

СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ УГЛА ВЫБЕГА СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

М. В. Щуплов

Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь

Научный руководитель Ю. В. Крышнев

Разрабатываемая система быстродействующего адаптивного самозапуска синхронных двигателей (СД) напряжением 6 (10) кВ предусматривает использование принципа прогнозирования во времени значений динамических характеристик эквивалентного синхронного двигателя: угловой скорости и угла выбега. Определение скорости снижения частоты ε_0 должно производиться в реальном масштабе времени при нарушениях внешнего электроснабжения, в том числе и в режиме трехфазного короткого замыкания (КЗ) в питающей сети, когда на аварийной секции шин питания наряду с напряжением основной частоты появляется аperiodическая и высшие гармонические составляющие.

Без учета различия в характеристиках различных приводных механизмов формула для аналитического описания ЭДС $E(t)$ эквивалентного синхронного двигателя на начальном этапе выбега может быть описана в виде [1]:

$$E(t) = E_0 e^{-\frac{t}{T_{ae}}} + E_m \sin(\omega_0 t^2 - \pi \varepsilon_0 t^2 + \delta_0) + \sum_{i=2}^n E_{mi} \sin(i\omega_0 t),$$

где E_0 – начальное значение аperiodической составляющей сигнала $E(t)$; T_{ae} – аperiodическая постоянная времени сигнала $E(t)$; E_m – амплитуда основной частоты; E_{mi} – амплитуды высших гармоник сигнала $E(t)$, i – номер гармоники; δ_0 – начальный угол рассогласования векторов напряжения сети \underline{U} и ЭДС синхронного двигателя \underline{E} .

Сигнал, пропорциональный ЭДС $E(t)$, является информационным для устройств определения потери питания мощных СД. В типовых измерительных устройствах релейной защиты и автоматики (РЗиА) отстройка от аperiodической составляющей входных сигналов, как правило, реализуется простой блокировкой измерений на время затухания свободных составляющих токов или напряжений. Однако применение подобного упрощенного алгоритма приводит к затягиванию в определении режима потери питания синхронного двигателя (СД) и, в конечном итоге, – к существенному снижению вероятности успешного самозапуска СД.

Для повышения точности датчика потери питания при трехфазном КЗ в питающей сети, а также прогнозирования времени включения можно использовать блок предварительной фильтрации сигналов.

Производная сигнала $E(t)$ имеет вид:

$$\frac{dE(t)}{dt} = \left[-\frac{E_0}{T_{ae}} e^{-\frac{t}{T_{ae}}} + E_m (\omega_0 - 2\pi \varepsilon_0 t) \cos(\omega_0 t^2 - \pi \varepsilon_0 t^2 + \delta_0) + \sum_{i=2}^n i\omega_0 E_{mi} \cos(i\omega_0 t) \right] \cdot 0,0032.$$

Масштабный коэффициент $\frac{1}{\omega_0 - 2\pi \varepsilon_0 t} \approx 0,0032$ введен для нормирования на-

пряжения $\frac{dE(t)}{dt}$ до уровня, сравнимого с напряжением сети.

Чтобы обосновать использование сигнала $\frac{dE(t)}{dt}$ для определения угла выбега, необходимо рассмотреть степень влияния аддитивной экспоненциальной и высокочастотных составляющих.

Для подавления ВЧ-составляющих сигнала $\frac{dE(t)}{dt}$ необходим также фильтр нижних частот (ФНЧ), подавляющий частоты выше 50 Гц (рис. 1).

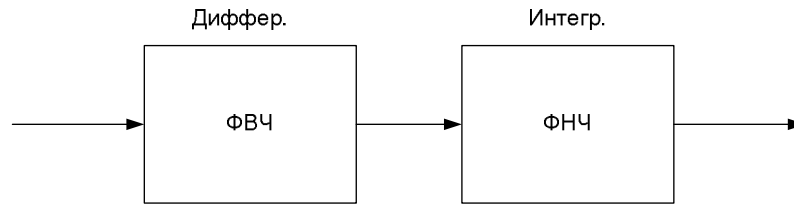


Рис. 1. Структура фильтра для информационного сигнала

На рис. 2 показана форма сигналов на входе, после ФВЧ и после ФНЧ.

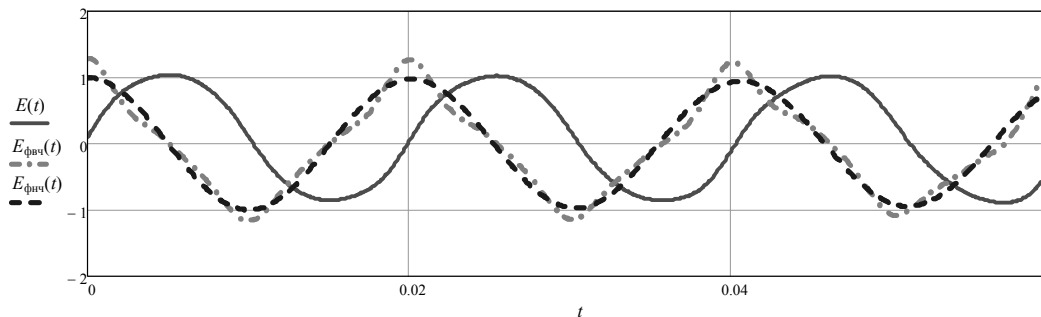


Рис. 2. Сравнение сигналов до и после прохождения фильтров

Для измерения угла выбега $\delta(t)$ можно использовать полученный сигнал. Зависимость угла выбега от времени при $\delta_0 = 0$ (рис. 3) определяется выражением:

$$\delta(t) = \pi \varepsilon_0 t^2$$

или в градусах:

$$\delta(t) = \varepsilon_0 \cdot t^2 \cdot 180. \quad (1)$$

Существует два способа быстродействующего самозапуска [1]:

1. Опережающее АВР (ОАВР), при котором включение синхронных двигателей на резервное питание происходит раньше возникновения первой противофазы векторов ЭДС двигателя и напряжения сети.

2. Синфазное АВР (САВР). При невозможности выполнения опережающего АВР подготавливается схема для осуществления синфазного АВР. При этом система в зависимости от углового ускорения ε прогнозирует возможность выполнения САВР первого полного поворота ротора СД и, в случае успешного прогноза, выдает команду на включение секционного выключателя.

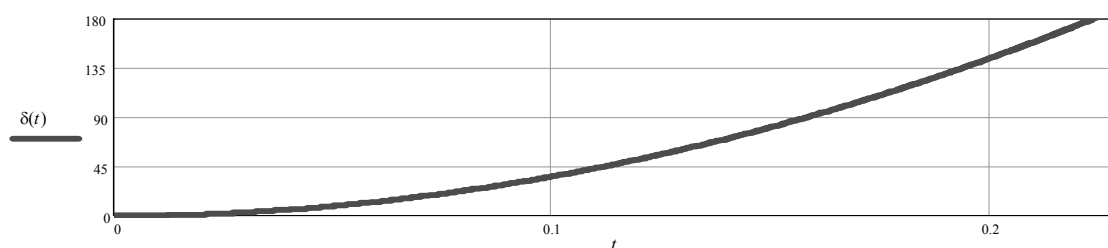


Рис. 3. Зависимость угла выбега от времени (в градусах)

Для прогнозирования времени включения нужно произвести как минимум два измерения фазы (δ_1 и δ_2) и времени (t_1 и t_2), чтобы определить скорость изменения частоты ε_0 .

$$\varepsilon_0 = \frac{\delta_1 - \delta_2}{(t_1^2 - t_2^2) \cdot 180}.$$

Далее, задав критические углы $\delta_{кр}$ для ОАВР в САВР, получим из (1) время t_x достижения заданных углов:

$$\text{для ОАВР } \delta_{кр} = 90 \quad t_x = \sqrt{\frac{1}{2 \cdot \varepsilon_0}};$$

$$\text{для САВР } \delta_{кр} = 360 \quad t_x = \sqrt{\frac{2}{\varepsilon_0}}.$$

На рис. 4 представлена структурная схема быстродействующего самозапуска с использованием фильтрации сигнала для определения угла выбега $\delta(t)$.

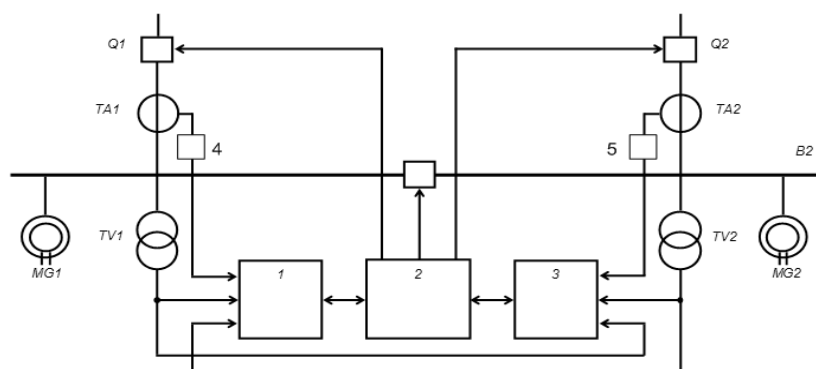


Рис. 4. Система адаптивного быстродействующего самозапуска синхронной двигательной нагрузки: 1, 3 – комплексные датчики потери питания (КДПП) секций шин В1 и В2; 2 – вычислительно-управляющий блок (ВУБ); 4, 5 – блоки фильтрации

Литература

1. Крышнев, Ю. В. Система адаптивного быстродействующего самозапуска синхронных двигателей на основе измерения углового ускорения : дис. ... канд. техн. наук : 05.09.03 / Ю. В. Крышнев ; ГГТУ им. П. О. Сухого. – Гомель, 2003. – 208 с.