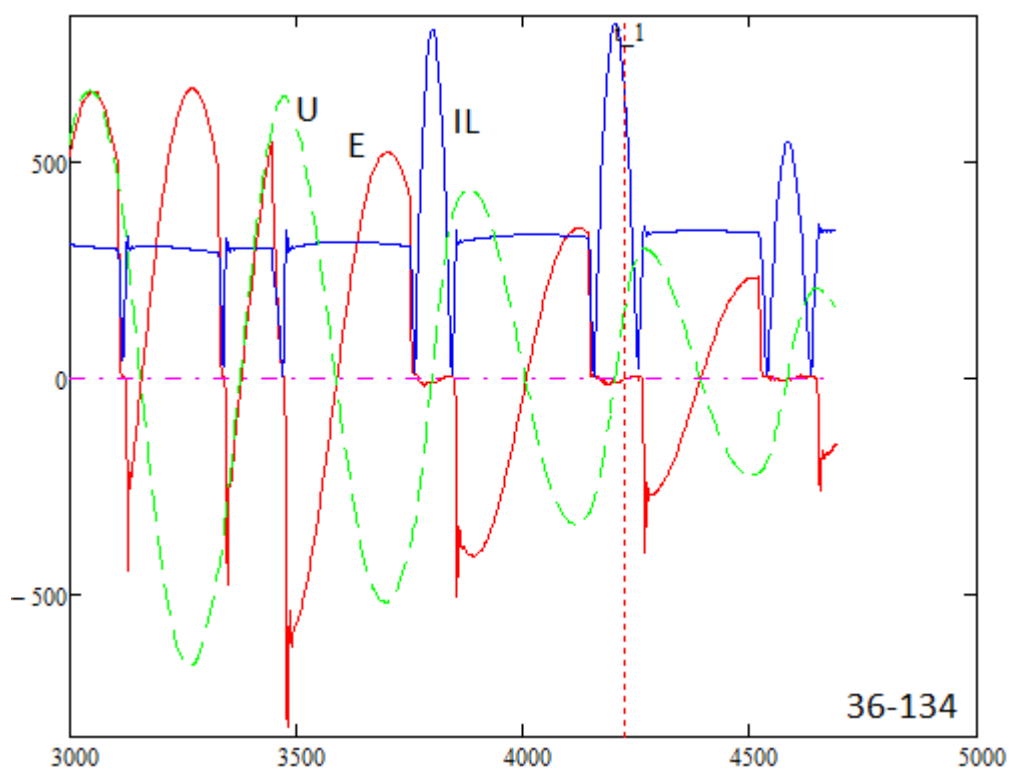


Рис. 16. 36-134. Первые две коммутации нормальные, затем тиристор пробивается; в следующих трех коммутациях видна проводимость в прямом и обратном направлении

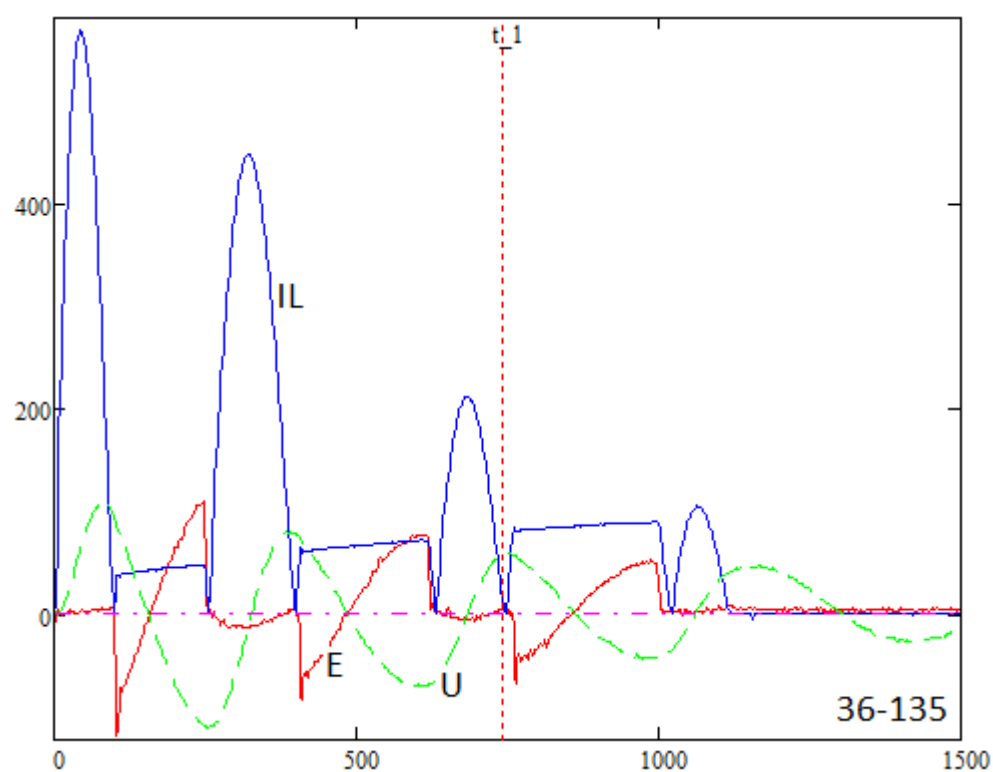


Рис. 17. 36-135. Нормальных коммутаций нет, пуск с изначально пробитым тиристором

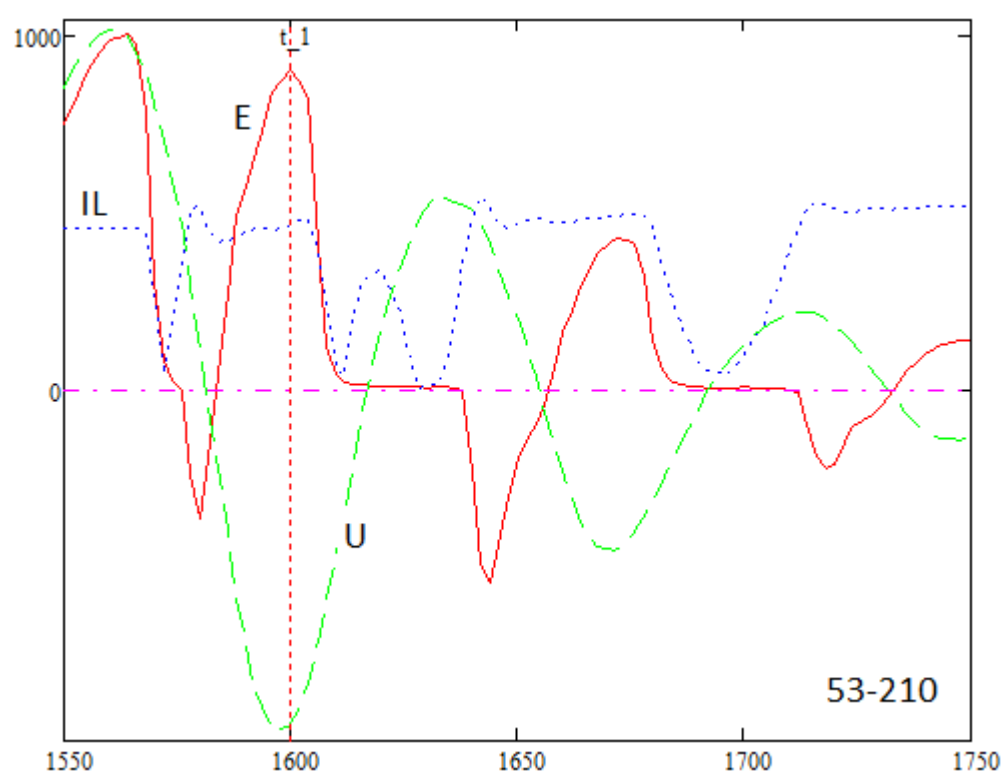


Рис. 18. 53-210. Первая коммутация нормальная, вторая и третья – незавершенные

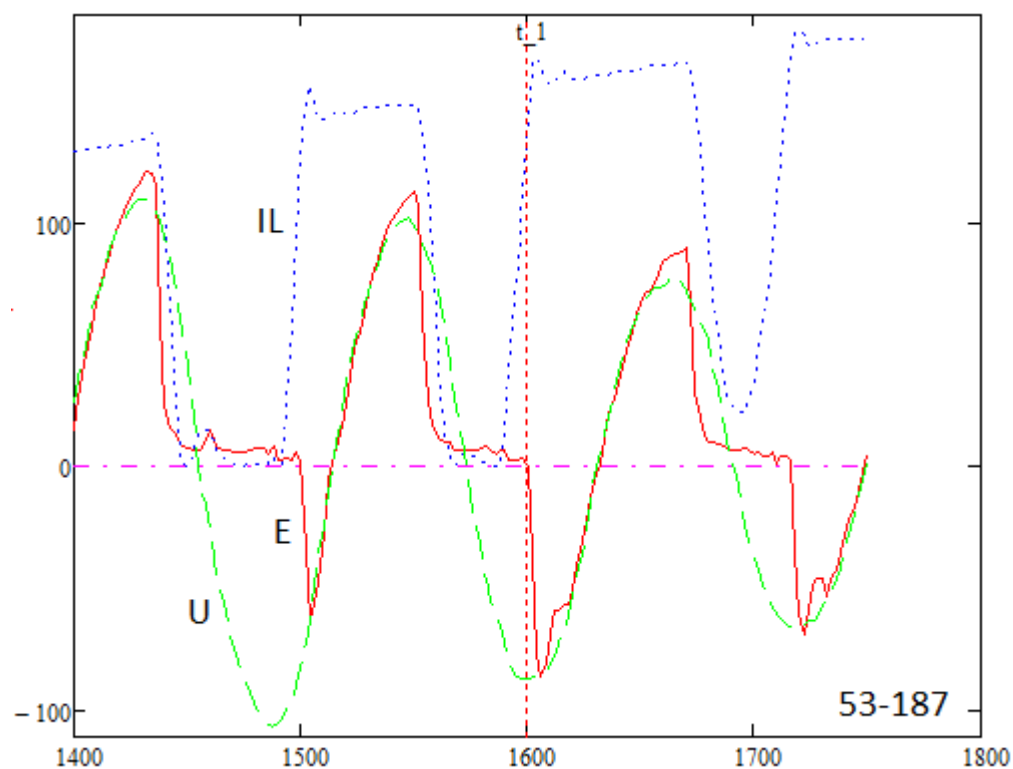


Рис. 19. 53-187. В 1-ой и 2-ой коммутациях видна пауза тока – т.н. Опрокидывание через 3 плеча или полу завершенная коммутация – только один тиристор самовключился, второй выключен, его ток стал равен нулю, и остались включены только 2 тиристора полумоста, после ИУ возвращается диагональ; здесь 3-я коммутация незавершенная

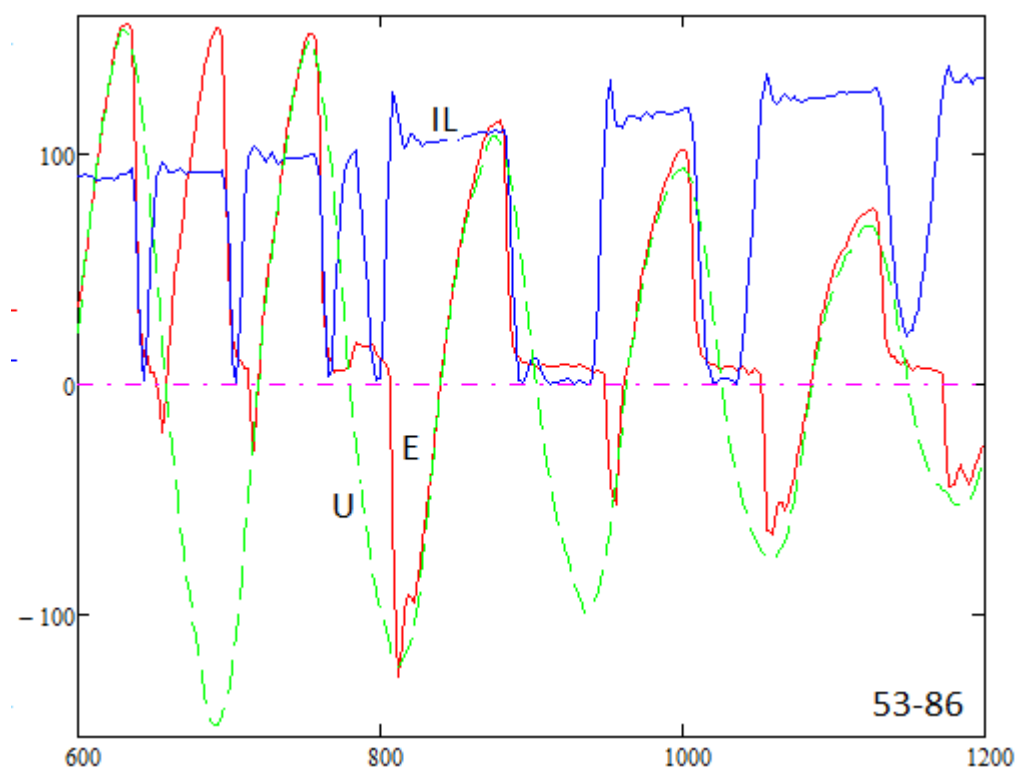


Рис. 20. 53-86. Первых 2 коммутации завершенные, 3-я незавершенная, 4-ая и 5-ая – полу завершенные, 6-ая незавершенная

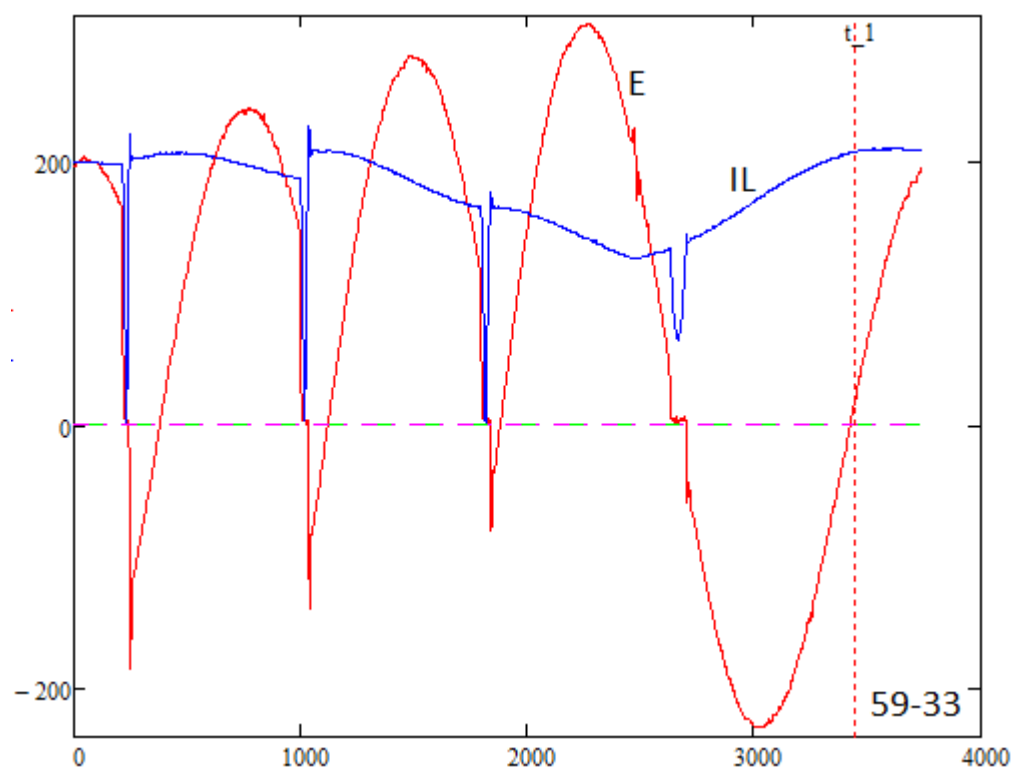


Рис. 21. 59-33. Нет стабильности предоставляемого времени  $t_q$  – настроечные Константы (потенциометры) установлены неправильно

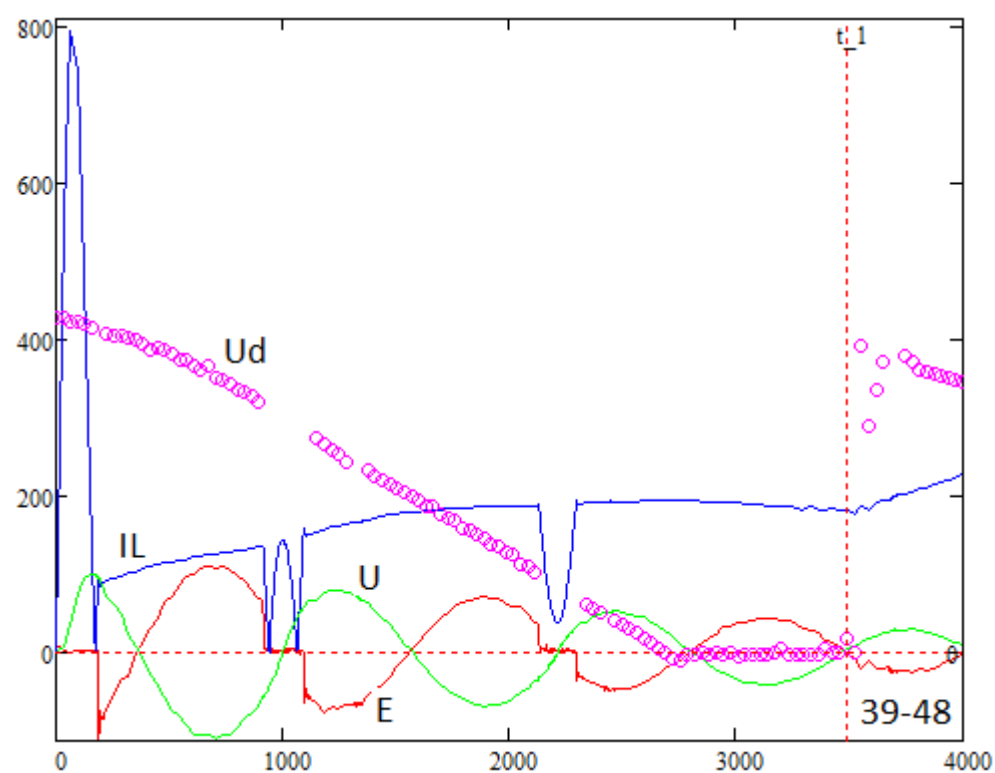


Рис. 22. 39-48. Опрокидывание при Пуске ТПЧ; коммутации незавершенные; Константы (потенциометры) установлены неправильно

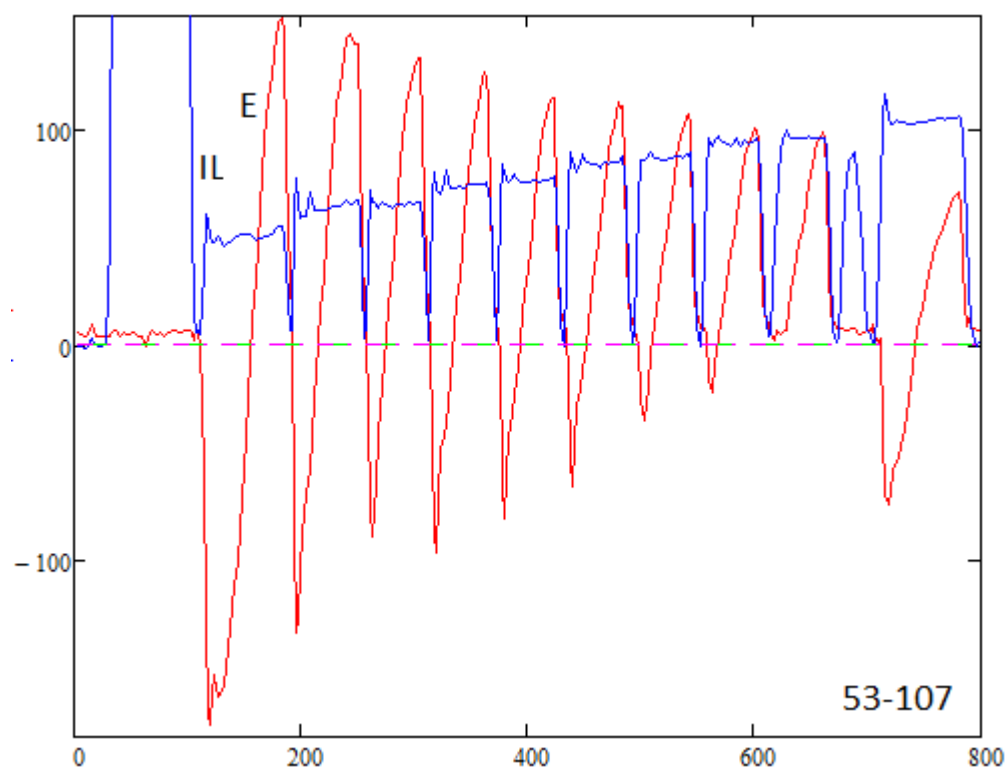


Рис. 23. 53-107. Предоставляемое время  $t_q$  избыточное, настроечные Константы (потенциометры) неправильные, в результате ухудшается темп роста колебаний в контуре и через несколько полупериодов коммутации становятся невозможны

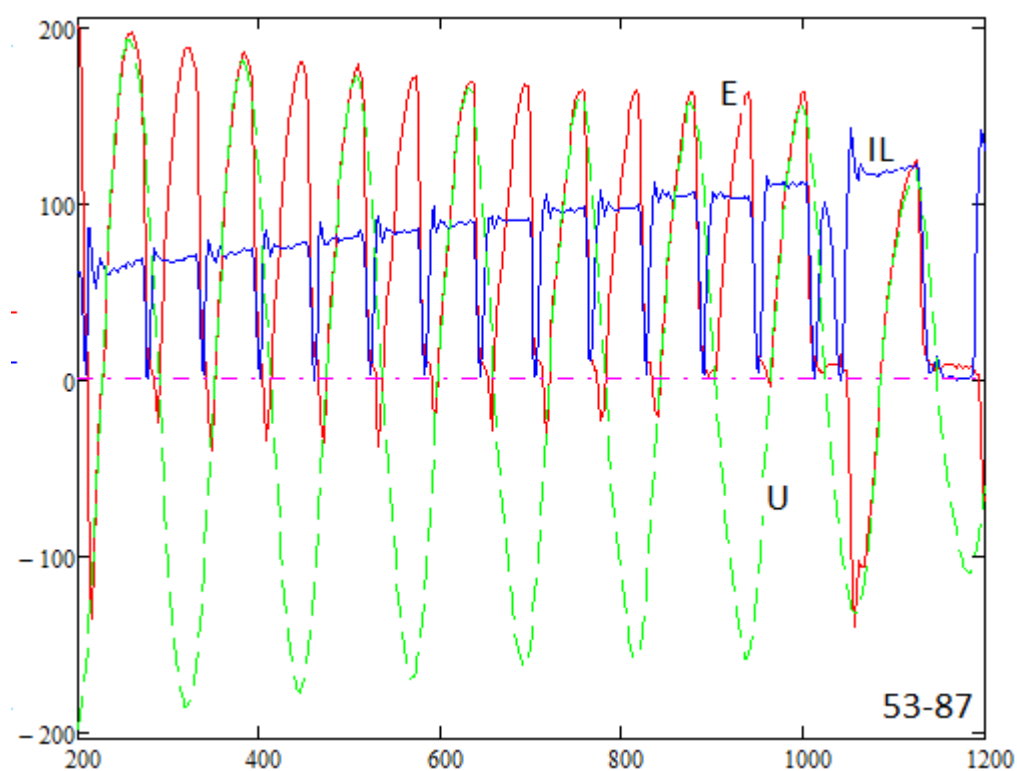


Рис. 24. 53-87. Срыв коммутаций, если индуктор перегружен металлом в холодном состоянии выше нормы или индуктивность линии  $L_k$  выше нормы

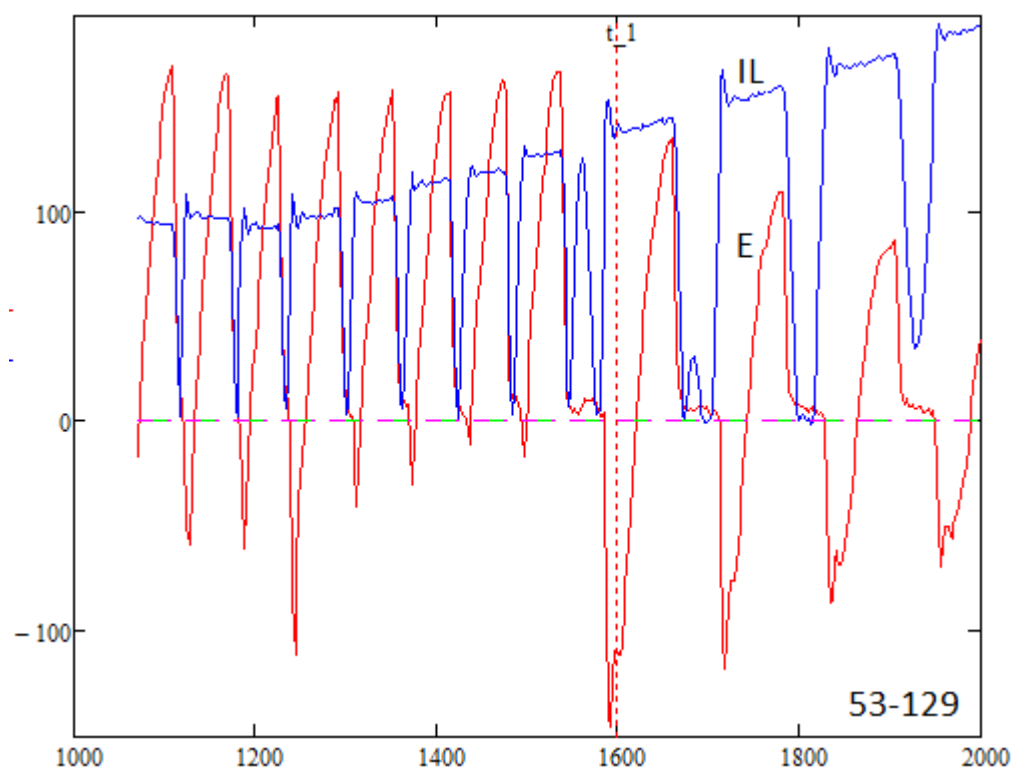


Рис. 25. 53-129. Третий ИУ инвертора сдвинут влево по помехе ( $t_q$  завышено), что в конечном итоге привело к срыву коммутаций

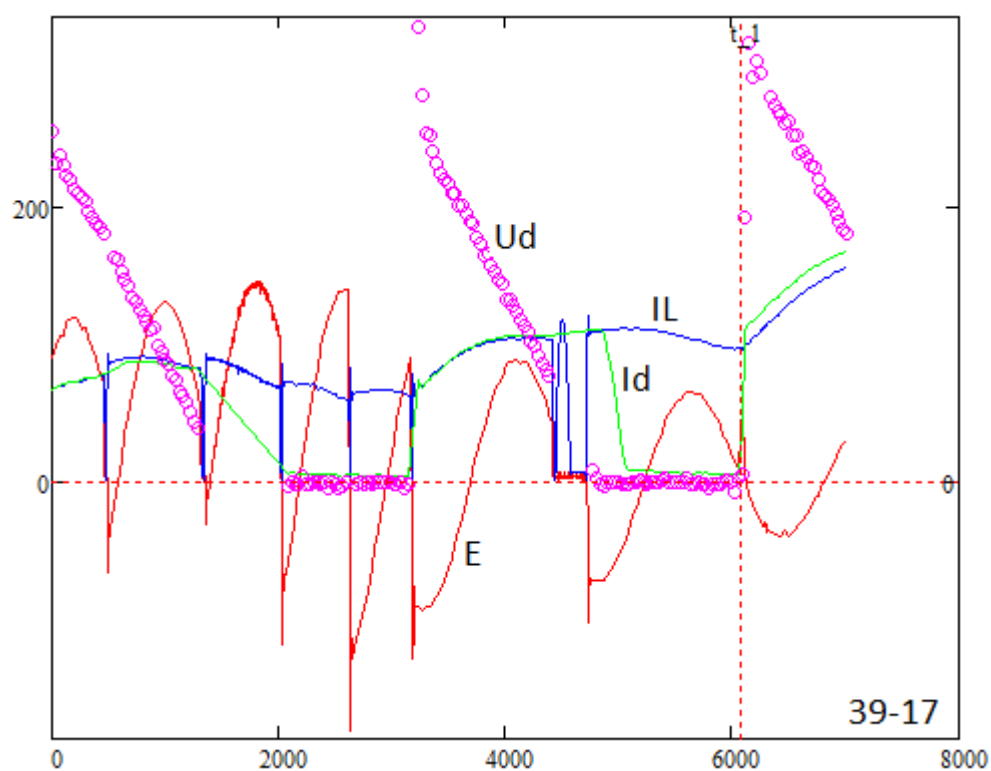


Рис. 26. 39-17. В 5-ой коммутации ложный ИУ инвертора совпадает с ИУ выпрямителя, что приводит к срыву коммутаций

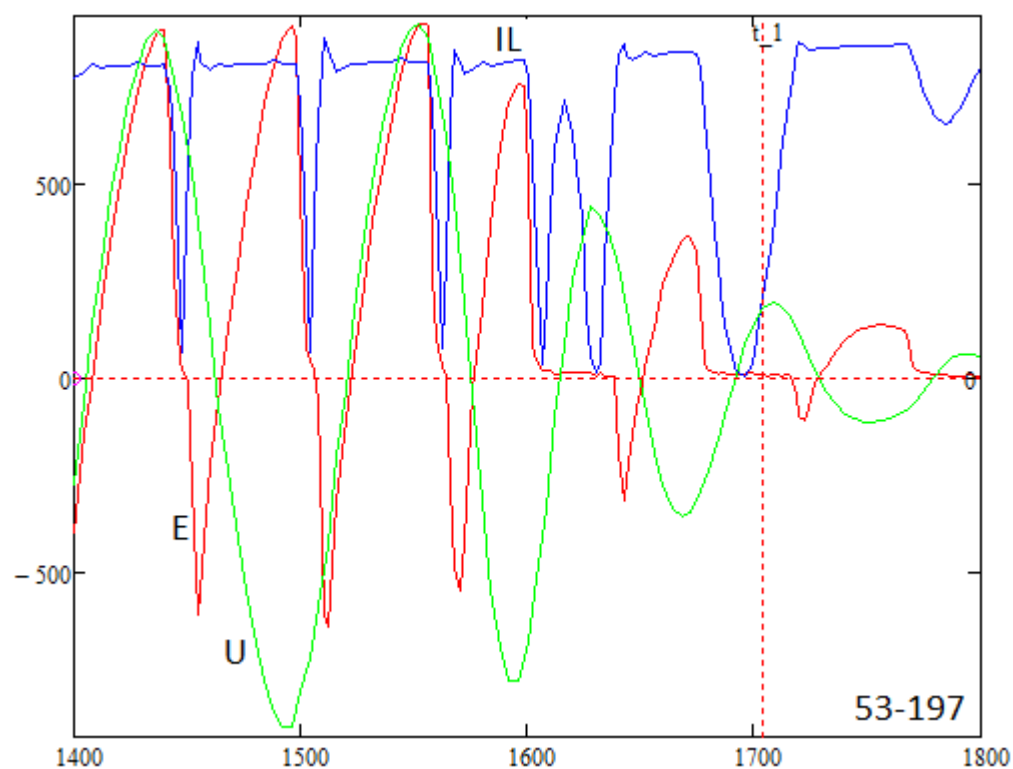


Рис. 27. 53-197. Скачком изменились параметры нагрузки, амплитуда напряжения контура внезапно уменьшилось, частота увеличилась – признаки короткого замыкания в индукторе

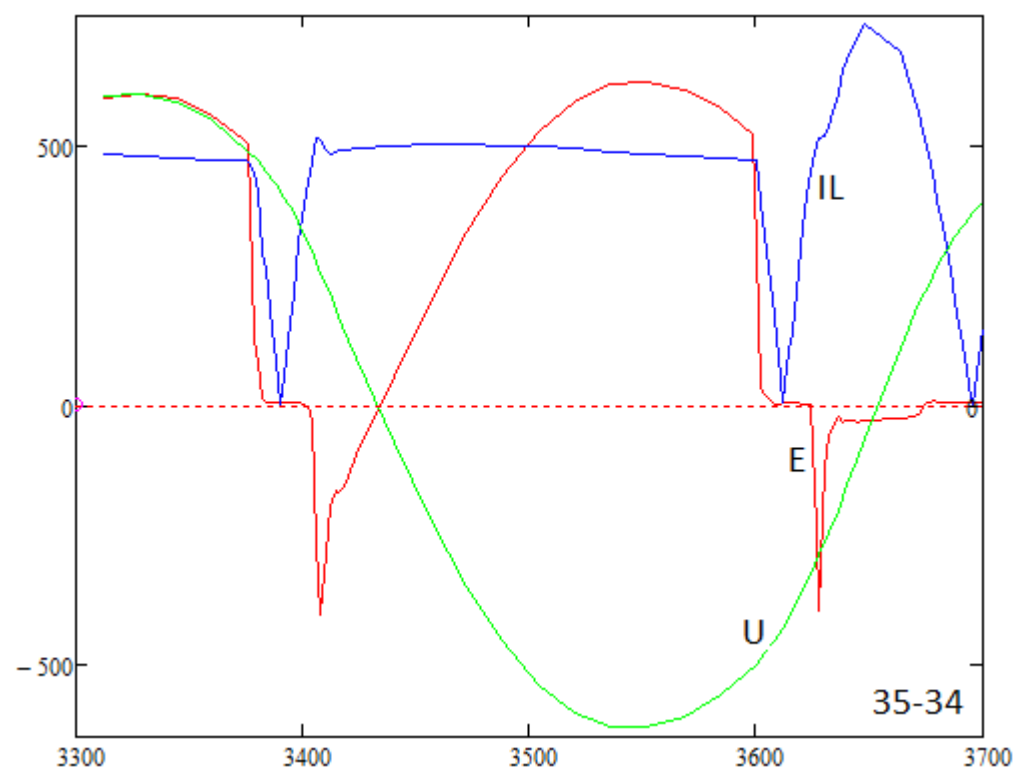


Рис. 28. 35-34. Пробой тиристора отрицательным напряжением – появляется КЗ – двусторонняя проводимость; ток достаточно большой, видимо тиристор перегрелся