

(56)

1. Беркович М.А. и др. Основы автоматики энергосистем / М.А.Беркович, А.Н.Комаров, В.А.Семенов. - М.: Энергоатомиздат, 1981. - 342 с., ил. - С. 156-161.

2. Андреев В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения. - М.: Высш. школа, 1991. - 496 с., ил. - С. 353-355.

Полезная модель относится к электротехнике, а именно к устройствам для автоматического включения резервного электропитания (АВР) потребителей, и может быть использована для взаимного резервирования источников питания на подстанциях с двигательной нагрузкой - мощными синхронными и асинхронными электродвигателями, используемыми на производствах с непрерывными технологическими процессами.

Стандартная последовательность операций при реализации АВР в системах электроснабжения узлов промышленной нагрузки для двухтрансформаторной подстанции предусматривает отключение вводного выключателя секции шин, потерявших питание, и включение секционного выключателя (СВ) для подачи питания от резервной секции шин. Основной задачей при реализации АВР возбужденных синхронных двигателей, так же как и при включении синхронных генераторов на параллельную работу, является обеспечение малых токов включения и успешное втягивание в синхронизм без длительных качаний роторов.

Известно устройство [1], предназначенное для включения синхронных генераторов на параллельную работу (синхронизатор с постоянным углом опережения), состоящее из двух узлов: контроля угла опережения и контроля скольжения. Данное устройство работает по принципу формирования управляющего сигнала на включение выключателя синхронизируемого генератора в момент времени, когда угол рассогласования δ между векторами ЭДС генератора \underline{E} и напряжения питающей сети \underline{U}_c , уменьшаясь, становится равен фиксированному значению (это соответствует моменту времени перед отклонением вектора \underline{E} на угол $0, 2\pi, 4\pi$ и т.д. относительно вектора \underline{U}_c). Угол δ определяется косвенно по величине огибающей напряжения биения, представляющего собой геометрическую разность векторов \underline{E} и \underline{U}_c . Синхронизатор с постоянным углом опережения может быть использован и при реализации АВР синхронных двигателей. Известное устройство имеет следующие недостатки:

ошибка по времени включения зависит от скорости снижения частоты ЭДС эквивалентного синхронного двигателя (СД) ε_{c0} , т.е. от текущих параметров выбега: загрузки агрегатов, электромеханических постоянных времени, наличия сторонней (безынерционной) нагрузки;

в зависимости от режима и вида схемы форсировки возбуждения ЭДС \underline{E} возбужденных синхронных двигателей может как уменьшаться, так и увеличиваться по амплитуде, что будет вносить дополнительную ошибку в определении угла опережения.

Наиболее близким к заявленному техническому решению является устройство синхронизации генераторов с постоянным временем опережения [2] применительно к АВР синхронных двигателей. Устройство содержит четыре пороговых органа (ПО₁, ПО₂, ПО₃ и ПО₄), формирователь импульсов несовпадения, преобразователь длительности импульсов в постоянное напряжение, дифференцирующий усилитель, инвертирующий усилитель, компаратор и элемент блокировки. В данном устройстве входные сигналы U_1 и U_2 , пропорциональные напряжениям 1-й и 2-й секций шин, подаются на входы пороговых органов ПО₁ и ПО₂. В случае потери питания синхронных двигателей, подключенных к одной из секций шин, на ней присутствует ЭДС \underline{E} эквивалентного синхронного двигателя (группа двигателей различной мощности, подлежащих самозапуску). Синхронные двигатели переходят в режим выбега, и угол δ начинает увеличиваться по определенному закону. На выходе формирователя импульсов несовпадения появляются импульсы несовпадения

ВУ 7415 U 2011.08.30

временных интервалов, соответствующих положительным полуволнам синусоид сигналов, пропорциональных \underline{E} и \underline{U}_c . Преобразователь длительности импульсов в постоянное напряжение формирует на выходе ступенчато изменяющееся напряжение U_δ , пропорциональное углу рассогласования δ . На выходе дифференцирующего усилителя формируется напряжение, пропорциональное производной угла δ , т.е. $\frac{dU_\delta}{dt}$. Инвертирующий усилитель

и компаратор предназначены для сравнения напряжений U_δ и $\frac{dU_\delta}{dt}$. Пороговые органы

ПО₃ и ПО₄ служат для блокировки сигнала на включение секционного выключателя соответственно при высокой скорости изменения угла δ и при большом значении модуля угла δ . В случае если данные сигналы блокировок сняты, на выходе элемента блокировки формируется сигнал, отключающий вводный и включающий секционный выключатель.

В данном устройстве подача резервного питания на обесточенную секцию шин с синхронными двигателями производится с заданным временем опережения относительно того момента времени $t_{\text{сф}i}$, когда вектора ЭДС синхронных двигателей \underline{E} и напряжения питающей сети \underline{U}_c совпадают по фазе (т.е. при расхождении указанных векторов на угол 2π , 4π и т.д.). Моменты времени $t_{\text{сф}i}$ называются временем 1-й, 2-й и т.д. синфазности.

Согласно уравнению движения, за некоторое время $t_{\text{оп}}$ до первого полного проворота ротора эквивалентного СД относительно вектора напряжения сети \underline{U}_c справедливо равенство:

$$\begin{aligned}\delta + \delta_{\text{оп}} &= 2\pi; \\ \delta + \frac{d\delta}{dt} t_{\text{оп}} &= 2\pi.\end{aligned}$$

С учетом того, что при достижении угла рассогласования 2π ротор эквивалентного СД совершает полный проворот относительно вектора напряжения сети, т.е. фактический угол рассогласования становится равным нулю, для сигналов напряжения, пропорциональных модулю угла δ и скорости его изменения, справедливо:

$$U_\delta + \frac{dU_\delta}{dt} \cdot t_{\text{оп}} = 0,$$

где $t_{\text{оп}}$ - заданное время опережения, равное времени включения секционного выключателя.

Данное равенство выполняется только при отрицательном значении $\frac{dU_\delta}{dt}$, т.е. во второй половине проворота ротора, когда напряжение U_δ уменьшается. Анализ показал, что во всем возможном диапазоне скорости снижения частоты ЭДС эквивалентного СД ϵ_{e0} время опережения $t_{\text{оп}}$ изменяется не более чем на 4 %, что выгодно отличает синхронизатор с постоянным временем опережения от синхронизатора с постоянным углом опережения.

Однако в данном устройстве сигнал на срабатывание не может быть сформирован вплоть до совпадения по модулю величин угла U_δ и его производной $\frac{dU_\delta}{dt}$. В связи с этим заданное время опережения, равное времени срабатывания СВ, может быть изменено только в небольшом диапазоне путем регулировки коэффициентов передачи дифференцирующего усилителя либо инвертирующего усилителя. Это накладывает ограничение на эксплуатацию устройства при применении в системе электроснабжения секционного выключателя, имеющего большое время включения.

Кроме того, данное устройство предусматривает аппаратное дифференцирование сигнала, пропорционального фазовому рассогласованию векторов \underline{E} и \underline{U}_c , что, при ступенчатой форме входных сигналов, может привести к существенной погрешности в

ВУ 7415 U 2011.08.30

определении оптимального момента времени включения резерва. В измерительной схемотехнике перед дифференцированием ступенчато изменяющегося сигнала его форму, как правило, сглаживают при помощи фильтра нижних частот, что приводит к задержке обрабатываемого сигнала. Так как синхронный генератор включают в сеть при подгонке его частоты вращения до близкой к номинальной, и при этом угол рассогласования δ изменяется медленно, инерционность устройства не вносит существенной погрешности при включении. Совсем иначе происходит процесс выбега синхронных двигателей. Характерная скорость снижения частоты ЭДС СД находится в диапазоне от 10 до 45 Гц/с, и даже малая инерционность устройства АВР при большой скорости изменения частоты ЭДС СД вносит существенную погрешность в определение момента включения секционного выключателя.

Задачей полезной модели является обеспечение АВР электродвигательной нагрузки с сохранением ее результирующей устойчивости за счет повышения надежности устройства и расширения допустимого диапазона времени включения секционного выключателя, применяемого в системе электроснабжения.

Поставленная задача решается тем, что в устройство автоматического включения резервного питания электродвигательной нагрузки на основе синхронизации с питающей сетью, состоящее из двух пороговых органов с входами для подключения к датчикам напряжений двух независимых секций шин питания и выходами, соединенными с входами формирователя импульсов несовпадения, а также из первого преобразователя длительности импульсов в постоянное напряжение, второго преобразователя длительности импульсов в постоянное напряжение, компаратора и элемента блокировки, для повышения надежности и расширения допустимого диапазона времени включения секционного выключателя, применяемого в системе электроснабжения, введены элемент задержки на время Δt , вычитатель и делитель, причем выход формирователя импульсов несовпадения соединен с входами элемента задержки и первого преобразователя длительности импульсов в постоянное напряжение, выход которого соединен с инвертирующим входом вычитателя и вторым входом делителя, выход элемента задержки соединен с входом второго преобразователя длительности импульсов в постоянное напряжение, выход которого соединен с неинвертирующим входом вычитателя, выход вычитателя соединен с первым входом делителя и первым входом элемента блокировки, выход делителя соединен с первым входом компаратора, второй вход которого предназначен для приема сигнала уставки, равного отношению времени Δt ко времени включения секционного выключателя $t_{СВ}$, а выход соединен со вторым входом элемента блокировки, выход которого является выходом устройства.

Такое построение устройства позволяет повысить надежность функционирования, т.к. в нем используются только дискретные преобразователи и не применяется аппаратное дифференцирование непрерывных сигналов ступенчатой формы, приводящее к появлению всплесков в формируемых сигналах. Кроме того, в данном устройстве имеется возможность выбора временной уставки, равной времени включения секционного выключателя $t_{СВ}$, практически во всем временном диапазоне, соответствующем изменению угла рассогласования δ от π до 2π . Это достигается тем, что в темпе процесса выбега синхронных электродвигателей устройством формируется линейно изменяющийся сигнал, пропорциональный времени опережения. Данный сигнал непрерывно сравнивается с заданной временной уставкой.

На фиг. 1 представлена функциональная схема заявленного устройства для автоматического включения резервного питания электродвигательной нагрузки на основе синхронизации с питающей сетью, на фиг. 2 - временные диаграммы заявленного устройства при скорости снижения частоты ЭДС эквивалентного синхронного двигателя $\varepsilon_{с0} = 10$ Гц/с, на фиг. 3 - временные диаграммы заявленного устройства при скорости снижения частоты $\varepsilon_{с0} = 45$ Гц/с.

ВУ 7415 U 2011.08.30

Устройство для автоматического включения резервного питания электродвигательной нагрузки на основе синхронизации с питающей сетью (фиг. 1) содержит два пороговых органа 1 и 2 ($ПО_1$, $ПО_2$), формирователь 3 импульсов несовпадения (ФИН), элемент 4 задержки (ЭЗ) на время Δt , первый преобразователь 5 длительности импульсов в постоянное напряжение ($ПДИН_1$), второй преобразователь 6 длительности импульсов в постоянное напряжение ($ПДИН_2$), вычитатель 7, делитель 8, компаратор 9 и элемент 10 блокировки.

Пороговые органы 1 и 2 предназначены для преобразования входных аналоговых сигналов во времяимпульсную форму. На выходе формирователя 3 импульсов несовпадения будет сформирован сигнал разности фаз секций шин (фазоразностный сигнал) $\tau(t)$, пропорциональный значению угла рассогласования между векторами \underline{E} и \underline{U}_c . На выходе элемента 4 задержки будет сформирован фазоразностный сигнал $\tau'(t)$ той же длительности и формы, но задержанный на время Δt относительно исходного. Преобразователи 5 и 6 предназначены для преобразования исходного и задержанного фазоразностных сигналов в дискретно изменяющиеся сигналы ступенчатой формы (кривые напряжения U_δ показаны на фиг. 2, 3). На выходе вычитателя 7 будет сформирован сигнал $-U_{\Delta\delta}$, свидетельствующий о скорости изменения угла рассогласования δ . Данный сигнал будет дискретно увеличиваться на промежутках времени, соответствующих изменению угла рассогласования δ от π до 2π ; от 3π до 4π и т.д., т.е. когда сигнал U_δ будет дискретно уменьшаться. Делитель 8 предназначен для деления значения сигнала $-U_{\Delta\delta}$ на значение сигнала U_δ . Компаратор 9 предназначен для сравнения значения, которое будет получено на выходе делителя 8, с уставкой, равной отношению времени задержки Δt ко времени срабатывания секционного выключателя t_{CB} . В случае если сигнал с выхода делителя 8 превысит данную уставку, на выходе компаратора будет сформирован управляющий сигнал. Элемент 10 блокировки предназначен для блокировки сигнала на включение секционного выключателя на промежутках времени, соответствующих изменению угла рассогласования δ от 0 до π ; от 2π до 3π и т.д., т.е. когда сигнал $-U_{\Delta\delta}$ будет иметь отрицательный знак. Если сигнал $-U_{\Delta\delta}$ будет иметь положительный знак, управляющий сигнал с выхода компаратора 9 пройдет на выход устройства, т.е. будет сформирован выходной сигнал на переключение электродвигателей с рабочего на резервный источник питания.

Устройство для автоматического включения резервного питания электродвигательной нагрузки на основе синхронизации с питающей сетью работает следующим образом.

При функционировании устройства в режиме нормального электроснабжения входные сигналы, формируемые датчиками напряжений различных секций шин U_1 и U_2 , имеют одинаковую или близкую частоту (50 Гц). На выходах пороговых органов 1 и 2 формируются импульсы, имеющие одинаковую длительность, а на выходах ФИН 3 и ЭЗ 4 - короткие импульсы одинаковой длительности (пропорциональные разности фаз напряжений на секциях шин в режиме нормального электроснабжения), которые преобразователями 5 и 6 преобразуются в сигналы постоянного тока малой величины и практически неизменного уровня. В результате вычитания данных сигналов друг из друга вычитателем 7 на его выходе формируется сигнал, близкий к нулю. Также сигнал, близкий к нулю, формируется на выходе делителя 8 и поступает на первый вход компаратора 9. Указанный сигнал не превышает уставку, и управляющий сигнал на вход элемента 10 блокировки не поступает.

Рассмотрим работу устройства в режиме нарушения электроснабжения на одной из секций шин питания. На этапе выбега синхронных двигателей, подключенных к секции шин, потерявшей питание, по мере снижения частоты ЭДС \underline{E} эквивалентного синхронного двигателя на выходе одного из пороговых органов 1 или 2 длительности импульсов дискретно возрастают по отношению к длительностям импульсов, присутствующих на втором пороговом органе. На выходе ФИН 3 появляются дискретно изменяющиеся импульсы фазоразностного сигнала $\tau(t)$, пропорциональные значению угла рассогласования между векторами \underline{E} и \underline{U}_c , а на выходе ЭЗ 4 - импульсы фазоразностного сигнала $\tau'(t)$, задержанно-

го на время Δt относительно исходного. На выходе преобразователей 5 и 6 присутствуют ступенчато изменяющиеся сигналы, пропорциональные длительностям импульсов соответственно исходного (U_δ) и задержанного фазоразностных сигналов. В результате вычитания исходного сигнала из задержанного вычитателем 7 на его выходе формируется сигнал $-U_{\Delta\delta}$, который на промежутке времени, соответствующем изменению угла рассогласования δ от 0 до π , имеет отрицательный знак, а на промежутках времени, соответствующих изменению δ от π до 2π - положительный (кривая напряжения $-U_{\Delta\delta}$ на фиг. 2, 3). Сигнал с выхода вычитателя 7 поступает на делитель 8, который делит значение $-U_{\Delta\delta}$ на U_δ . Далее полученное значение поступает на компаратор 9, где сравнивается с уставкой, равной отношению времени задержки Δt ко времени срабатывания секционного выключателя t_{CB} . Если сигнал с выхода делителя 8 превышает данную уставку, формируется управляющий сигнал на включение секционного выключателя. Элемент 10 блокировки запрещает прохождение управляющего сигнала на выход в промежутке времени, когда сигнал $-U_{\Delta\delta}$ имеет отрицательный знак (до момента противофазы векторов \underline{E} и \underline{U}_c), и разрешает, когда сигнал $-U_{\Delta\delta}$ имеет положительный знак (в промежутке времени от противофазы векторов \underline{E} и \underline{U}_c до их синфазности).

Условием срабатывания компаратора 9 является выражение

$$\frac{\Delta t}{t_{CB}} < \frac{-U_{\Delta\delta}}{U_\delta}.$$

После преобразований получим:

$$\begin{aligned} \frac{t_{CB}}{\Delta t} &> \frac{U_\delta}{-U_{\Delta\delta}}; \\ t_{CB} &> \frac{U_\delta}{-(U_{\Delta\delta}/\Delta t)} = t_{оп,з}. \end{aligned} \quad (1)$$

Выражение (1) показывает, что срабатывание компаратора 9 фактически происходит в заданный момент времени опережения $t_{оп,з}$, равный по величине времени включения секционного выключателя t_{CB} . После этого, при условии положительного знака сигнала $-U_{\Delta\delta}$, поступает команда на отключение вводного и включение секционного выключателя, который замыкает свои контакты в момент синфазности, т.е. в момент времени, соответствующий точному угловому совпадению векторов \underline{E} и \underline{U}_c .

Временные диаграммы сигналов при различной скорости снижения частоты ЭДС эквивалентного синхронного двигателя (при $\epsilon_{e0} = 10$ Гц/с и $\epsilon_{e0} = 45$ Гц/с), приведенные на фиг. 2 и 3 соответственно, показывают, что срабатывание устройства в различных условиях выбега электродвигательной нагрузки происходит при заданном времени опережения, равном времени включения секционного выключателя t_{CB} . Изменение заданного времени опережения может быть легко выполнено путем корректировки уставки, выставяемой на компараторе 9.

Таким образом, устройство для автоматического включения резервного питания электродвигательной нагрузки на основе синхронизации с питающей сетью обеспечивает следующие основные преимущества:

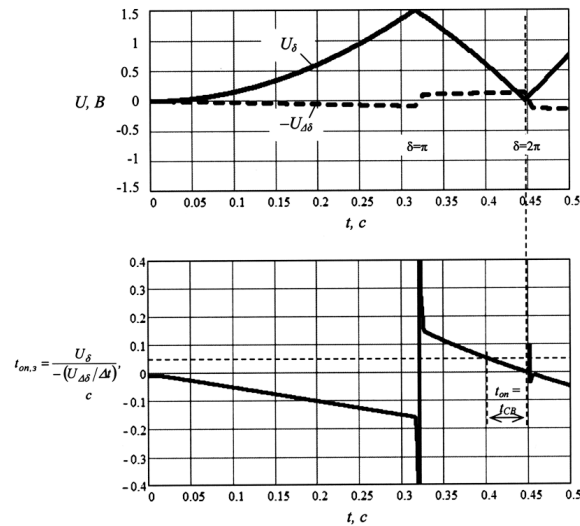
устройство работает по принципу следящей системы относительно динамики процесса выбега и обладает инвариантностью к типу и параметрам электродвигательной нагрузки (вид механических характеристик приводных механизмов, нагрузка агрегатов, электромеханические постоянные времени);

принцип действия устройства предусматривает непрерывное формирование в виде сравниваемой величины линейно изменяющегося сигнала, пропорционального времени опережения, поэтому уставка, равная времени включения секционного выключателя, может быть выбрана практически во всем временном диапазоне, соответствующем изменению угла рассогласования δ от π до 2π ;

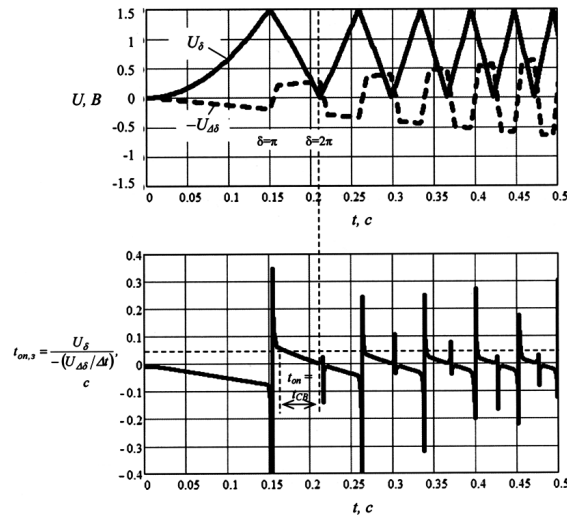
ВУ 7415 U 2011.08.30

в устройстве используются дискретные преобразователи, что выгодно отличает его от устройств, в которых применяется аппаратное дифференцирование сигналов и имеются связанные с этим всплески в формируемых сигналах, отрицательно влияющие на надежность устройства.

Полезная модель позволяет обеспечить АВР электродвигательной нагрузки за счет повышения надежности устройства и расширения допустимого диапазона собственного времени включения секционного выключателя, применяемого в системе электроснабжения.



Фиг. 2



Фиг. 3