

УДК.621.311:681.5

**СТРУКТУРНАЯ СХЕМА И ПРИНЦИП РАБОТЫ  
ОРГАНА КОНТРОЛЯ РЕЖИМА УСТРОЙСТВА  
БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕГО АВТОМАТИЧЕСКОГО ВКЛЮЧЕНИЯ РЕЗЕРВА**



**BLOCK DIAGRAM AND PRINCIPLE OF OPERATION OF THE ON CONTROL  
MODE OF THE DEVICE A FAST-ACTING AUTOMATIC TRANSFER SWITCH**

**Беседин Евгений Алексеевич**

кандидат технических наук, доцент,  
доцент кафедры электроснабжения  
промышленных предприятий,  
Кубанский государственный  
технологический университет  
omega54@mail.ru

**Горгоцкий Илья Викторович**

студент,  
Кубанский государственный  
технологический университет  
lasta1993@mail.ru

**Сясько Олег Васильевич**

студент,  
Кубанский государственный  
технологический университет  
oleg-syasko@yandex.ru

**Аннотация.** В статье рассмотрены основные проблемы обеспечения эффективной работы противоаварийной автоматики электроэнергетических систем. Отдельно подробно рассмотрена работа и принцип работы органа контроля режима системы быстродействующего автоматического включения резерва в нормальном режиме, при коротком замыкании на шинах распределительного устройства и за его пределами, а также при самозапуске асинхронных электродвигателей. Приведены диаграммы сигналов органа контроля режима в вышеуказанных режимах, поясняющие его работу. Сделаны выводы об эффективности работы органа контроля режима системы.

**Ключевые слова:** противоаварийная автоматика электроэнергетических систем, быстродействующее автоматическое включение резерва, орган контроля режима системы, нормальный режим, режим короткого замыкания, режим самозапуска электродвигателей.

**Besedin Evgeniy Alexeevich**

Candidate of technical sciences,  
Associate Professor, Associate Professor  
of the department of power supply  
of industrial enterprises,  
Kuban state technological university

**Gorgotskiy Ilya Victorovich**

Student,  
Kuban state technological university

**Syasko Oleg Vasilievich**

Student,  
Kuban state technological university

**Annotation.** The article deals with the main problems of ensuring the effective operation of emergency automation of electric power systems. Separately detail the working and operation of on mode control system high speed automatic transfer switch in normal mode, if a short circuit on the tires switchgear and beyond, and also in the self-starting of induction motors. Diagrams of signals of the mode control body in the above modes are given, explaining its operation. Conclusions are made about the effectiveness of the system mode control body.

**Keywords:** emergency automation of electric power systems, high-speed automatic activation of the reserve, the control body of the system mode, normal mode, short-circuit mode, self-starting mode of electric motors.

**А**втоматическое управление в энергосистемах стало применяться с момента их возникновения, и в настоящее время устройства автоматики энергосистем могут рассматриваться как родоначальники всех устройств электроавтоматики. Однако первоначально автоматические устройства применялись в энергетике главным образом для выполнения функций защиты тех или иных элементов от действия сверхтоков, возникающих в момент повреждения. Процессы, возникающие при этом – это электромагнитные переходные процессы, а автоматические устройства, предназначенные для защиты от влияния этих процессов – это устройства релейной защиты [1].

Параллельно с развитием релейной защиты энергосистем в них начала развиваться и другая ветвь автоматики с иными задачами. Первоначально эти задачи не отличались от задач автоматики в других областях техники и состояли в помощи

персоналу при выполнении трудоемких и рутинных работ. За тем возникли задачи, где, как и в релейной защите, потребовалась более высокая скорость реакции, недоступная человеку. В число этих задач входили, в частности задачи автоматического повторного включения (АПВ) линий электропередачи и задачи автоматического ввода резерва (АВР), т.е. то, что теперь иногда называют линейной или сетевой автоматикой. Далее число этих задач продолжало расти, что и привело к появлению другой самостоятельной дисциплины – системной автоматики.

Релейная защита и системная автоматика – это два вида автоматического управления в энергосистемах, взаимосвязанных и взаимодополняющих друг друга. Во многих случаях для них применяется и одинаковая аппаратура. Однако между ними имеются отличия. Первое из них состоит в том, что для системной автоматики, как правило, определяющими являются не столько электромагнитные, сколько электромеханические переходные процессы, т.е. процессы, связанные с относительным движением роторов синхронных машин во время и после аварии, к которым в настоящее время добавились процессы так называемой длительной динамики, происходящие со значительным (в несколько герц) изменением абсолютного движения (частоты вращения) синхронных генераторов.

Второе отличие системной автоматики состоит в том, что если действие устройств релейной защиты носит достаточно локальный характер, ограниченный одним или несколькими присоединениями, и лишь затяжка в отключении КЗ или возникновение каскадных возмущений может привести к дальнейшему развитию аварии, то системной автоматике присущ чаще всего глобальный характер действия и влияния на энергосистему с охватом большего числа присоединений и достаточно большого района энергосистемы. Причем действие этой автоматики тесно связано с режимом работы энергосистемы или ее части и оказывает свое влияние на этот режим.

В настоящее время сложилось отчетливое представление о составе устройств, объединяемых понятием системной автоматики. Кроме линейной (сетевой) автоматики, к их числу относят также устройства автоматики нормального режима и противоаварийной автоматики. Автоматика нормального режима – это обычно (за некоторыми исключениями) достаточно медленная автоматика, предназначенная в основном для помощи оперативному персоналу. Ее влияние на процессы при авариях в энергосистеме ограничено и сказывается главным образом на послеаварийном режиме. Противоаварийная автоматика, напротив, должна обладать большим быстродействием при интенсивном воздействии на процессы при авариях в энергосистемах и послеаварийном режиме, приближаясь в этом смысле к релейной защите.

Характерной для противоаварийной автоматики (ПА) является ее тесная связь с режимом работ энергосистем, благодаря чему ее часто называют противоаварийной режимной автоматикой. Первые устройства ПА были внедрены в энергосистемы еще в 30-х годах 20 века; однако наибольший размах работа в этой области получила, начиная с 50-х годов 20 века, в период создания и освоения в СССР магистральных линий связи с ГЭС Волжско-Камского каскада и других крупнейших электростанций. Сейчас сложилось уже традиционное представление о следующих задачах противоаварийной автоматики: автоматическое предотвращение нарушений устойчивости (АПНУ), называемое также автоматическим управлением мощностью для сохранения устойчивости (АУМСУ); автоматическая ликвидация (прекращение) асинхронного режима (АЛАР); автоматическое ограничение снижения частоты (АОСЧ); автоматическое ограничение снижения напряжения (АОСН); автоматическое ограничение повышения частоты (АОПЧ) и автоматическое ограничение повышения напряжения (АОПН). При этом функция АОПН обычно носит характер, близкий к функциям релейной защиты, и соответствующие устройства часто называют устройствами защиты от повышения напряжения [2].

В настоящее время все более широкое применение находят устройства быстродействующего автоматического включения резерва, примерами которых могут служить устройства, приведенные в [3, 4]. Для повышения быстродействия срабатывания этих устройств параллельно секционному выключателю подключен тиристорный коммутатор, который первым срабатывает и подключает аварийный участок сети к резервному источнику питания. Через короткое время срабатывает и секционный выключатель, а тиристорный коммутатор отключается в бестоковую паузу.

Для того, чтобы данное устройство эффективно работало, необходимо, чтобы устройство БАР срабатывало в необходимых случаях и блокировалось в тех случаях, когда срабатывание данного устройства недопустимо из-за возможности выхода из строя и резервного источника, наряду с основным.

В устройстве [3] эту функцию выполняет орган контроля режима системы. Структурная схема данного устройства приведена на рисунке 1.

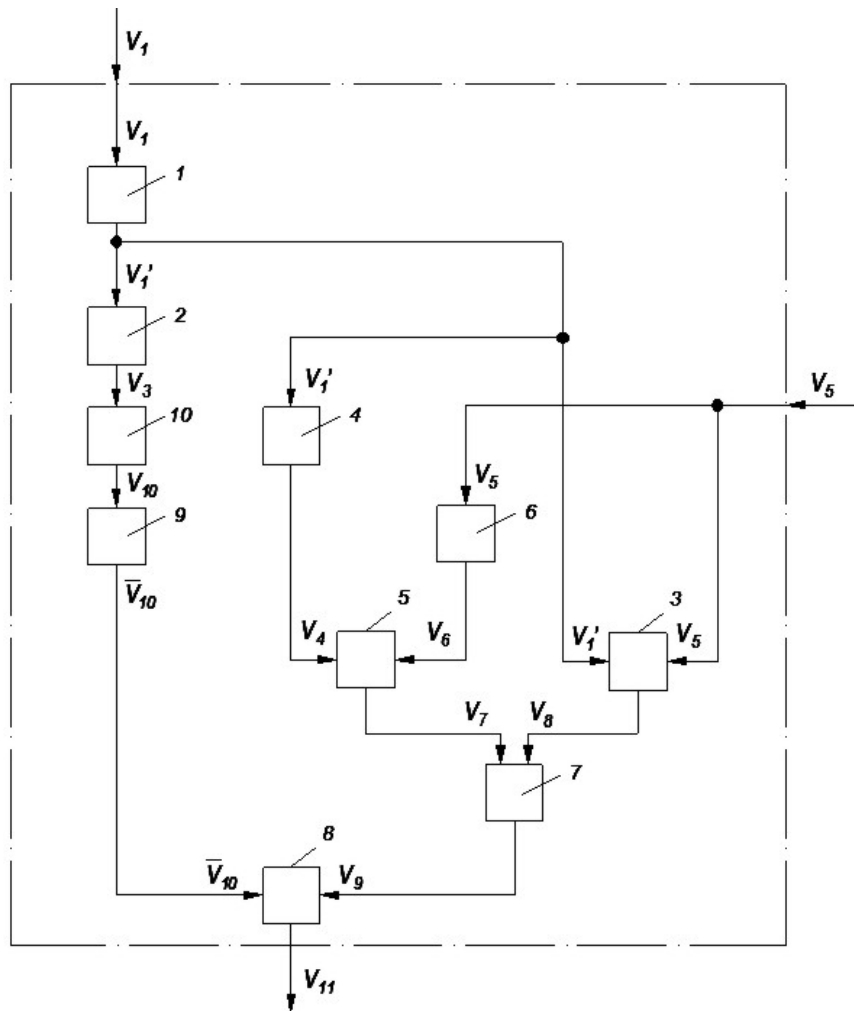


Рисунок 1 – Структурная схема органа контроля режима системы

Он содержит дифференциатор 1, вход которого одновременно является первым входом органа контроля режима системы, а выход соединен с входом порогового элемента 2, первым входом первого логического элемента И 3 и через первый логический элемент НЕ 4 с первым входом второго логического элемента И 5. Второй вход первого логического элемента И 3 является вторым входом органа контроля режима системы и через второй логический элемент НЕ 6 связан с вторым входом второго логического элемента И 5. При этом выходы первого 3 и второго 5 логических элементов И соединены соответственно с первым и вторым входами логического элемента ИЛИ 7. Выход последнего соединен с вторым входом третьего логического элемента И 8, выход которого одновременно является выходом органа контроля режима системы, а первый вход, соединен с выходом второго логического элемента НЕ 4. Вход третьего логического элемента НЕ 9 соединен с выходом одновибратора 10, вход которого соединен с выходом четвертого порогового элемента 2.

Рассмотрим работу органа контроля режима системы одной секции шин. Сигнал  $V_1$  от органа контроля снижения напряжения устройства подается на первый вход органа контроля режима системы, на второй вход которого поступает сигнал  $V_5$  с выхода

органа контроля направления мощности устройства. В нормальном режиме изменение сигнала  $V_1$  отсутствует и отсутствует сигнал  $V_5$ , так как направление мощности – от источника к потребителю. При неизменном сигнале  $V_1$  на выходе дифференциатора 1 сигнал  $V_1'$  равен нулю. Поэтому, на выходе первого логического элемента И 3 сигнал  $V_8$  отсутствует. При этом на выходах первого 4 и второго 6 логических элементов НЕ имеют место сигналы  $V_4$  и  $V_6$ . Следовательно, на выходе второго логического элемента И 5 присутствует сигнал  $V_7$  (рисунок 2а, б, г, д, е при  $t < t_0$ , где 14 – зависимость изменения во времени сигнала  $V_1'$ ; 15 – уровень порогового сигнала  $V_{n3}$  порогового элемента 2; 19 – зависимость изменения во времени сигнала  $V_5$ ; 23 – зависимость изменения во времени сигнала  $V_7$  в нормальном режиме). При этом на выходе логического элемента ИЛИ 7 появляется сигнал  $V_9$  (рисунок 2ж при  $t < t_0$ , где 25 – зависимость изменения во времени сигнала  $V_9$  в нормальном режиме). На выходе порогового элемента 2 сигнал  $V_3$  отсутствует, так как данный пороговый элемент срабатывает при отрицательных значениях сигнала  $V_1'$ , когда  $|V_1'| > |V_{n3}|$ . На выходе одновибратора 10 сигнал  $V_{10}$  также отсутствует, а на выходе третьего логического элемента НЕ 9 сигнал  $\bar{V}_{10}$  имеет место. При одновременном наличии сигналов  $\bar{V}_{10}$  и  $V_9$  на выходе третьего логического элемента И 8 имеет место сигнал  $V_{11}$  (рисунок 2в, з при  $t < t_0$ , где 17 – зависимость изменения во времени сигнала  $\bar{V}_{10}$ ; 27 – зависимость изменения во времени сигнала  $V_{11}$  в нормальном режиме).

При аварийном режиме, при коротком замыкании в точке, лежащей вне устройства, ток через трансформатор тока на вводе распреустройства изменяет свое направление на противоположное в связи с подпиткой точки короткого замыкания асинхронными двигателями, подключенными к шинам распреустройства. Одновременно по экспоненциальному закону снижается и сигнал  $V_1$ . Дифференциатор 2 выполнен инвертирующим, поэтому на его выходе появляется положительный сигнал  $V_1'$ . На выходе органа направления мощности устройства появляется сигнал  $V_5$  (рисунок 2а. б, в, г при  $t > t_0$ , где 16 – зависимость изменения во времени сигнала  $V_1'$ ; 20 – зависимость изменения во времени сигнала  $V_5$  в аварийном режиме). При этом сигналы  $V_4$  и  $V_6$  отсутствуют, и на выходе второго логического элемента И 5 сигнал  $V_7$  также отсутствует. Однако на выходе первого логического элемента И 3 сигнал  $V_8$  имеет место (рисунок 2д, е при  $t > t_0$ , где 22 – зависимость изменения во времени сигнала  $V_8$ ; 24 – зависимость изменения во времени сигнала  $V_7$  в аварийном режиме). Следовательно, присутствует сигнал  $V_9$  на выходе логического элемента ИЛИ 7 (рисунок 2ж, при  $t > t_0$ , где 26 – зависимость изменения во времени сигнала  $V_9$  в аварийном режиме). Сигнал  $V_3$  на выходе порогового элемента 2 отсутствует, так как сигнал  $V_1'$  положительный. Поэтому отсутствует сигнал  $V_{10}$  на выходе одновибратора 10, а на выходе третьего логического элемента НЕ 9 сигнал  $V_{10}$  имеет место (рисунок 2в при  $t > t_0$ , где 18 – зависимость изменения во времени сигнала  $\bar{V}_{10}$  в аварийном режиме). Следовательно, при коротком замыкании в точке, лежащей за пределами распреустройства, на выходе третьего логического элемента И 8 имеет место сигнал  $V_{11}$  (рисунок 2з при  $t > t_0$ , где 28 – зависимость изменения во времени сигнала  $V_{11}$  в аварийном режиме).

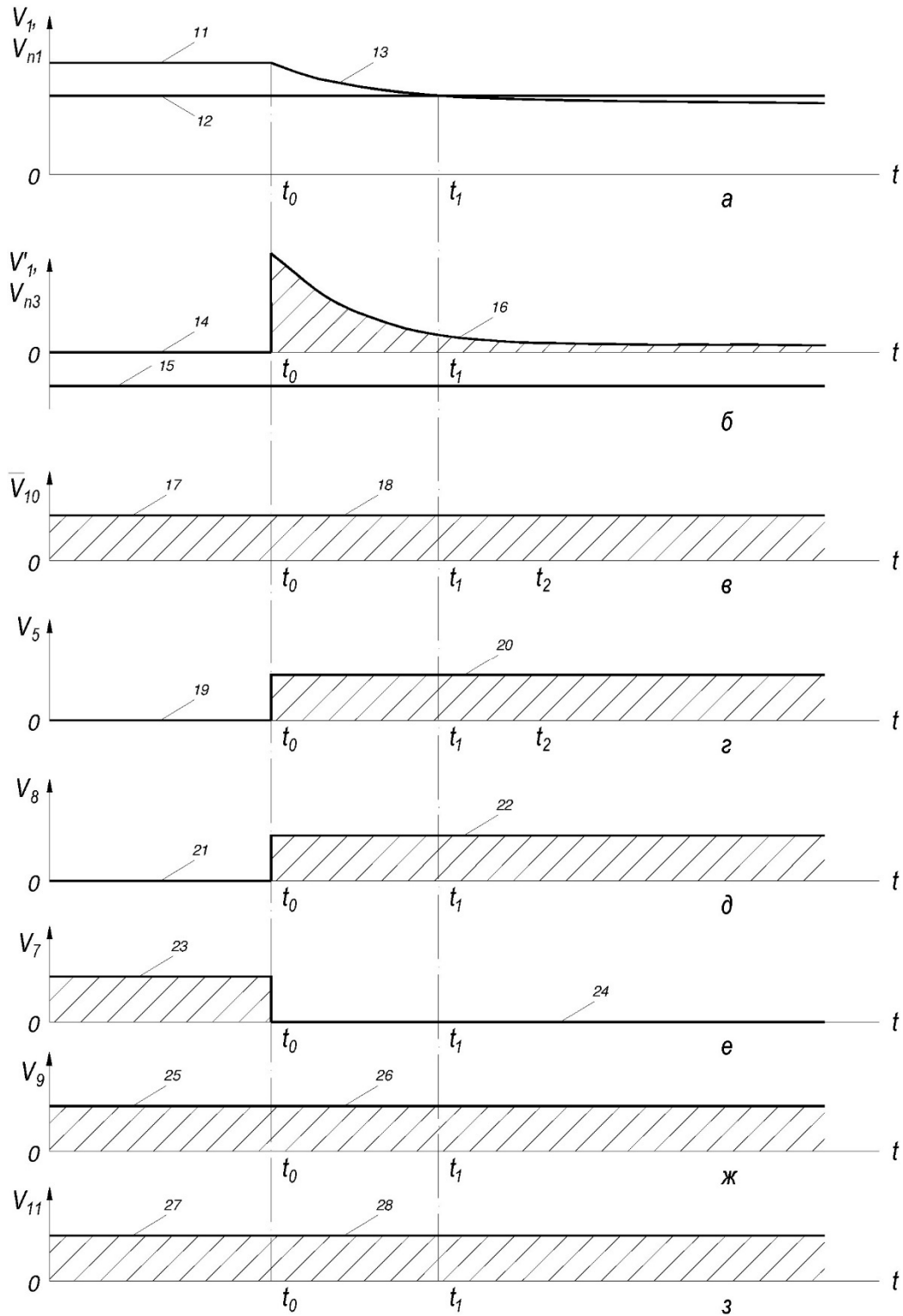


Рисунок 2 – Временные диаграммы сигналов органа контроля режима системы в нормальном режиме и при коротком замыкании в точке за пределами распределустройства

При коротком замыкании на секции шин распределустройства работа блоков 1, 2, 4, 9 и 10 и временные диаграммы сигналов  $V_1$ ,  $V_1'$ ,  $V_3$ ,  $V_{10}$ ,  $\bar{V}_{10}$  аналогичны режиму короткого замыкания в точке, расположенной за пределами распределустройства. Однако ток в точке замыкания на секции шин распределустройства складывается из тока от системы электроснабжения и тока подпитки асинхронных двигателей. При этом ток через трансформатор тока на вводе распределустройства направлен от системы к секции шин, поэтому на выходе органа направления мощности сигнал  $V_5$  в этом режиме отсутствует.

На выходе второго логического элемента НЕ 6 имеет место сигнал  $V_6$ , однако сигнал  $V_4$  на выходе первого логического элемента НЕ 4 отсутствует как и при коротком замыкании в точке за пределами распредустройства. Поэтому отсутствует и сигнал  $V_7$  на выходе второго логического элемента И 5. Кроме того, из-за отсутствия сигнала  $V_5$  не будет сигнала  $V_8$  на выходе четвертого логического элемента И 40. Следовательно, будут отсутствовать сигналы  $V_9$  на выходе логического элемента ИЛИ 7 и  $V_{11}$  на выходе третьего логического элемента И 8.

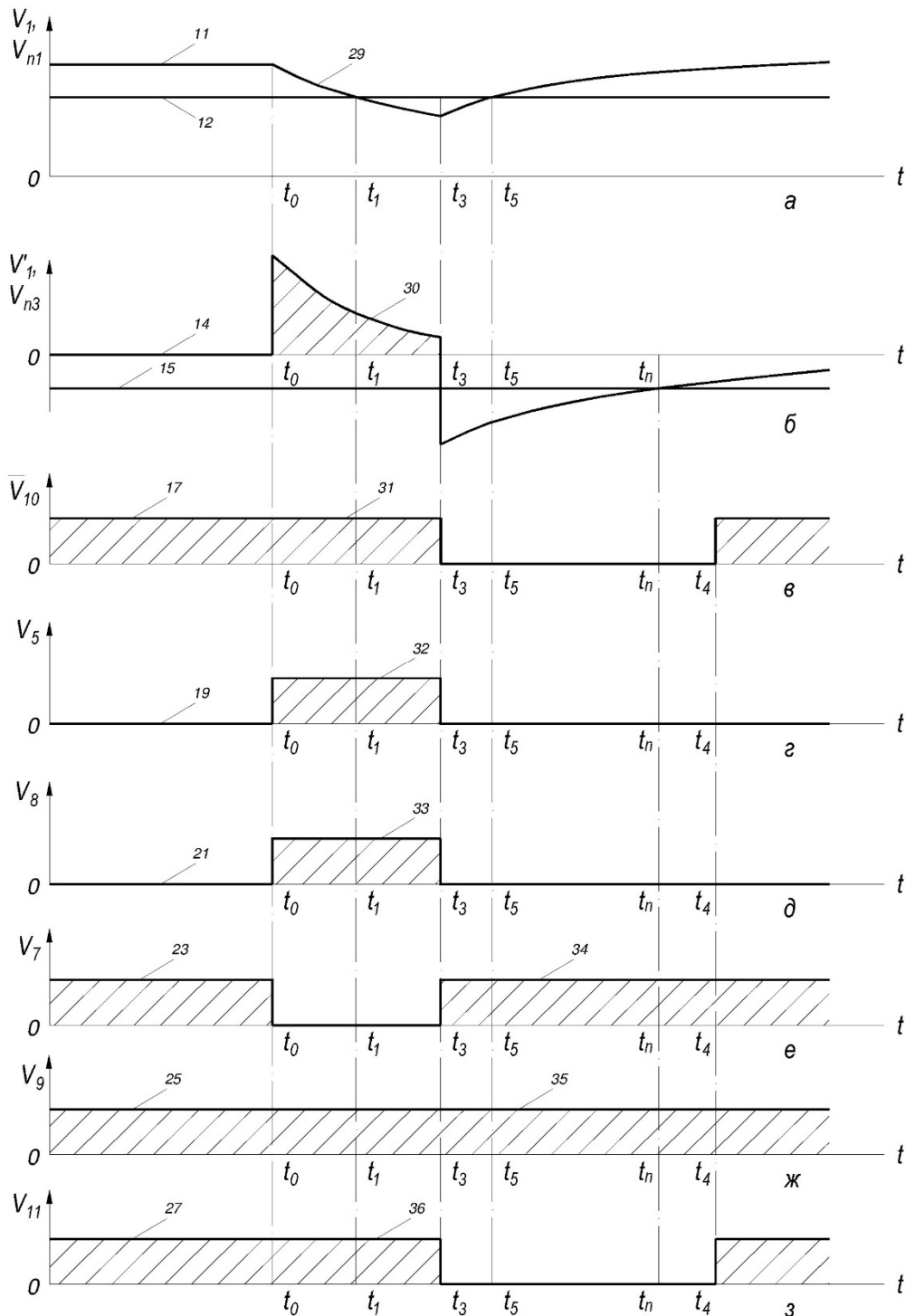


Рисунок 3 – Временные диаграммы сигналов органа контроля режима системы в условиях успешного самозапуска электродвигателей

Рассмотрим работу органа контроля режима системы в режиме самозапуска электродвигателей при кратковременных снижениях напряжения. Этот процесс состоит из двух этапов – снижения напряжения и последующего его нарастания. На первом этапе при значительном снижении, либо исчезновении напряжения в сети напряжение на секции шин уменьшается по экспоненциальному закону, так и при коротком замыкании в точке за пределами распреустройства. На этом этапе режим работы органа контроля режима системы и его временные диаграммы аналогичны режиму работы и временным диаграммам при коротком замыкании в точке за пределами распреустройства (рисунок 3а – з при  $t_0 < t < t_3$ , где 29 – зависимость изменения во времени сигнала  $V_1$ ; 30 – зависимость изменения во времени сигнала  $V_1'$ ; 31 – зависимость изменения во времени сигнала  $\bar{V}_{10}$ ; 32 – зависимость изменения во времени сигнала  $V_5$ ; 33 – зависимость изменения во времени сигнала  $V_8$ ; 34 – зависимость изменения во времени сигнала  $V_7$ ; 35 – зависимость изменения во времени сигнала  $V_9$ ; 36 – зависимость изменения во времени сигнала  $V_{11}$  в режиме самозапуска). При восстановлении в момент времени  $t_3$  напряжения в сети на секции 3 шин оно нарастает не скачком, а по экспоненциальному закону. При этом по экспоненциальному закону нарастает и сигнал  $V_1$  (рисунок 3а при  $t > t_3$ ). Это ведет к изменению знака сигнала  $V_1'$  на противоположный (рисунок 3б при  $t > t_3$ ). Сигнал  $V_5$  при  $t > t_3$  также отсутствует, так как на втором этапе самозапуска происходит потребление энергии из сети (рисунок 3г при  $t > t_3$ ). Следовательно, на выходе первого логического элемента И 3 при отсутствии сигнала  $V_5$  и отрицательном сигнале  $V_1'$  (что соответствует логическому нулю) сигнал  $V_8$  отсутствует (рисунок 3д при  $t > t_3$ ). Однако имеют место сигналы  $V_4$  и  $V_6$  на выходах первого 4 и второго 6 логических элементов НЕ соответственно. Поэтому будут иметь место сигналы  $V_7$  на выходе второго логического элемента И 5 и  $V_9$  на выходе логического элемента ИЛИ 7 (рисунок 3е, ж при  $t > t_0$ ). При этом появление сигнала  $V_{11}$  на выходе третьего логического элемента И 8 зависит от появления сигнала  $\bar{V}_{10}$ . При возможности успешного самозапуска уровень сигнала  $V_1'$  в отрицательной области в момент времени  $t_3$  превышает по модулю пороговый сигнал в пороговом элементе 2. На выходе последнего в этот момент времени появляется сигнал  $V_3$ , который исчезает в момент времени  $t_n$  при  $|V_1'| < |V_{n3}|$ . При значениях сигнала  $V_1'$ , близких к значению порогового сигнала  $V_{n3}$ , интервал времени  $[t_3, t_n]$  очень мал и недостаточен для согласованной работы с другими блоками устройства. Поэтому в одновибраторе 10 импульс сигнала  $V_3$  расширяется до необходимой длительности  $[t_3, t_n]$  по заднему фронту, образуя сигнал  $V_{10}$ . В третьем логическом элементе НЕ 9 формируется сигнал  $\bar{V}_{10}$ , противоположный сигналу  $V_{10}$  (рисунок 3в при  $t > t_3$ ), который на интервале времени  $[t_3, t_n]$  равен нулю. Поэтому и сигнал  $V_{11}$  на выходе третьего логического элемента 8 на этом же интервале времени отсутствует (рисунок 3з при  $t > t_3$ ).

В случае, если скорость нарастания напряжения при самозапуске меньше допустимой, возможны перегрев и выход из строя силового оборудования. Величина порогового сигнала выбирается из этих соображений. При неуспешном самозапуске в отрицательной области сигнал  $|V_1'| < |V_{n3}|$ , поэтому на выходе порогового элемента 2 при  $t > t_3$  сигнал  $V_3$  отсутствует, также отсутствует и сигнал  $V_{10}$ . Сигнал  $\bar{V}_{10}$  имеет место и на выходе третьего логического элемента И 8 при  $t > t_3$  присутствует сигнал  $V_{11}$ .

Следовательно, данный элемент устройства БАВР позволяет по совокупности входных параметров определять целесообразность включения устройства либо дать запрет на его включение. Это существенно повышает надежность работы БАВР и системы электроснабжения, содержащей данное устройство БАВР. Данное устройство было рекомендовано для центра питания завода режущих инструментов и текстильного комбината.

### Литература

1. Барзам А. Б. Системная автоматика. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 4-е изд., перераб. и доп. – 446 с.
2. Автоматика электроэнергетических систем : учеб. пособие для вузов / О.П. Алексеев, В.Е. Казанский, В.Л. Козис и др.; под ред. В.Л. Козиса. и Н.И. Овчаренко. – М. : Энергоиздат, 1981. – 480 с.
3. А.С. 1709462 СССР Н 02 J 9/06. Устройство быстродействующего автоматического включения резерва / Б.А. Коробейников, А.И. Ищенко, Е.А. Беседин. – № 4727170/07. – Заявл. 07.08.89. – Оpubл. 30.01.92. – Бюл. № 4.
4. А.С. 1688349 СССР Н 02 J 9/06. Устройство для автоматического включения резервного питания потребителей / Б.А. Коробейников, А.И. Ищенко, Е.А. Беседин, А.И. Тимчук. – № 4651180/07. – Заявл. 06.01.89. – Оpubл. 30.10.91. – Бюл. № 40.

### References

1. Barzam A.B. System automation. – M. : Energoatomizdat, 1989. – 4th ed., Rev. and EXT. – 446 p.
2. Automation of electric power systems: Studies. Handbook for universities / O.P. Alekseev, V.E. Kazansky, V.L. Kozis, etc.; edited by V. L. Kozis. and N.I. Ovcharenko. – M. : Energoizdat, 1981. – 480 p.
3. A.S. 1709462 USSR N 02 J 9/06. Device for rapid automatic activation of the reserve / B.A. Korobeynikov, A.I. Ishchenko, E.A. Besedin. – № 4727170/07. – Declared. 07.08.89. – Publ. 30.01.92. – Bull. № 4.
4. A.S. 1688349 USSR N 02 J 9/06. Device for automatic switching on of backup power supply for consumers / B.A. Korobeynikov, A.I. Ishchenko, E.A. Besedin, A.I. Timchuk. – № 4651180/07. – Declared. 06.01.89. – Publ. 30.10.91. – Bull. № 40.