

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМАХ ГАРАНТИЙНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРИ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЯХ В ЦЕПЯХ СЕТЕВОГО ВВОДА

д.т.н., проф. Б.Т. Кононов, Ю.А. Кусакин

В статье предлагается для парирования возможных возмущений в цепях сетевого ввода систем гарантийного электроснабжения объектов специального назначения использовать последовательную схему включения статорных обмоток машин переменного тока.

Анализ характера протекания переходных процессов в аномальных режимах позволяет утверждать, что эффективными средствами повышения качества электроэнергии на шинах гарантированного питания при коротких замыканиях в цепях сетевого ввода являются быстрое отключение сетевого ввода и изменение схемы включения статорных обмоток электрической машины переменного тока, обеспечивающие увеличение продольного реактивного сопротивления  $x_d$ .

Быстрое отключение сетевого ввода позволяет не только улучшить качество напряжения на шинах гарантированного питания, но и предотвращает расход энергии маховика для питания места короткого замыкания, а тем самым уменьшает величину снижения частоты при переходе системы в автономный режим работы и ликвидации аномальной ситуации. В настоящей статье описывается установка гарантированного питания, позволяющая обеспечивать улучшение показателей качества электроэнергии при коротких замыканиях в цепях основного источника за счет последовательного включения статорных обмоток. Схема системы автономного электроснабжения, в состав которой входит такая установка, приведена на рис.1 [1]. Система содержит ввод 1 основного источника, который через выключатель 2, статорные обмотки 16 электрической машины переменного тока 4 и ее выключатель 17, подключен к распределительным шинам 3.

Электрическая машина переменного тока 4 с обмоткой возбуждения на роторе, находясь на одном валу с маховиком 5, связана разобщительной муфтой 6 с первичным двигателем 7, управляемым реле пуска 11. Работа системы и управление ею в установившемся и переходных режимах обеспечивается реле 8 контроля напряжения обмотки возбуждения 4, реле 9 направления мощности, отключающим электромагнитом 10 выключателя основного источника, реле тока 12, реле частоты 13, регулятором возбуждения 15, измери-

телем напряжения 19, блоком управления 20, блоком совпадения фаз 21, тиристорным короткозамыкателем 22, тиристорным блоком коммутации 23

выключателя 2, трансформатором тока 24, блоком 24, блоком памяти 26, первыми 14 и вторыми 25 размыкающими блок - контактами выключателя и цепью 27 включения этого выключателя и отключения двигателя 7. Ускорение локализации аварии обеспечивается короткозамыкателем, тиристоры которого отпираются после снижения напряжения на шинах гарантированного питания до допустимого уровня. Сигнал управления на электроды тиристоров короткозамыкателя формируется безинерционным измерителем напряжения 19 и подается через блок управления 20. Включение тиристорного короткозамыкателя обеспечивает отсекание распределительных шин от места короткого замыкания и перевод электрической машины переменного тока в генераторный режим работы.

Перевод системы на питание от основного источника при устранении аварии обеспечивается тиристорным блоком коммутации 23 выключателя 2. Сигнал управления на электроды тиристоров блока 23 формируется блоком совпадения фаз 21. При этом для обеспечения требуемого качества электрической энергии на шинах гарантированного питания выбор момента включения основного источника производится в соответствии со следующим способом автоматического включения резервного питания потребителей [2]. Сигнал на выходе блока 21 подается в момент совпадения фаз сдвинутых по

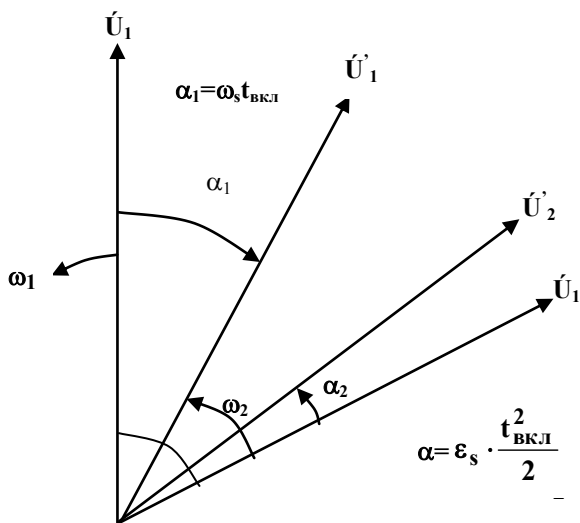


Рис.2. Получение постоянного времени опережения при синхронизации

фазе напряжений основного источника  $U'_1$  и резервного источника  $U'_2$ . Напряжение основного источника  $U_1$  (рис. 2) сдвигают по фазе в сторону от-

ставания на угол, пропорциональный скорости скольжения  $\omega_s$ , а напряжение резервного источника  $U_2$  сдвигают по фазе в сторону опережения на угол, пропорциональный ускорению скольжения  $\epsilon_s$ . К моменту совпадения сдвинутых по фазе напряжений  $U_1'$  и  $U_2'$  угол  $\delta$  между напряжениями  $U_1$  и  $U_2$  равен

$$\delta = \omega_s t_{\text{вкл}} + \epsilon_s \cdot \frac{t_{\text{вкл}}^2}{2}, \quad (1)$$

где  $t_{\text{вкл}}$  - время включения резервного источника питания.

Основной особенностью устройства (рис.3), реализующего описанный способ, является наличие активного фильтра 4, состоящего из трех последовательно включенных операционных усилителей 5, 6, 7. Кроме этих элементов, в составе устройства содержатся формирователи импульсов 1 и 2, триггеры 3 и 14, суммирующие операционные усилители 8 и 9, блок сравнения 10, цепь отключения 11 и цепь включения 17 выключателя основного источника, первый 12 и второй 13 одновибраторы, релейный блок 15 и контакты 16 выключателя основного источника.

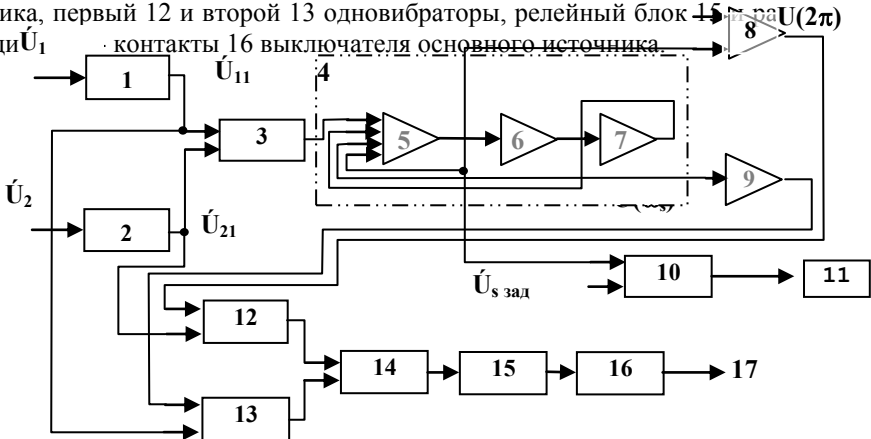


Рис.3. Схема устройства синхронизации с активным фильтром

На вход активного фильтра подается импульсная последовательность  $U_s$ , среднее значение напряжения которой пропорционально углу сдвига фаз между напряжениями основного и резервного источников. Последовательно включенные интегрирующие усилители 5, 6 и 7 охвачены обратными связями так, что результирующая передаточная функция активного фильтра соответствует звену третьего порядка вида

$$W(p) = \frac{K}{ap^3 + bp^2 + cp + 1}, \quad (2)$$

где  $\mathbf{p} = \frac{d}{dt}$  - оператор дифференцирования;  $\mathbf{K}$  - коэффициент усиления;  $\mathbf{a}$ ,  $\mathbf{b}$ ,  $\mathbf{c}$  - коэффициенты при производных.

Сигнал на выходе активного фильтра, имеющего вполне определенную полосу пропускания, зависящую от выбора коэффициентов  $\mathbf{a}$ ,  $\mathbf{b}$ ,  $\mathbf{c}$ , пропорционален текущему углу сдвига фаз. Поскольку сигнал на выходе третьего операционного усилителя пропорционален углу сдвига фаз  $\delta$ , постольку сигналы на его входе, т. е. сигнал на выходе второго операционного усилителя, пропорционален скорости скольжения, а сигнал на выходе первого операционного усилителя пропорционален ускорению скольжения  $\epsilon_s$ . В предложенном активном фильтре, в отличие от известных устройств, описанных в литературе, достаточно легко без применения операции дифференцирования определяется скорость и ускорение скольжения.

В предлагаемой системе гарантированного питания (рис.1) в качестве регулятора возбуждения 15 возможно использовать применяемый в схеме с параллельным включением электрической машины переменного тока регулятор системы фазового компаундирования. Действительно, в случае, когда основной источник включен, напряжение сети  $\dot{U}_c$  в соответствии со вторым законом Кирхгофа определяется следующим образом:

$$\dot{U}_c = \dot{U}_{ш} + \dot{I}_q x_q + \dot{I}_d x_d - \dot{E}_m, \quad (3)$$

где  $\dot{U}_{ш}$  - напряжение на шинах гарантированного питания;  $\dot{I}_d$ ,  $\dot{I}_q$  - проекции тока нагрузки на координатные оси “d” и “q”;  $\dot{E}_m$  - противоэдс электрической машины переменного тока.

Из (3) следует, что в режиме “Дежурство” постоянство напряжения  $\dot{U}_{ш}$  достигается путем изменения величины  $\dot{E}_m$  в соответствии с изменением тока и угла нагрузки. При переходе установки гарантированного питания в режим автономии равенство (3) трансформируется к виду

$$\dot{E}_m = \dot{U}_{ш} + \dot{I}_q x_q + \dot{I}_d x_d, \quad (4)$$

представляющему собой обычное описание генераторного режима работы. В этом режиме применение регулятора системы фазового компаундирования также позволяет стабилизировать напряжения на шинах при изменении тока нагрузки путем изменения величины  $\dot{E}_m$ .

На рис.4 приведена векторная диаграмма рассматриваемой последовательно включенной электрической машины переменного тока. С помощью векторной диаграммы определяются характерные особенности генератора в последовательной схеме установки гарантированного питания. При построении векторной диаграммы необходимо исходить из то-

го, что по отношению к напряжению  $\dot{U}_c$  ток нагрузки  $\dot{I}_H$  должен быть расположен так, чтобы его проекция на направление вектора  $\dot{U}_c$  равнялась величине  $\dot{I}_{на}$ , т.е. чтобы активная составляющая тока генератора позволяла бы обеспечить вращение машины переменного тока с заданной угловой частотой. Из (3) и (4) следует, что для обеспечения требуемого качества напряжения на шинах гарантированного питания в момент исчезновения напряжения должно выполняться следующее равенство:

$$|\dot{U}_c + \dot{E}_M| = |\dot{E}_M| \quad (5)$$

Из (5) при известной величине  $\dot{U}_c$  легко найти как величину, так и направление вектора  $\dot{E}_M$ , а значит определить требуемые продольную  $x_d$  и поперечную  $x_q$  реактивности генератора.

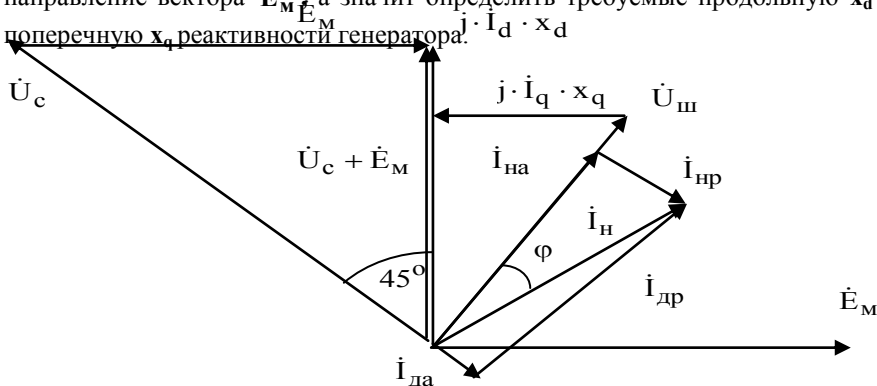


Рис.4. Векторная диаграмма последовательно включенной электрической машины

Таким образом, в рассматриваемой системе электроснабжения удастся обеспечить требуемые показатели качества электрической энергии на шинах гарантированного питания даже в случае исчезновения напряжения в цепях соответственного ввода.

## ЛИТЕРАТУРА

1. А.с. 1576985 СССР. Система гарантированного электропитания / Б.Т. Кононов, А.С. Виксман, Г.Х. Левин. – 1990, БИ № 26.
2. А.с. 1354337 СССР. Устройство для автоматического включения источника гарантированного питания / Б.Т. Кононов, А.С. Виксман, Н.И. Григоров. – 1987, БИ № 43.

*Поступила в редколлегию 29.01.2001*

---