

УДК 621.313.3

Б.Т. Кононов, О.В. Сахно

Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТРЕБУЕМЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ СИСТЕМ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

*Описываются новые технические решения системы управления установки бесперебойного электроснабжения, обеспечивающие поддержание показателей качества электрической энергии в динамических режимах работы. При разработке системы управления установок бесперебойного электроснабжения на базе инерционных накопителей энергии и синхронных электрических машин следует рассматривать различные варианты их построения, определяемые составом электроприёмников и их требованиями к качеству электрической энергии.*

*системы управления установки бесперебойного электроснабжения*

### Введение

**Постановка проблемы.** В системах бесперебойного электроснабжения, в состав которых в качестве преобразователей электрической энергии входят синхронные машины, а в качестве накопителей энергии используются инерционные маховики, в динамических режимах работы не удаётся поддерживать требуемые значения таких показателей качества электрической энергии как отключение напряжения и отклонение частоты. Ухудшение показателей качества наиболее сильно проявляется при коротких замыканиях в цепях сетевого ввода, неполнофазных режимах работы и исчезновении питающего напряжения.

В этих режимах привод синхронной электрической машины, работающей до нарушения режима двигателем, осуществляется инерционным маховиком. При этом синхронная электрическая машина становится генератором, у которого частота вырабатываемого напряжения из-за расходования запасенной в маховике кинетической энергии начинает уменьшаться. Цепи возбуждения оказываются не готовыми принять реактивную нагрузку системы, что не позволяет избежать снижения напряжения в системе электроснабжения.

**Анализ литературы.** Описание работы дизель-инерционной установки бесперебойного электроснабжения изложено в [1]. Здесь описаны режимы работы такой установки, изложена методика выбора её параметров. Однако в [1] не приводятся рекомендации, использование которых позволит обеспечить решение проблемы обеспечения требуемых показателей качества вырабатываемой электрической энергии.

**Цели статьи.** Изложение новых технических решений, использование которых позволит обеспечить поддержание требуемых показателей качества электрической энергии в динамических режимах работы установок бесперебойного электроснабже-

ния с инерционными накопителями и электромеханическими преобразователями энергии.

### Основной материал

Рассмотрим, прежде всего, особенности работы маховичных установок бесперебойного электроснабжения в режиме короткого замыкания. Меры, применяемые для парирования его последствий, должны быть различными. Так, в случае, если произошло короткое замыкание в цепи сетевого ввода, необходимо отключить его и запустить приводной двигатель, переводя тем самым электрическую машину в режим генератора. Если же имеет место замыкание в цепях статорной обмотки электрической машины, то необходимо отключить её выключатель и запустить резервную установку бесперебойного электроснабжения. Различить эти ситуации возможно, используя для этого информацию о величине напряжения, вырабатываемого генератором при включённом и выключенном корректоре напряжения. Реализация предложенного способа управления обеспечивается схемным решением, приведённом на рис. 1.

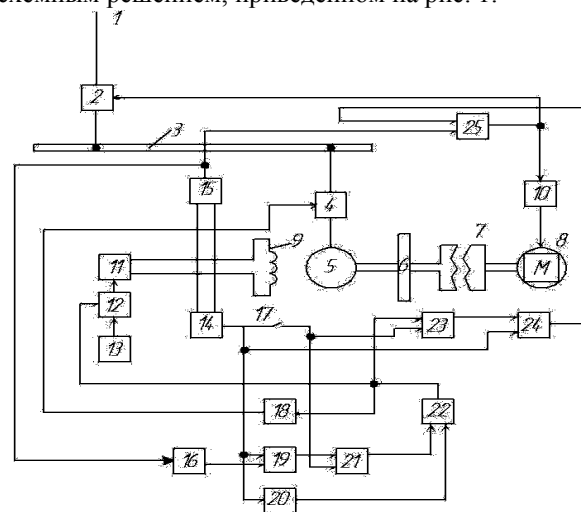


Рис. 1. Система управления установки бесперебойного питания

Здесь показаны: сетевой ввод 1; выключатель сетевого ввода 2; шины гарантированного питания 3; выключатель 4 электрической машины 5; инерционный маховик 6; разобщительная муфта 7; первичный двигатель 8; обмотка возбуждения 9 электрической машины; реле 10 пуска первичного двигателя; регулятор 11 возбуждения электрической машины; электронный ключ 12; корректор напряжения 13; первый 14 и второй 15 пороговые элементы; первая 16 схема НЕ, замыкающий контакт 17 реле пуска; элемент времени 18; первая 19 схема И; вторая 20 схема НЕ; первый 21 R-S триггер; вторая схема И; второй 23 R-S триггер; третья схема И и схема ИЛИ 25.

В нормальном режиме работы электрическая энергия поступает на шины 3 гарантированного питания через выключатель 2 сетевого ввода от основного источника 1. Электрическая машина 5 подключена с помощью выключателя 4 к шинам гарантированного питания и, работая в режиме двигателя, вращает маховик 6. Муфта 7 разобщена, первичный двигатель 8 находится в готовности к пуску. Обмотка возбуждения 9 подключена на выход регулятора 11 возбуждения, управление работой которого через открытый ключ 12 осуществляется корректором напряжения 13. Напряжение в цепи обмотки возбуждения находится в диапазоне допустимых значений, что обеспечивает открытие первого элемента 14 и закрытие второго порогового элемента 15. Напряжение с выхода первого порогового элемента 14 подаётся на один из входов первой 19 и третьей 24 схем И и на вход второго 20 схемы НЕ. На другой вход первой 19 схемы И поступает сигнал с выхода первой 16 схемы НЕ, на выходе которой напряжение есть потому, что второй 15 пороговый элемент закрыт и сигнал с его выхода на вход первой 16 схемы НЕ не подаётся. Напряжение, поступающее с выхода первой 19 схемы И подаётся на S-вход первого 21 R-S триггера и переводит его в единичное состояние, подготавливая тем самым срабатывание второй 22 схемы И. При этом первый 21 R-S триггер фиксирует наличие нормального режима работы системы бесперебойного электроснабжения.

При снижении напряжения основного источника электрическая машина переходит в режим синхронного компенсатора и начинает генерировать реактивную энергию, что приводит к росту величины напряжения в цепи возбуждения. Если снижение напряжения основного источника настолько велико, что напряжение в цепи возбуждения превышает уровень срабатывания второго 15 порогового элемента, то после открытия второго порогового элемента поступает сигнал с его выхода на первую 16 схему НЕ и на один из входов схемы 25 ИЛИ. Сигнал с выхода схемы 25 ИЛИ подаётся на отключающий электромагнит сетевого выключателя и на

реле 10 пуска. Пуск приводного двигателя осуществляется включением разобщительной муфты 7. При этом инерционный маховик 6 выполняет в процессе пуска функцию стартера. Срабатывание реле 10 пуска обеспечивает замыкание его контакта 17, через который сигнал с выхода первого 14 порогового элемента поступает на R-вход первого 21 и второго 23 R-S триггеров, которые при этом приводятся в нулевое состояние.

При снижении напряжения в цепи обмотки возбуждения ниже допустимого значения закрывается первый 14 пороговый элемент, что приводит к появлению сигнала на выходе второй 20 схемы НЕ. Сигнал на выходе этой схемы подаётся на вход второй 22 схемы И. На первом входе второй схемы И есть сигнал с выхода первого R-S – триггера, «запомнившего», что ранее напряжение было в пределах допустимого диапазона. Если же имеет место режим пуска установки, то появление сигнала на выходе второй 20 схемы НЕ не приводит к срабатыванию второй 22 схемы И, так как первый R-S – триггер находится в нулевом состоянии. Срабатывание второй 22 схемы И обеспечивает запирающее действие электронного ключа 12 и отключение тем самым корректора 13 напряжения от регулятора возбуждения 11. Одновременно с запирающим действием электронного ключа 12 запускается элемент времени 18 и переводится в единичное состояние второй 23 R-S – триггер, подготавливающий включение третьей 24 схемы И.

Если причиной резкого снижения напряжения в цепи обмотки возбуждения было увеличение напряжения основного источника, то после отключения корректора напряжения 13 напряжение в цепи обмотки возбуждения увеличивается, открывается первый пороговый элемент 14, на выходе которого появляется напряжение. При этом исчезает сигнал с выхода второй 20 схемы НЕ, а значит, исчезает сигнал и с выхода второй 22 схемы И, прекращая тем самым работу элемента времени 18 и снимая запирающий сигнал с выхода электронного ключа 12.

Одновременно с этим сигнал с выхода первого порогового элемента 14 подаётся на второй вход третьей 24 схемы И, которая обеспечивает через схему ИЛИ 25 отключением выключателя сетевого ввода 2 и включение реле 10 пуска первичного двигателя. Сигнал с выхода первого порогового элемента 14 через контакты 17 реле пуска 10 переключит первый 21 и второй 23 R-S – триггеры и отключает корректор напряжения. Выдержка времени у элемента времени 18 выбирается больше, чем время электромагнитных переходных процессов в системе возбуждения электрической машины.

В случае, когда причиной резкого снижения напряжения в цепи обмотки возбуждения является короткое замыкание в цепи статорных обмоток

электрической машины, после отключения корректора напряжения 13 напряжение в цепи обмотки возбуждения не восстанавливается и на выходе первого 14 порогового элемента сигнал не появляется.

По истечении выдержки времени элемента времени 18 срабатывает электромагнит отключения выключателя электрической машины, которая отключается от шин гарантированного питания 3 и спустя время, равное времени выбега инерционного маховика, останавливается.

Рассмотренная схема позволит обеспечить управление установкой бесперебойного электропитания в режимах трёхфазных коротких замыканий, однако при несимметричных коротких замыканиях неполнофазных режимах работы, в которых возможны опасные для работы электрической машины вибрации ротора, вызывающие механические повреждения установки, система управления нуждается в доработке.

Такие доработки показаны на рис. 2. По сравнению со схемой, приведённой на рис. 1, в схеме, показанной на рис. 2, дополнительно введены вторая 26 схема ИЛИ трансформатора тока 27, реле тока 28, третий 29 R-S – триггер, третья 30 схема НЕ и первые 31 и вторые 32 размыкающие контакты выключателя сетевого ввода.

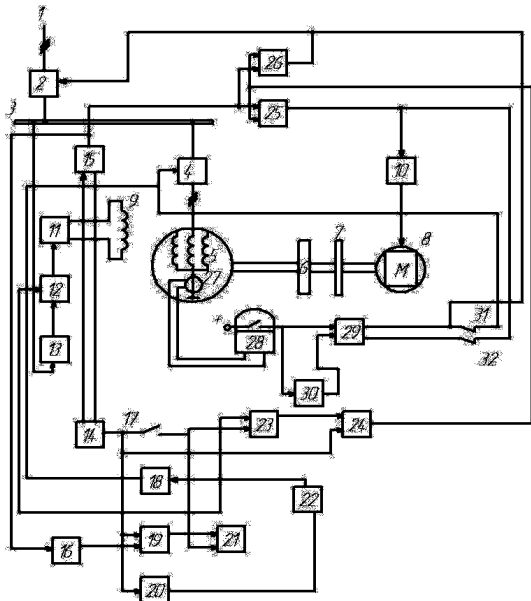


Рис. 2. Система управления установкой бесперебойного питания, обеспечивающая ее защиту в несимметричных режимах работы

В режиме трехфазных коротких замыканий работа устройства управления системой бесперебойного питания не отличается от работы выше описанного устройства.

При неполнофазном режиме в цепях сетевого ввода электрическая машина по неповрежденным фазам работает в режиме двигателя, а его поврежденные фазы переходят в режим генератора. При этом нарушается симметрия, и в нулевом проводни-

ке статорной обмотки появляется ток, величина которого превышает возможный ток асимметрии нормального режима. Этот факт фиксируется трансформатором тока 27, что приводит к срабатыванию реле тока 28. Замыкание контактов реле тока 28 обеспечивает перевод третьего 29 R-S – триггера в единичное состояние. Сигнал с выхода этого триггера подается на отключающий электромагнит выключателя сетевого ввода 2, отключая тем самым сетевой ввод от сети гарантированного питания. Если ток в нулевом проводнике статорной обмотки электрической машины снизится до допустимого значения, так как причина, его порождающая, устранена, реле тока 28 отключится и сигнал на входе 30 схемы НЕ исчезнет. На выходе этой схемы сигнал появится, переводя третий 29 R-S – триггер в нулевое состояние, при котором через замкнувшиеся вторые размыкающие контакты 32 выключателя сетевого ввода подается команда на запуск приводного двигателя.

В случае, если причиной появления тока в нулевом проводнике является однофазное короткое замыкание в цепи статорной обмотки электрической машины, то после отключения сетевого ввода реле тока 28 остается включенным, третий 29 R-S – триггер остается в единичном состоянии, при котором через замкнувшиеся первые 31 размыкающие контакты выключателя сетевого ввода подается сигнал на отключающий электромагнит выключателя 4 электрической машины, отключая её от цепи гарантированного питания.

Следует отметить, что в динамических режимах работы из-за возможного изменения напряжения сетевого ввода в широких пределах, электрическая машина будет переходить из режима синхронного компенсатора в режим синхронного генератора с запуском приводного двигателя. В связи с этим вследствие частых пусков расходуется ресурс работы системы гарантированного питания, определяемый числом пусков приводного двигателя. Для сохранения ресурса приводного двигателя путём исключения его неоправданных пусков предлагается при работе электрической машины в режиме синхронного компенсатора подготовить её роторные цепи к возможным колебаниям напряжения сетевого ввода, в этом режиме – максимальный статизм и устанавливая его, возвращаемся к минимальному статизму в режиме синхронного генератора.

Схема устройства, реализующего предложенный способ, приведена на рис. 3.

По сравнению со схемой, показанной на рис. 1, схема, приведенная на рис. 3, дополнительно содержит блок выявления режимов работы электрической машины; второй 27 и третий 28 электронные ключи; датчик 29 величины тока обратной связи; третья 30 схема НЕ и трансформатор тока 31.

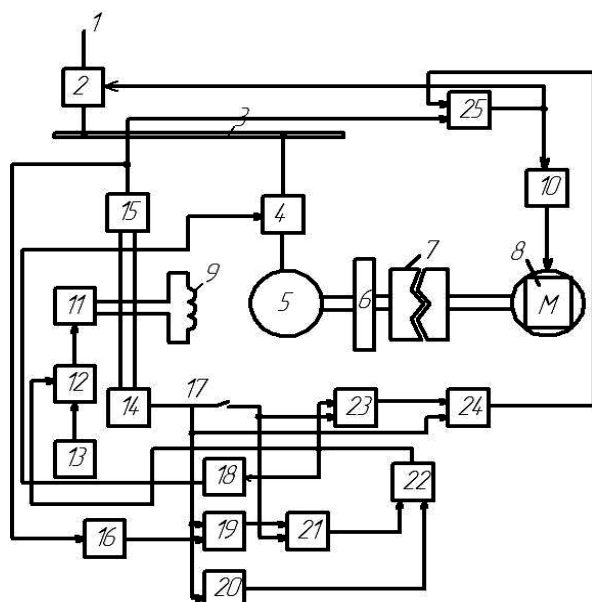


Рис. 3. Способ автоматического управления системой гарантированного питания

Работа схемы аналогична работе схемы, приведённой на ри. 1. Датчик 29 совместно со вторым 27 и третьим 28 электронными ключами и третьей 30 схемой НЕ образуют управляемую цепь связи корректора напряжения генератора. В режиме синхронного компенсатора цепь обратной связи подключена к входу корректора напряжения 13, так, что обеспечивает максимальный статизм. При этом изменение напряжения сетевого ввода воспринимаются и сглаживаются электрической машиной, а её роторные цепи оказываются подготовленными к происходящим динамическим процессам и не перегружаются.

В момент перехода электрической машины в режим синхронного генератора появляется сигнал на выходе блока 26 выявления режимов работы. При этом закрывается третий 28 электронный ключ и открывается второй 27 электронный ключ, включая тем самым цепь обратной связи на вход корректора напряжения и устанавливается минимальный статизм регулятора возбуждения для исключения провалов напряжения, которые возможны при переходе в генераторный режим работы; следует предварительно готовить регулятор возбуждения к приёму нагрузки шин гарантированного питания. Это возможно осуществить, управляя корректором напряжения от датчика реактивной нагрузки (щит гарантированного питания) в режиме синхронного компенсатора. В этом случае отключение напряжения в цепи сетевого ввода не вызовет провала напряжения на шинах гарантированного питания, так как регулятор возбуждения уже готов к приёму нагрузки системы.

Для исключения влияния асинхронной нагрузки, особенно сильно проявляющейся при пуске двигателей, целесообразно использовать электрическую машину с двумя статорными обмотками, первая из которых в нормальных условиях работает в двигательном режиме и подключена к шинам сетевого

ввода, а вторая работает в генераторном режиме и подключена к шинам гарантированного питания, такое решение позволяет смягчить влияние ответственных электроприёмников на работу электроприёмников, получающих электрическую энергию от шин гарантированного питания.

Для повышения качества электрической энергии на шинах гарантированного питания при коротких перебоях в цепях основного источника возможно использовать статорные обмотки электрической машины в качестве токоограничивающих сопротивлений. С этой целью статорная обмотка электрической машины включается последовательно в цепь питания нагрузки. Схема системы гарантированного питания, в которой реализуется такой способ включения статорной обмотки, приведена на рис. 4.

Система содержит ввод 1 основного источника; выключатель сетевого ввода 2; шины гарантированного питания 3; электрическую машину с обмоткой возбуждения на роторе 4 и статорными обмотками 16; разобщительную муфту 6; приводной двигатель 7; реле 8 контроля напряжения обмотки возбуждения; реле направления мощности 9; отключающий электромагнит 10 выключателя сетевого ввода; реле пуска 11 первичного двигателя; реле тока 12; реле частоты 13; первые размыкающие блок-контакты 14 выключателя сетевого ввода; регулятор возбуждения 15; выключатель электрической машины 17; нагрузку 18 шин гарантированного питания; измеритель напряжения 19; блок управления 20; блок совпадения фаз 21; теристорный короткозамыкатель 22; теристорный блок 23 коммутации сетевого ввода; трансформатор тока 24; вторые размыкающие блок-контакты 25 выключателя сетевого ввода; блок памяти 26; клемму 27 для подачи сигнала на выключение выключателя сетевого ввода и отключение привода двигателя 7.

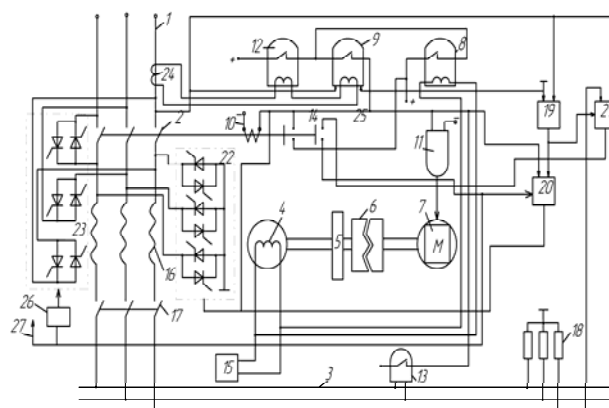


Рис. 4. Система бесперебойного электроснабжения с последовательно включенной статорной обмоткой

При питании от основного источника электрическая машина работает в двигательном режиме, вращая маховик 5. Напряжение её статорной обмотки 16 поддерживается примерно равным напряжению на шинах гарантированного питания. Муфта 10

разобрана, а приводной двигатель 7 готов к пуску. При переходе электрической машины в режим генератора срабатывает реле направления мощности и в случае, если ток статорной обмотки 16 выше нормы или если напряжение возбуждения превышает допустимое значение, подаётся команда на отключение выключателя сетевого ввода, запуск приводного двигателя 7 и через блок управления 20 на отпирание теристоров короткозамыкателя 22. Команда на отпирание теристоров короткозамыкателя проходит и при снижении напряжения, вызвано коротким замыканием в цепях основного источника. При этом основной источник отключается своим устройством защиты (на схеме оно не показано). В этом случае для ускорения локализации аварии после снижения напряжения до допустимого значения срабатывает практически безинерционно измеритель напряжения 19, который через блок управления 20 обеспечивает подачу управляющих сигналов на теристоры короткозамыкателя 22. При этом отсекаются шины гарантированного питания от места короткого замыкания, прекращая тем самым питание точки короткого замыкания от электрической машины, перешедшей в генераторный режим работы.

Недопустимого снижения напряжения на шинах гарантированного питания не происходит, так как статорная обмотка электрической машины выполняет роль токоограничивающего сопротивления. После срабатывания короткозамыкателя 22 отключающий электромагнит 10 обеспечивает выключение выключателя 2 и тем самым предотвращает возможность короткого замыкания при появлении напряжения на вводе 1 основного источника.

В случае, когда напряжение на вводе основного источника восстанавливается, сигнал на выходе измерителя напряжения исчезнет, с тем самым снимает запрет на срабатывание блока 21 совпадения фаз.

При этом в момент совпадения фаз напряжений основного источника и шин гарантированного питания формируется команда на включение теристоров

блока 23, подаётся сигнал на запрещающий вход блока управления 20, отключаются теристоры короткозамыкателя 22 и подаётся сигнал на выключение выключателя сетевого ввода. После этого выключается приводной двигатель.

Для исключения снижения частоты, вызываемого расходом запасенной в маховике кинетической энергии, предлагается в качестве маховика использовать электрическую машину постоянного тока, которая при наличии напряжения в цепях сетевого ввода работает в режиме генератора и обеспечивает заряд емкостного накопителя энергии. При переходе в генераторный режим электрической машины переменного тока её привод осуществляется на начальном этапе работы от электрической машины постоянного тока, которая переходит в двигательный режим и получает питание от емкостного накопителя энергии.

### Вывод

Предложенные технические решения обеспечивают поддержание требуемых показателей качества электрической энергии в аварийных режимах работы системы электроснабжения. При разработке системы управления установок бесперебойного электроснабжения на базе инерционных накопителей энергии и синхронных электрических машин следует рассматривать различные варианты их построения, определяемые составом электроприёмников и их требованиями к качеству электрической энергии.

### Список литературы

1. Самойленко Б.Ф., Кононов Б.Т., Григоров И.И. и др. Системы автономного электроснабжения. – Х.: МО СССР, 1990. – 317 с.

Поступила в редколлегию 7.02.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.М. Чинков, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

## ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НЕОБХІДНИХ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМАХ РОБОТИ СИСТЕМ БЕЗПЕРЕБІЙНОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Кононов Б.Т., Сахно О.В.

*Описуються нові технічні рішення системи управління установок безперебійного електропостачання, що забезпечують підтримку показників якості електричної енергії в динамічних режимах роботи. При розробці системи управління установок безперебійного електропостачання на базі інерційних накопичувачів енергії і синхронних електричних машин слід розглянути різні варіанти їх побудови, визначувати складом електроприймачів і їх вимогам до якості електричної енергії.*

**Ключові слова:** системи управління установки безперебійного електропостачання.

## PROVIDING OF THE REQUIRED INDEXES OF QUALITY OF ELECTRIC ENERGY IS IN DYNAMIC MODES OF OPERATIONS OF SYSTEMS OF TROUBLE-FREE POWER SUPPLY

Kononov B.T., Sahno O.V.

*The new technical decisions of the control system are described options of trouble-free power supply, providing maintenance of indexes of qualities of electric energy in dynamic office hours. At development of the control of options of trouble-free power supply system on the base of stores of inertias of energy and synchronous electric machines it is necessary to examine different variants their constructions, determined composition of electro-receivers and to their requirements to quality of electric energy.*

**Keywords:** control of setting of trouble-free power supply systems.