

С 345
Б-447

БЕЛЯЕВ А.Н. и др

+

Б2-1732

Б2-1732

ЗАЩИТА ОТ СРЫВА ИНВЕРТОРА
СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ
МАГНИТА СИНХРОФАЗОТРОНА.

820912

—ОТЧЁТ—

Рукопись поступила
в издательский отдел
18 VI 1964

Объединённый институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Б-2-1732

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория высоких энергий

БЕЛЯЕВ Л.Н., ГЛУЩЕНКО В.Г., ПАВЛОВ Н.И., СМИРНОВ А.А.,
КУРСКОВ И.А.

ЗАЩИТА ОТ СРЫВА ИНВЕРТОРА СИСТЕМЫ
ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ МАГНИТА СИНХРОФАЗОТРОНА.

/ОТЧЁТ/.

С 345

Б-1114

г. Дубна, 1960 г.

1. СРЫВ ИНВЕРТОРА: ПРИЧИНЫ, ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РАЗВИТИЯ.

Срыв инвертора (или опрокидывание инвертора, прорыв инвертора) является одной из причин, приводящих к перерыву в работе системы электропитания магнита синхрофазотрона. В 1958 и 1959 годах ряд срывов инвертора сопровождался разрушениями токоведущих элементов стоек преобразователей и длительным простоем системы питания, что заставило уделить этому вопросу серьезное внимание.

Можно назвать следующие основные причины, которые могут вызывать срыв инвертора:

1. Незавершенная коммутация, причиной которой в свою очередь могут быть перегрузка одной фазы или одного вентиля, нарушение температурного режима работы вентиля и др.;
2. Пробой вентиля в прямом направлении из-за ухудшения вакуума, нарушения работы сеточных цепей или других причин;
3. Обратные зажигания;
4. Пропуски поджигания вентиля.

В системе электропитания синхрофазотрона наиболее вероятными являются первые две группы причин. Обратные зажигания отдельных вентиля в инверторном режиме и пропуски поджигания отдельных вентиля в инверторном режиме приводят к перегрузкам других вентиля, работающих совместно с дефектными. Последующий срыв инвертора может иметь или не иметь места в зависимости от совокупности других причин (температурный режим, величина общего тока системы и т.д.).

Практически наблюдались случаи обратных зажигания и пропусков поджигания в инверторном режиме, не сопровождавшиеся срывом инвертора.

Если причиной срыва инвертора является незавершенная коммутация, то аварийный процесс развивается следующим образом, Рассмотрим аварийный трехфазный преобразовательный мост (рис.1), где: ж, з, к выводы фаз одной звезды генератора; 1, 2, 3, 4, 5, 6 - игнитроны; L_0 и R_0 - индуктивность и сопротивление обмотки магнита синхрофазотрона. Другие преобразовательные мосты, работающие параллельно с аварийным на обмотку магнита, условно на рис. 1 не показаны.

На рис. 2а изображены синусоиды фазных напряжений генератора и цифрами 1... 6 обозначены примерно диапазоны горения тех или иных клапанов при режиме инвертирования.

На рис. 2б сплошной линией показано выпрямленное напряжение инвертора в предположении $\alpha = 24^\circ$, $\gamma = 18^\circ$.

Предположим, что горят клапаны 2 и 3, и начинается коммутация тока с клапана 3 на клапан 5. Если вследствие каких-либо причин (например, увеличение γ или уменьшение α) коммутация тока 3-5 не закончится до момента времени t , то вслед за этим начинается обратная коммутация тока 5-3 под действием возрастающего линейного напряжения между фазами з и к генератора. Кривые изменения потенциала анодов 3 и 5 на рис. 2а и выпрямленного напряжения при наличии коммутационного процесса 3-5-3 на рис. 2б нанесены точками. Кривая выпрямленного напряжения при горении клапанов 2 и 3 после

незавершившейся коммутации 3-5 на рис. 2б показана пунктирной линией. После открытия вентиля 4 и коммутации тока с вентиля 2 на вентиль 4 напряжение на инверторе определяется суммой падения напряжения в двух последовательно горящих вентилях 3 и 4, что в масштабе рис. 2б приблизительно равно нулю.

На рис. 3а совмещены кривые выпрямленного напряжения в инверторном режиме мостов с нормальной коммутацией и моста, давшего срыв инвертора. Разность этих двух напряжений (рис. 3б) вызывает коммутацию тока со всех "здоровых" мостов на поврежденный. Для сравнения на рис. 3б построена пунктиром кривая эдс, коммутирующей в нормальном инверторном режиме ток с вентиля на вентиль. Ясно, что коммутация тока с моста на мост при срыве - это процесс, протекающий быстрее, чем нормальная коммутация тока с вентиля на вентиль.

Дальнейшее развитие процесса срыва инвертора удобно проследить по кривым токов вентиляей (рис. 4а) и кривым коммутирующих эдс (рис. 4б).

До момента начала коммутации 3-5 все идет нормально: коммутирующие эдс справляются с коммутацией нормальных рабочих токов. Если по той или иной причине коммутация тока с вентиля 3 на вентиль 5 не завершилась, то вентиль 5 тут же гаснет, а на горящие вентили 2 и 3 коммутируется ток со всех "здоровых" мостов, работающих параллельно. Скорость коммутации определяется величиной коммутирующей эдс (рис. 3б), а максимальное значение тока равно току магнита в момент, предшествующий срыву. Поджигаемый в свою очередь вентиль 4 принимает ток с вентиля 2.

Предположим, что, хотя срыв инвертора произошел, последовательность и углы зажигания вентилях сохранились таким же, как в нормальном инверторном режиме. Первый после возникновения срыва в рассматриваемом случае должен будет поджечься (рис. 4а) вентиль 1. Однако, вентиль 1 может принять ток лишь с вентиля 5, в соответствии с кривыми фазных напряжений рис. 2а. Поэтому, хотя цепи поджигания вентиля 1 в положенный момент сработают и дуга "катод-подхватывающий анод" в вентиле 1 возникнет, дуга с катода на главный анод развиваться не сможет. Продолжают гореть вентили 3 и 4.

Спустя 180 эл.град. аналогичное событие произойдет с вентилем 2, который по тем же причинам, что и вентиль 1, загореться не сможет.

Не будем особо рассматривать моменты, соответствующие поджиганию вентилях 3 и 4, т.к. они уже горят (а вентили 1 и 2, с которых они соответственно могли бы принять ток не горят), и поджигание цепей управления вентилями 3 и 4 ничего нового в режим срыва инвертора не вносит.

При поджигании вентиля 6 в контуре, включающем фазу "э" и фазу "к" генератора и вентили 4 и 6, действует эдс (рис. 4б) стремящаяся скоммутировать ток с вентиля 4 на вентиль 6. Однако, если коммутирующий эдс, описанной кривоугольным треугольником на рис. 4б, было достаточно для коммутации рабочего тока вентиля, то коммутировать ток срыва инвертора она не в состоянии. Эта коммутация закончится возвращением всего тока в вентиль 4 и будет связана с протеканием по

вентилю 6 и по фазам "з" и "к" генератора импульса коммутационного тока, причем длительность этого импульса примерно равна удвоенному углу регулирования в силу симметрии коммутирующей эдс 4-6-4 относительно нуля.

Аналогично, через 180 эл.град. произойдет попытка коммутации 3-5-3. В кривой тока вентиля 3 появится провал, точно отвечающий всплеску тока через вентили 5.

Продолжают гореть вентили 3 и 4: инвертор не способен самовосстановиться.

Из сказанного также ясно, что отдельный преобразовательный мост, работающий на пассивную нагрузку (индуктивность) способен к самовосстановлению инвертора, т.к. здесь нет сброса тока со "здоровых" мостов на поврежденный. Картина самовосстановления инвертора на отдельно работающем преобразователе дана на рис. 5а и 5б, которые не требуют дополнительного пояснения.

Если причиной срыва инвертора является пробой вентиля в прямом направлении, то характер развития процесса срыва остается примерно тем же. Поскольку пробой вентиля более вероятен в момент максимума прямого напряжения, коммутация тока на пробившийся вентиль произойдет очень быстро (так как коммутирующая эдс больше) и коммутация тока со "здоровых" мостов на "поврежденный", тоже пройдет ускоренно. Кроме того, если срыв развивается из незавершенной коммутации, весьма вероятно равномерное деление тока между параллельно работающими вентилями (каждый из вентиляй принципиальной схемы рис. I выполнен в реальной схеме двумя параллельно включенными игнитронами типа

ИВУ-100/15). При пробое одного из вентиля весь ток магнита устремляется в него, что приводит к вдвое более тяжелым перегрузкам вентиля, чем при срыве, развивающемся из незавершенной коммутации.

II. ЗАЩИТА ОТ СРЫВА ИНВЕРТОРА (ОКБ).

Как показано выше, при параллельной работе игнитронных преобразователей, инвертор после срыва не способен к самовосстановлению. Два последовательно горящих вентиля моста, давшего срыв инвертора, шунтируют обмотку магнита синхрофазотрона, и ток в замкнутом контуре "обмотка магнита - два последовательно горящих вентиля" будет медленно спадать до нуля. Максимальное значение тока в этом контуре не может быть больше максимума тока в цикле, т.е. 12 ка. Скорость спада тока определяется главным образом параметрами обмотки магнита и, следовательно, может быть охарактеризована постоянной времени порядка 25 секунд.

Длительное протекание столь больших токов через игнитроны может привести к потере их работоспособности окончательной или временной. Могут быть повреждены также наиболее слабые в термическом отношении звенья цепи тока срыва инвертора.

Этими условиями вызывается необходимость осуществления защиты преобразователя от срыва инвертора в системе электропитания синхрофазотрона.

Первая из примененных в системе электропитания магнита синхрофазотрона защита от срыва инвертора была основана на принципе, предложенном ОКБ: перевод преобразователя при срыве инвертора на один - два периода в выпрямительный режим.

При переводе преобразователей, работающих параллельно, из режима срыва инвертора в выпрямительный режим развиваются одновременно два процесса: коммутация тока внутри моста, давшего срыв, и коммутация тока с этого моста на остальные, сбросившие нагрузку при возникновении срыва инвертора.

Внутри моста, давшего срыв, коммутация тока с вентиля на вентиль идет в последовательности и в фазах, соответствующих выпрямительному режиму. Поскольку вначале коммутируется ток срыва, равный сумме токов всех параллельно работающих преобразователей (до I_2 ка), то коммутация затягивается. При этом весьма вероятно возникновение обратного зажигания в любом вентиле этого моста, а особенно в вентилях, пропускавших ток срыва. Если обратное зажигание произойдет, то выпрямленное напряжение и выпрямленный ток моста, давшего срыв, падают до нуля.

Коммутация тока с моста, давшего срыв, на остальные происходит под действием разности выпрямленных напряжений этих мостов. Поскольку выпрямленное напряжение моста, давшего срыв в котором коммутируются большие токи, значительно меньше напряжения мостов принимающих нагрузку, то коммутация проходит быстро, примерно, за полпериода.

После выравнивания нагрузок мостов преобразователи вновь переводят в инверторный режим, ток с обмотки магнита постепенно снимается, и цикл заканчивается.

Возможен, однако, повторный срыв инвертора. Схема, предложенная ОКБ, работала в этом случае так: повторный перевод в выпрямительный режим для снятия тока с вентилях, давших срыв; установление режима "паузы" на всех преобразователях и включение замыкателя, шунтирующего обмотку магнита синхрофазотрона сопротивлением 0,4 ома.

При повторном срыве инвертора переход из инверторного режима в режим срыва, а затем в выпрямительный режим происходит так же, как и при первом срыве (если не было отключения ВАР^{ов}).

Переход в режим "паузы" достигается прекращением подачи управляющих импульсов на игнитроны. Коммутация тока с вентиля на вентиль прекращается, остаются гореть те вентили каждого моста, которые пропускали ток перед переходом в режим "паузы", например, вентили 1-4 каждого моста (рис. 6).

При этом к обмотке магнита прикладывается синусоидальное напряжение $U_{ж.з.}$. Одновременно подается сигнал, управляющий включением замкателья.

Момент замыкания контактов замкателья зависит, в частности, от собственного времени работы замкателья, которое имеет известный разброс. Поэтому момент замыкания контактов замкателья может в одних случаях совпадать с положительной полуволной напряжения на обмотке магнита, а в других - с отрицательной. Положительной полуволной напряжения здесь считается такое напряжение, при котором полярность шин такова, как при выпрямительном режиме; при отрицательной полуволне, напряжение на шинах имеет полярность одинаковую с инверторным режимом.

Если момент замыкания контактов замкателья совпадает с отрицательной полуволной напряжения $U_{ж.з.}$, то под действием этого линейного напряжения происходит коммутация тока с системы питания на цепь "замкателья - сопротивление 0,4 ома". Процесс коммутации продолжается всего несколько эл.градусов, после чего вентили гаснут, и энергия, накопленная в магнитном поле, рассеивается

в сопротивлениях контура "обмотка магнита - сопротивление 0,4 ома". Напряжение на шинах спадает на экспоненте с постоянной времени около 5 сек от наибольшего значения 4,8 кв. (для тока магнита 12 ка).

Если момент замыкания контактов замыкателя совпадает с положительной полуволной напряжения $U_{ж.з.}$, то под действием этого напряжения в сопротивлении 0,4 ома протекает полуволна тока положительного направления, достигающего величины 25 ка. При этом в системе питания протекает сумма токов $25+12=37$ ка. Через каждый игнитрон реальной схемы преобразователя ИВ при этом протекает ток более 2 ка.

Этот процесс продолжается не дольше полупериода. Затем напряжение $U_{ж.з.}$ меняет знак, ток системы питания падает до нуля, вентили I-4 гаснут. После погасания вентиля I-4 в контуре, в котором только что протекал большой ток (рис. 6), а именно: " обмотка магнита - вентиль 4 - фазы з и ж генератора - вентиль I" действует напряжение, равное сумме падения напряжения на сопротивлении 0,4 ома и линейной эдс генератора

$$U_{1-4} = U_0 + U_{эдс-з}$$

При токе магнита равном 12 ка, напряжение на обмотке магнита составляет

$$U_0 = 12 \times 0,4 = 4,8 \text{ кв.}$$

Следовательно, кривая напряжения представляет собой синусоиду линейного напряжения $U_{ж.з.}$ генератора, поднятую над осью абсцисс на 4,8 кв (рис. 7). Такой характер напряжения восстанавливающегося на вентилях I-4 в сочетании с предшествующим

протекаением по этим вентилям очень большого тока создают условия для прорыва вентилей I-4. Поскольку эдс генератора спадает быстро (постоянная времени цепи ротора генератора меньше секунды), а ток магнита спадает значительно медленнее, то спустя короткое время, создаются условия для устойчивого горения вентилей I-4 (рис. 7а), и энергия магнитного поля синхрофазотрона рассеивается в сопротивлениях контура "обмотка магнита - фазы ж и з генератора". Такой режим сравнительно часто наблюдался практически, при этом вентили, длительно пропускавшие ток, на некоторое время (15-30 минут) теряли работоспособность.

ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ СХЕМЫ ОКБ ЗАЩИТЫ ОТ СРЫВА

ИНВЕРТОРА.

За 2800 часов работы системы электропитания в циклическом режиме с наибольшим током 10.000 ампер (I.1957-IV-1959) имел место 171 срыв инвертора.

В 110 случаях срыв инвертора не сопровождался обратными зажиганиями. Защита от срыва инвертора успешно справлялась с ликвидацией ненормального режима. В части случаев возникал повторный срыв, однако большая часть срывов протекала как однократный срыв инвертора.

В 61 случае срыв инвертора сопровождался обратными зажиганиями и работой автоматических быстродействующих выключателей ВАБ"ов. При этом всегда отмечался повторный срыв инвертора.

В 61 случае срыв инвертора сопровождался обратными зажиганиями и работой автоматических быстродействующих выключателей ВАБ^нов. При этом всегда отмечался повторный срыв инвертора. Обратные зажигания возникали обычно в нескольких вентилях одновременно: в общей сложности за 61 рассматриваемый случай отключалось 204 ВАБ^на. Отключение ВАБ^нов почти всегда сопровождалось громким ударом, часты были повреждения дугогасительных камер, рогов и главных контактов ВАБ^нов. Следовательно, защита от срыва инвертора не справлялась с задачей локализации повреждения и быстрой ликвидации ненормального режима.

В трех случаях срыв инвертора, возникший, например, по вентилям 3-4 моста I, при работе защиты от срыва инвертора развился в одновременное обратное зажигание вентилей 3-4. При этом образовалось короткое замыкание на главных шинах постоянного тока, и в последовательно горящие вентили 3-4 устремился суммарный ток короткого замыкания всех параллельно работающих преобразователей (порядка 50-70 ка!). Протекание столь больших токов по токоведущим частям стойки преобразователя вызвало серьезное разрушения анодных делителей, ошиновки и опорных изоляторов, после чего на стойке возникла дуга, усугублявшая характер разрушений. Можно сказать, что в этих случаях работа защиты от срыва инвертора способствовала развитию срыва инвертора в более тяжелый вид повреждения - короткое замыкание на шинах постоянного тока в выпрямительном режиме

ВЫВОДЫ:

1. Схема ОКБ защиты от срыва инвертора в 65% случаев успешно ликвидирует ненормальный режим.

2. Примерно в 35% случаев защита от срыва инвертора не справляется с задачей локализации повреждения, возникают групповые обратные зажигания с тяжелыми условиями гашения дуги в ВАБ"ах.

3. В отдельных случаях работа защиты от срыва инвертора приводит к возникновению более тяжелого аварийного режима - короткого замыкания на шинах постоянного тока в выпрямительном режиме.

4. Возникновение режимов разряда обмотки магнита синхροфазотрона на обмотки одного или нескольких генераторов после замыкания замыкателя связано с наличием в цепи замыкателя сопротивления 0,4 ома.

5. Схема ОКБ защиты от срыва инвертора нуждалась в коренной реконструкции.

III. НОВАЯ СХЕМА ЗАЩИТЫ ОТ СРЫВА ИНВЕРТОРА.

В электротехническом отделе Лаборатории высоких энергий предложена и осуществлена новая схема защиты от срыва инвертора: при возникновении срыва инвертора включается короткозамыкатель, шунтирующий обмотку магнита накоротко. Под действием падения напряжения в двух последовательно горящих вентилях

ток срыва коммутируется с этих вентилей на короткозамыкатель. Использование короткозамыкателя позволяет отказаться от перевода преобразователя в выпрямительный режим для снятия тока с вентилей, давших срыв, а также от прекращения подачи управляющих игнитронами импульсов перед включением замыкателя, т.к. это включение производится в инверторном режиме.

Можно ли исключить сопротивление 0,4 ома из цепи замыкателя? Чем обосновывалась необходимость этого сопротивления?

Замыкатель является основным защитным аппаратом в силовой цепи схемы электропитания обмотки магнита синхροфазотрона. Его назначение - разобщить при аварии систему питания и обмотку магнита, прекратить поток энергии между ними и тем самым облегчить ликвидацию аварии. Работа замыкателя необходима как при авариях в обмотке магнита (витковое замыкание, замыкание на землю, перенапряжение и др.), так и при авариях в системе электропитания (срыв инвертора, замыкание на землю, выпадение генераторов из синхронизма и др.)

Первоначально проектом было предусмотрено установить в цепи замыкателя сопротивление величиной 0,8 ома. В процессе наладки эта величина была снижена до 0,4 ома.

Необходимость сопротивления в цепи замыкателя обосновывалась стремлением:

I. Уменьшить постоянную времени контура "обмотка-замыкатель-сопротивление" и тем самым ускорить затухание тока в обмотке;

2. Не допустить систематического образования короткого замыкания на шинах постоянного тока при включении замыкателя в выпрямительном режиме работы главного преобразователя.

Анализ возможных повреждений обмотки магнита и опыт эксплуатации системы питания показывают, что целесообразно исключить сопротивление 0,4 ома из цепи замыкателя, и при ликвидации разного рода аварий — замыкать обмотку накоротко.

При витковых замыканиях, замыканиях на землю, перенапряжениях на обмотке магнита шунтирование обмотки короткозамыкателем ускоряет прекращение протекания тока через место повреждения. Правда, при замыкании обмотки магнита накоротко ток в ней будет существовать внятеро дольше, чем при шунтировании сопротивлением 0,4 ома. Этот факт может утяжелить лишь аварию, связанную с обрывом, перегоранием самой обмотки. Однако на этот вид повреждения не реагирует ни одна из защит, запроектированных и осуществленных на сегодня, так что, по-видимому, такое повреждение полагали невероятным.

Наличие в цепи замыкателя сопротивления 0,4 ома утяжеляет протекание аварий в системе питания.

При однофазном срыве инвертора работа замыкателя с сопротивлением не может снять тока с поврежденных вентилях. Вынужденное введение специальной защиты, переводящей преобразователь при срыве инвертора в выпрямительный режим утяжеляет в ряде случаев последствия аварии.

При замыкании обмотки накоротко необходимость в переводе в выпрямительный режим отпадает, и работа короткозамыкателя будет ликвидировать срыв инвертора.

Возможность замыкания обмотки магнита накоротко с точки зрения нагрева обмотки проверена расчетом.

При правильной работе схемы защиты короткозамыкатель сможет быть включен лишь при инверторном режиме работы главного преобразователя. Этим исключается возможность "систематического" образования режима короткого замыкания шин постоянного тока в выпрямительном режиме. Можно себе представить лишь случайное, аварийное включение замыкателя в выпрямительном режиме. Однако даже такой случай не грозит разрушениями системы питания. Это положение подтверждается опытом тех аварий, которые развивались в короткое замыкание на шинах постоянного тока: разрушению подвергались лишь те токоведущие части стоек преобразователей, по которым протекал суммарный ток к.з. всех параллельно работающих преобразователей, т.е. ток, превышающий 50...70 ка.

Необходимо, следовательно, принять меры, чтобы сам короткозамыкатель и главный шинопровод были бы устойчивы к динамическим воздействиям суммарного тока к.з. преобразователей.

Ударный ток к.з. на шинах постоянного тока при параллельной работе пяти агрегатов и номинальном напряжении определен в 120 ка.

Расчеты показали, что короткозамыкатель, необходимый для работы в новой схеме защиты от срыва инвертора, может быть выполнен на базе масляного выключателя МГГ-10. Конструктивные отличия короткозамыкателя от масляного выключателя МГГ-10 заключаются в следующем:

1. Используются не все три, а две крайние фазы выключателя, включаемые параллельно; без масла.

2. Изменена кинематика выключателя: пружины не разрывают, а замыкают контакты. Приведение короткозамыкателя в рабочее состояние (контакты разомкнуты) производится с помощью соленоида включения привода масляного выключателя.

3. На валу короткозамыкателя установлен диск с блокконтактами, замыкающимися в самом начале хода на включение главных контактов короткозамыкателя. Эти контакты дают сигнал на перевод преобразователя в инверторный режим и необходимы лишь в случае самопроизвольного срабатывания короткозамыкателя.

Из схемы "устройства амплитудного регулирования" -УАР, управляющего циклической работой преобразователей и осуществляющего определенные защитные функции, исключен узел, переводивший преобразователи при срыве инвертора в выпрямительный режим. Узел, реагирующий на срыв инвертора (исчезновения напряжения на магните при наличии тока в нем) выдает импульс на включение короткозамыкателя и на перевод преобразователя в инверторный режим. При срыве инвертора этот последний сигнал является резервным, т.к. в момент срыва инверторный режим уже существует. Кроме этого перевод в инверторный режим при исчезновении напряжения на главных шинах может позволить облегчить протекания к.з. на шинах постоянного тока, если таковое возникнет.

IV. ОПЫТНАЯ И ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ ПРОВЕРКА НОВОЙ СХЕМЫ ЗАЩИТЫ ОТ СРЫВА ИНВЕРТОРА.

28 декабря 1959 года после завершения монтажа и наладки было проведено комплексное опробование новой защиты в номинальном циклическом режиме $U_{сг} = 7,2$ кв, $I_{д \text{ макс.}} = 12$ ка. Срыв инвертора вызывали искусственно уменьшением угла опережения в инверторном режиме. Все элементы защиты работали правильно, в соответствии с принципиальной схемой, и успешно ликвидировали срыв инвертора. Было снято ряд осциллограмм, характеризующих работу схемы, и защита принята в постоянную эксплуатацию.

Осциллограммы выявили ряд интересных особенностей протекания процесса срыва инвертора.

Токораспределение при срыве инвертора.

На схеме рис. 8 жирной линией изображена типичная схема токораспределения при срыве инвертора, вызванном нарушением нормальной работы вентиля 3 преобразователя III (прорыв вентиля 3, незавершенная коммутация вентиля 3 и т.п.). По цепи, проходящей через вентили 3 и 4 преобразователя III, течет ток всех преобразователей (на схеме не показаны), работающих параллельно на общие шины постоянного тока, кроме преобразователя II2. Преобразователь II2 связан с преобразователем II2 на стороне переменного тока синхронизирующими шинами. После установления режима срыва инвертора по цепи, проходящей через вентиль 4 преобразователя II2 продолжает протекать ток. Поскольку в

контуре, включающем вентили 4 преобразователей П1 и П2, не действует каких-либо э д с, общий ток распределяется по двум параллельным ветвям пропорционально проводимостям ветвей. Такое токораспределение наблюдалось при снятии опытных осциллограмм и предполагалось ранее при анализе характера разрушений в некоторых аварийных режимах.

Временные характеристики возникновения режима
срыва и его ликвидации (осц. № 1)

Длительность коммутации тока на мост, давший срыв инвертора, 45 эл. град. (около 2,5 мсек).

Собственное время работы схемы и короткозамыкателя не больше 7 периодов (около 0,14 сек).

Скорость коммутации тока с моста, давшего срыв, на короткозамыкателе характеризуется постоянной времени $T=0,04$ сек.

Собственное время работы схемы и контактора отключения пиков около 0,18 сек.

Собственное время работы ВАБ^нов прямого тока, имеющих, как известно, специальное замедление, не меньше 0,17...0,18 сек. Срыв инвертора не сопровождается обычно работой прямого ВАБ^на.

Импульсы переменного тока.

Причина возникновения импульсов переменного тока в мосту, давшем срыв, рассмотрена выше (стр. 5). Эти импульсы прекращаются как только отключаются управляющие пики.

Наличие импульсов переменного тока порождает условия для возникновения обратных зажигания в вентилях, пытающихся принять ток срыва: если срыв произошел, например, по вентилям 3-4, то вероятны обратные зажигания в вентилях 5 и 6. Вероятность обратных зажигания тем больше, чем больше угол опережения зажигания в инверторном режиме.

У. ИТОГИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НОВОЙ СХЕМЫ ЗАЩИТЫ ОТ СРЫВА
ИНВЕРТОРА ЗА ПОЛУГОДИЕ.

За январь-сентябрь 1960 г. система электропитания проработана в циклическом режиме 2264 часа. За это время имело место 89 срывов инвертора не сопровождавшихся работой ВАБ^нов и 77 срывов инвертора, сопровождавшихся работой ВАБ^нов. В общей сложности при этом сработало 142 ВАБ^на .

Эти цифры в сопоставлении с приведенной выше статистикой работы старой схемы защиты от срыва инвертора показывают, что протекание процесса срыва инвертора и его ликвидация теперь значительно облегчены: в среднем на один срыв теперь приходится работа 1,8 ВАБ^нов против 3,4 при старой схеме.

Полностью исключена возможность развития срыва инвертора в к.з. на шинах постоянного тока в выпрямительном режиме.

30 марта 1960 г. имело место групповое отключение двенадцати ВАБ^нов в конце выпрямительного режима, при этом возникли условия для развития к.з. на шинах постоянного тока. Работа новой схемы защиты с короткозамкателью облегчила протекание аварии , и разрушения оборудования не было.

Таким образом опытная проверка и результаты более, чем полугодовой эксплуатации новой схемы защиты от срыва инвертора полностью подтверждают её высокие эксплуатационные качества.

Сентябрь 1960г.

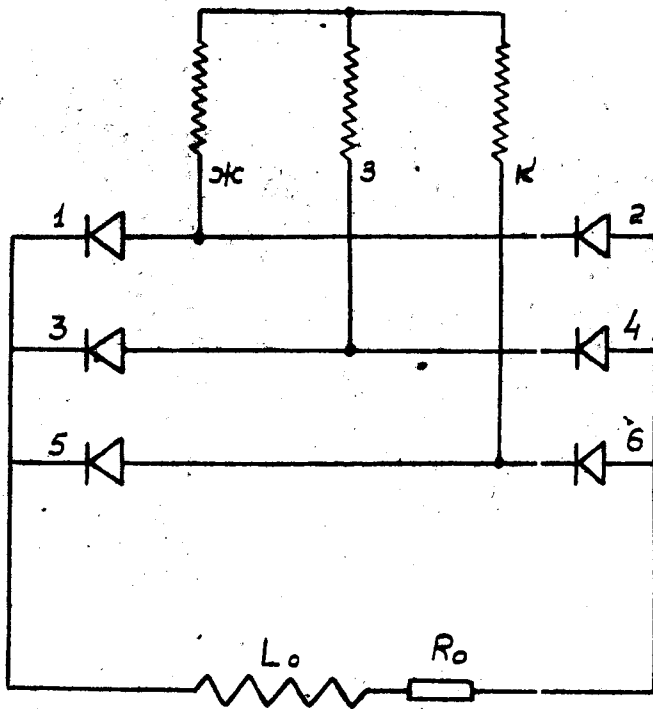
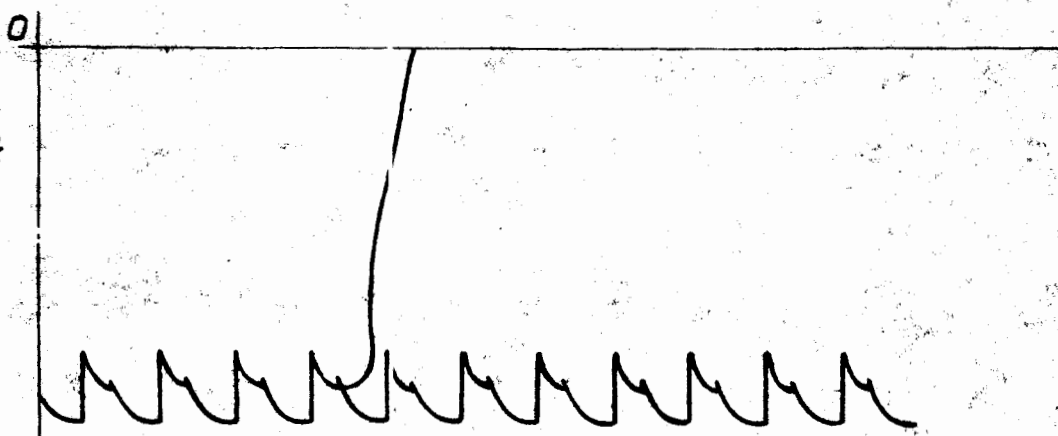


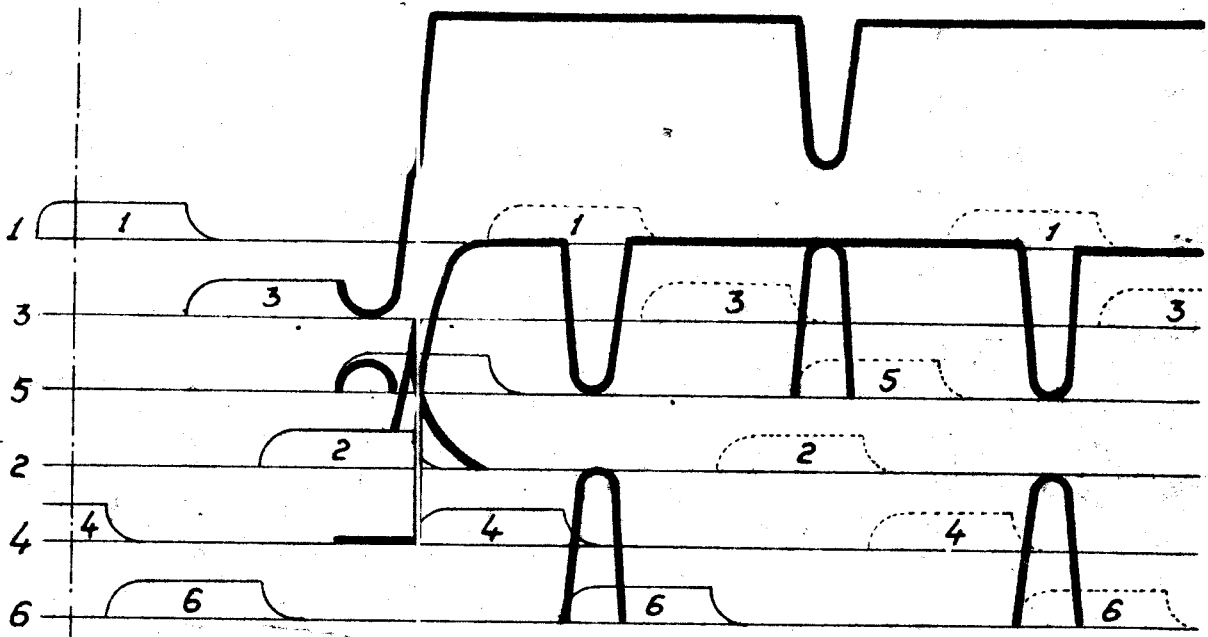
Рис. 1

Puc. 3a

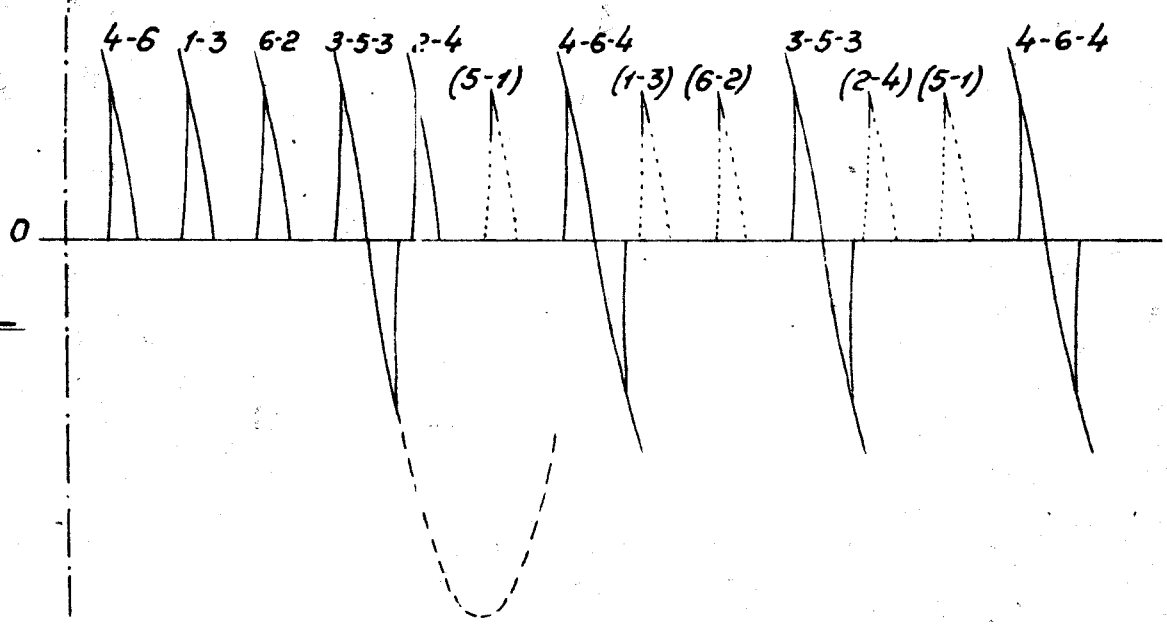


Puc. 3b





uc 4a

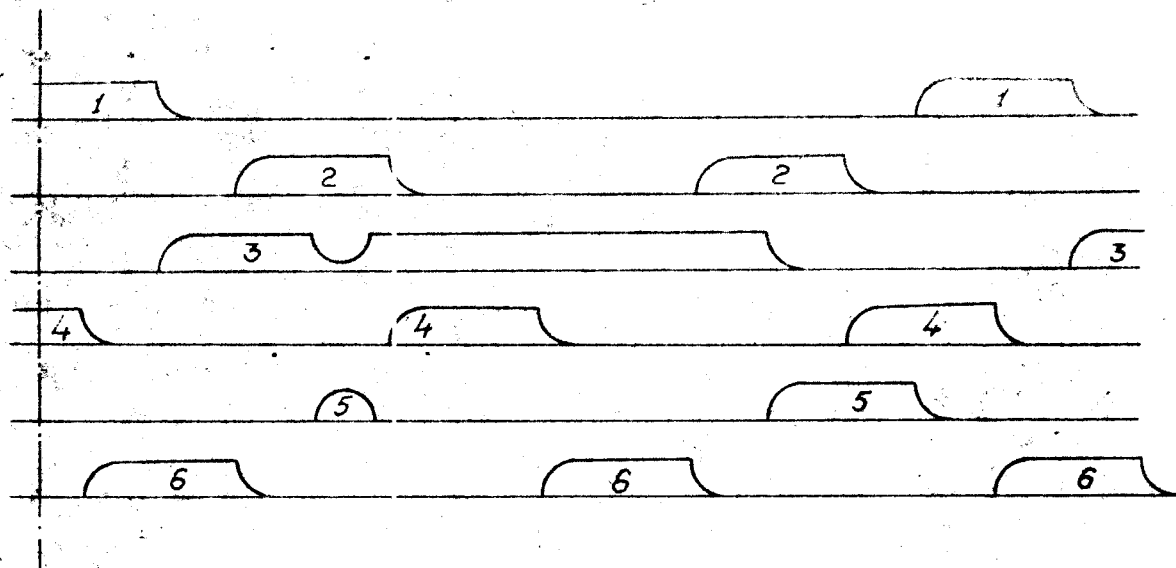


uc. 4b

и само-
обление
тора

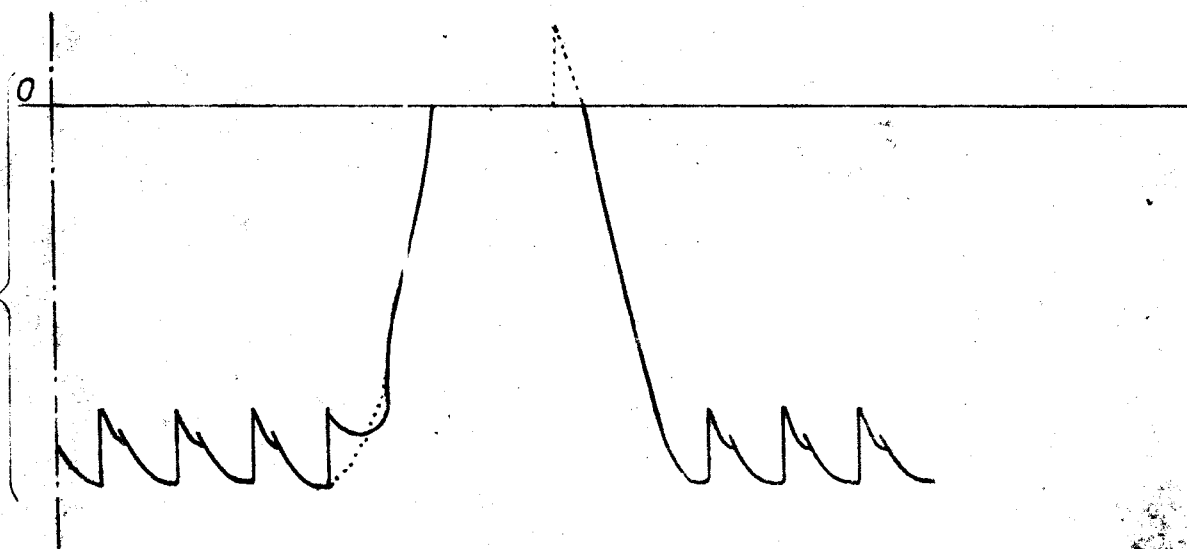
Току
тилей

с. 5а



ямл.
яжен.

с. 5в



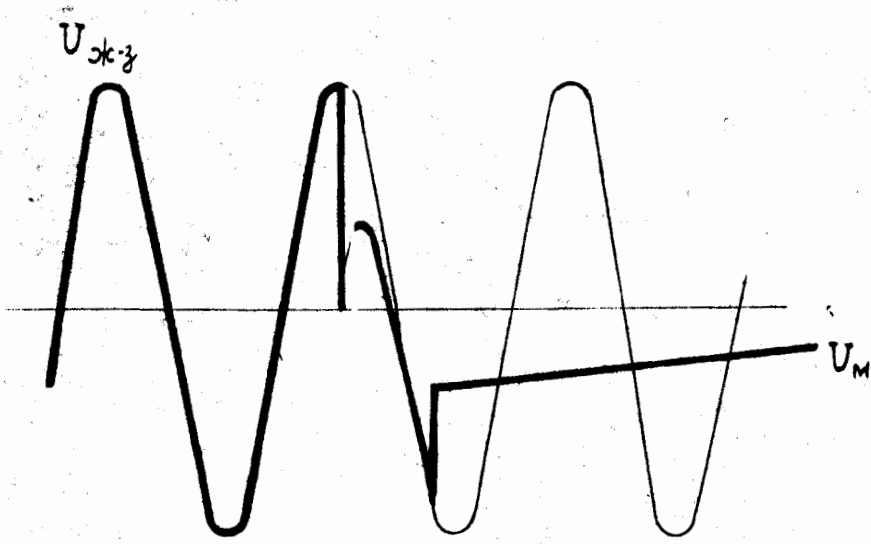
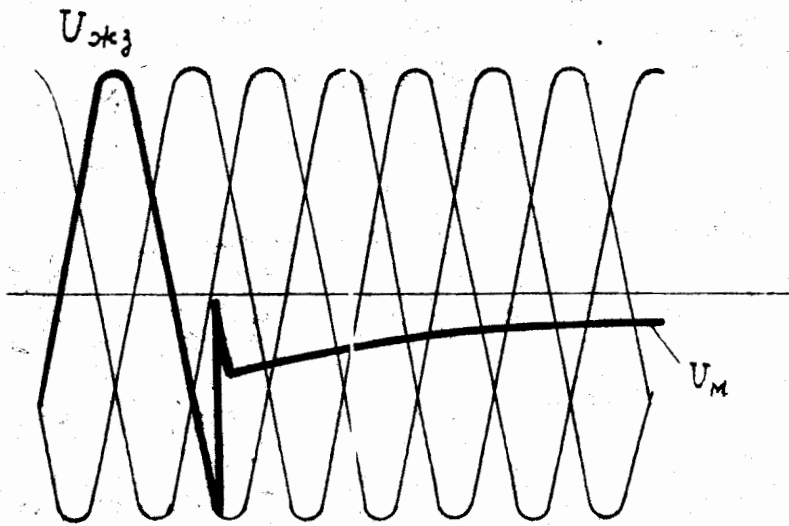
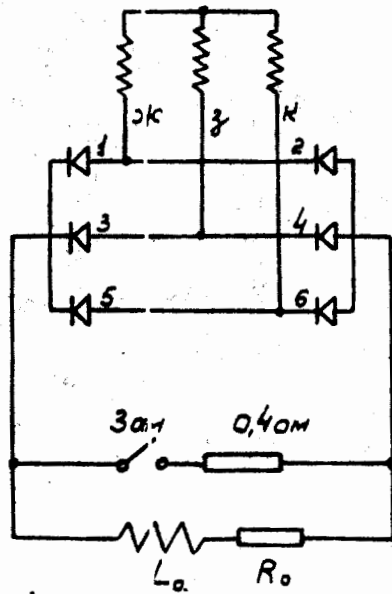


Рис 6

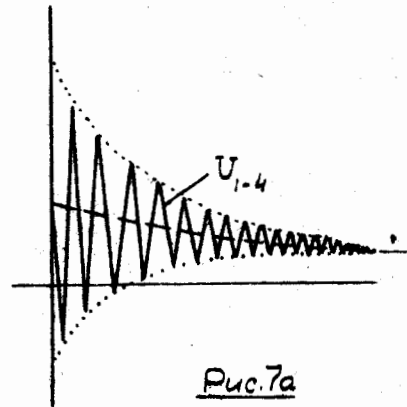
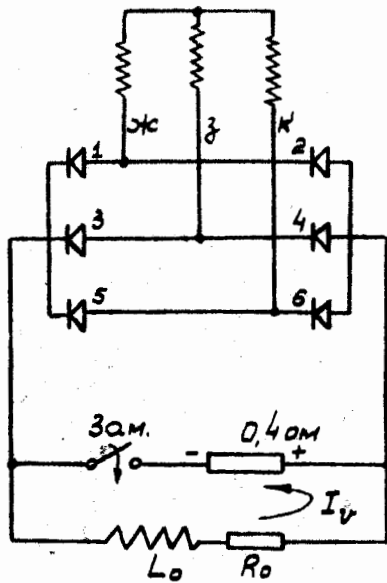


Рис.7a

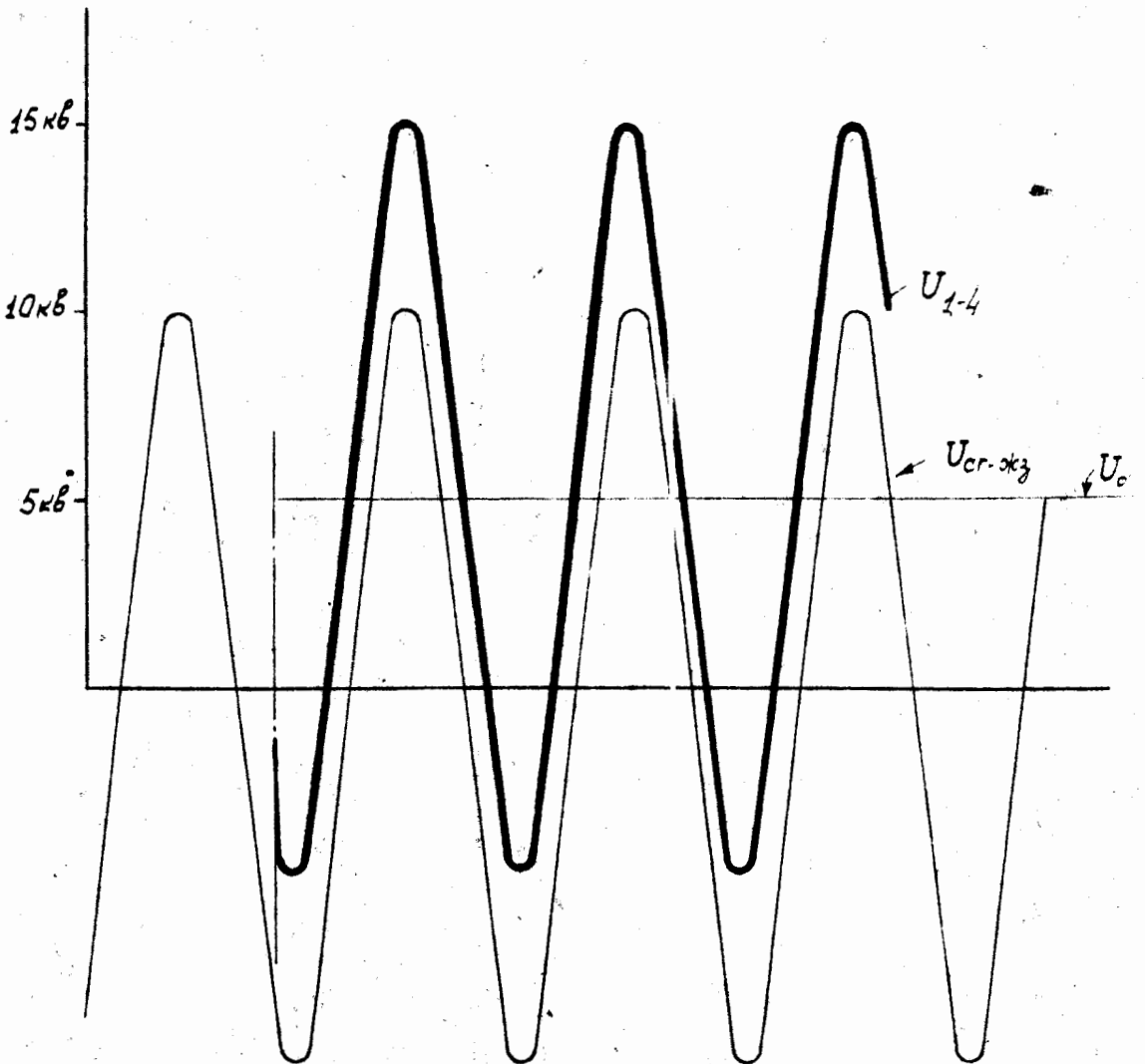


Рис.7

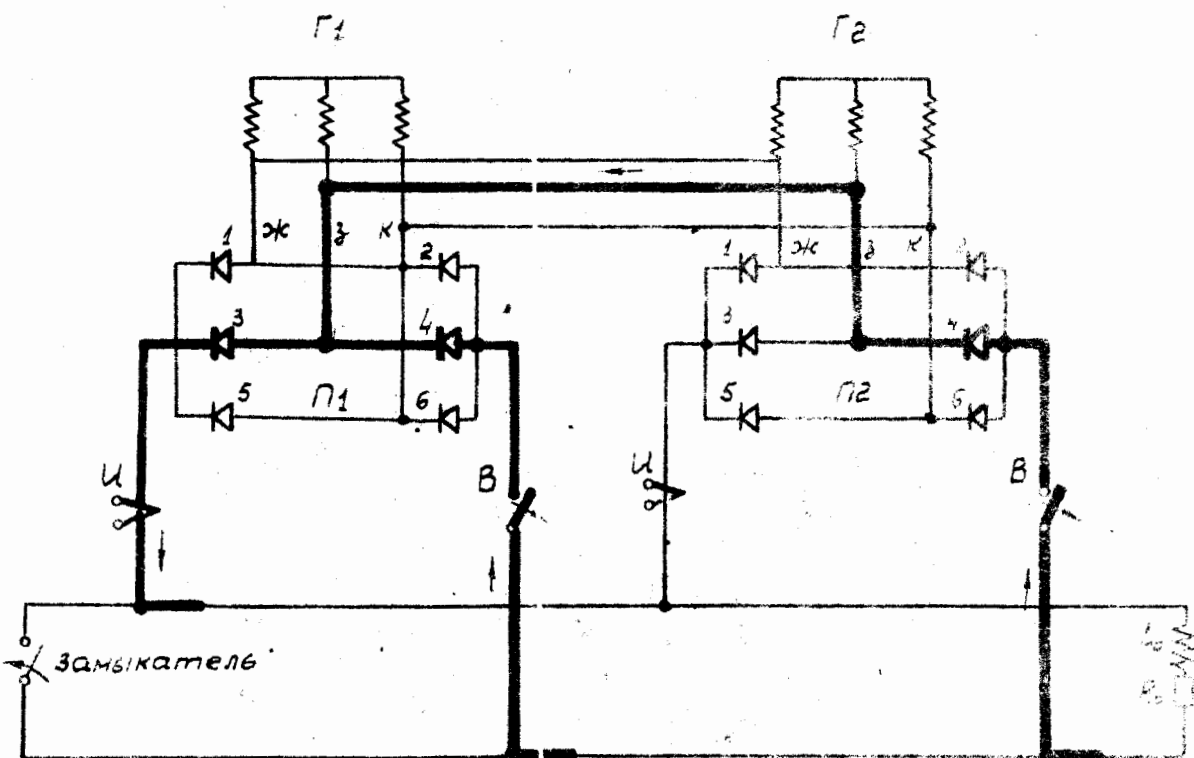


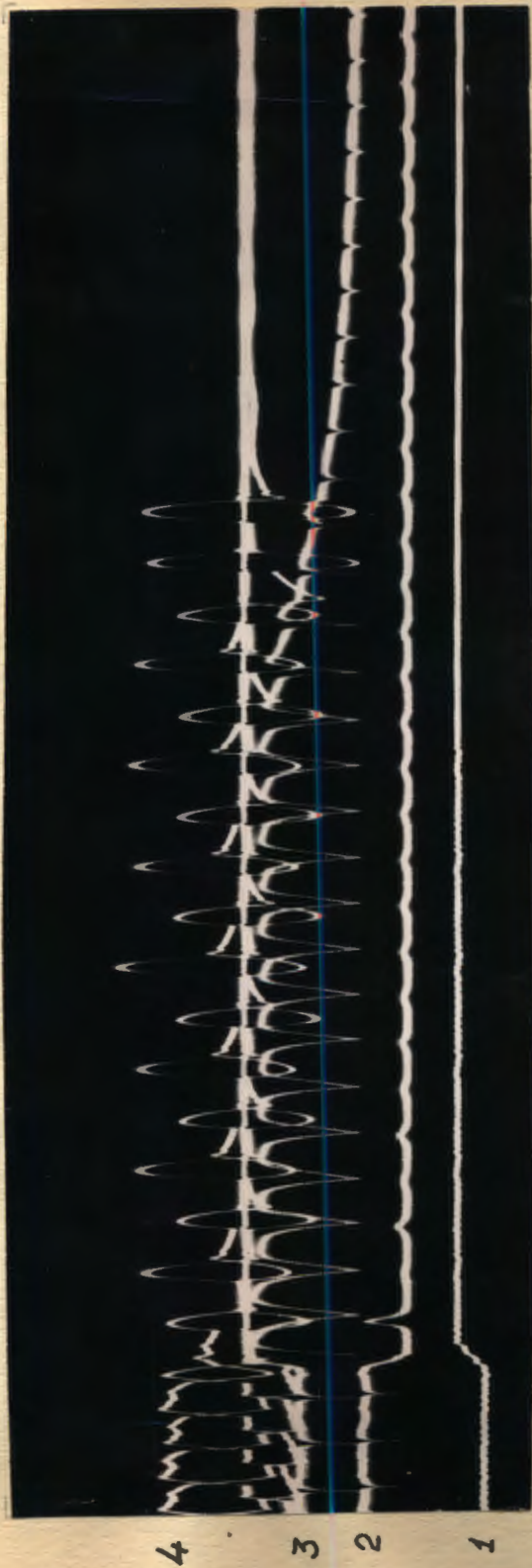
Рис. 8. Токараспределение при срыве инвертера

Γ_1, Γ_2 - генераторы.

Π_1, Π_2 - преобразователи

И - устройство тока

В - быстродействующий выключатель при срыве тока



Осц. N1. Срыв инвертора и работа новой схемы защиты от срыва; $U_r = 7,2 \text{ кВ}$; $I_d = 12 \text{ кА}$.

1 - выпрямленное напряжение;

2 - ток одного из мостов, работающих параллельно;

3 - ток моста, дающего срыв инвертора;

4 - фазные токи генератора, работающего на мост, давший срыв инвертора.

5 - начало срыва инвертора (незаверш. коммутация);

6 - окончание коммутации тока на мост, давший срыв;

7 - момент включения контактов короткозамыкателя;

8 - момент отключения управляющих пилот (покра- щаются импульсы переключения тока).