

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ САМОЗАПУСКА СИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕМ АВР

Канд. техн. наук, доц. КУРГАНОВ В. В., инж. КРЫШНЕВ Ю. В.

Гомельский государственный технический университет

Быстродействующий автоматический ввод резервного питания (БАВР) при внезапном нарушении электроснабжения — наиболее эффективный способ сохранения динамической и результирующей устойчивости узла промышленной нагрузки с синхронными двигателями (СД) [1]. При БАВР должен обеспечиваться успешный самозапуск возбужденных СД без предварительного гашения их магнитного поля. Возбужденный СД при потере питания переходит в режим генератора, вырабатывая ЭДС, изменяющуюся во времени как по величине, так и по фазе.

В течение малого, относительно механической постоянной, времени выбега СД модуль ЭДС меняется незначительно. Поэтому основным информативным признаком режима выбега является изменение угла поворота ротора СД во времени

$$\varphi = \int_0^t (\omega_0 - \varepsilon t) dt = \omega_0 t - \frac{\varepsilon t^2}{2}, \quad (1)$$

где ω_0 — синхронная угловая скорость, рад/с;

ε — угловое ускорение вектора ЭДС двигателя, рад/с².

За время t вектор напряжения резервного источника изменится на угол $\varphi_0 = \omega_0 t$.

Угол рассогласования векторов напряжения сети и ЭДС двигателя

$$\delta = \varphi_0 - \varphi = \frac{\varepsilon t^2}{2}. \quad (2)$$

Скольжение ротора СД за время t составит

$$s = 1 - \frac{\omega_0 - \varepsilon t}{\omega_0} = \frac{\varepsilon t}{\omega_0}. \quad (3)$$

Время выбега

$$t = \sqrt{\frac{2\delta}{\varepsilon}}. \quad (4)$$

При малых величинах скольжения справедливо равенство [2]

$$s = k_3 \frac{t}{T_j}, \quad (5)$$

где T_j — постоянная времени агрегата двигатель—механизм;
 k_3 — коэффициент загрузки СД.

Приравнявая выражения (3) и (5), получим

$$\varepsilon = \omega_0 \frac{k_3}{T_j}. \quad (6)$$

Следовательно, для механизмов с моментом сопротивления, не зависящим от частоты вращения, угловое ускорение в начале выбега — величина постоянная для данного состава нагрузки.

Наиболее распространенные значения T_j для двигателей 6–10 кВ составляют 2–6 с. Для этих значений угловое ускорение при выбеге СД находится в диапазоне от 160 до 40 рад/с². В режиме возникновения дефицита активной мощности в энергосистеме угловое ускорение всегда меньше 30 рад/с². Следует отметить, что наличие сторонней нагрузки, питающейся от общих шин с СД, существенно увеличивает угловое ускорение выбегающих СД.

При соизмеримой мощности безынерционной нагрузки, к которой можно отнести промышленную нагрузку 0,4 кВ, угловое ускорение эквивалентного СД увеличивается обратно пропорционально соотношению мощностей двигательной и остальной безынерционной нагрузки. Диапазон углового ускорения при этом расширяется от 300 до 70 рад/с².

При срабатывании устройства БАВР самозапуск синхронных двигателей без гашения поля обеспечивается в следующих случаях.

1. Устройство БАВР работает в режиме опережающего АВР (ОАВР), когда угол включения δ меньше критического значения $\delta_{кр} = 140...150^\circ$. При ОАВР синхронные двигатели не выпадают из синхронизма и их динамическая устойчивость сохраняется. Это единственное условие успешного самозапуска тихоходных СД с поршневыми компрессорами большого давления. В случае выпадения таких двигателей из синхронизма успешная ресинхронизация их становится невозможной без разгрузки приводного механизма. Располагаемое время действия ОАВР при максимальном ускорении $\varepsilon = 300$ рад/с² составляет менее 0,13 с. За это время осуществить переход на резервный источник питания при существующих типовых выключателях 6–10 кВ весьма проблематично. При применении вакуумного или элегазового выключателя на резервном источнике и с учетом времени срабатывания пускового органа минимальное время ОАВР составит около 0,2 с. Осуществить переход на резервный источник питания в этом случае можно только при угловом ускорении не более 130 рад/с².

2. Устройство БАВР работает в режиме синфазного АВР первого проворота ротора (САВР-1), когда угол включения $\delta = (2 \pm 0,5)\pi$. Располагаемое время САВР-1 при максимальном угловом ускорении $\varepsilon = 300$ рад/с² составляет 0,2–0,23 с. При самозапуске синхронного турбодвигателя в режиме САВР-1 происходит интенсивное ускорение ротора за счет среднего асинхронного и положительного синхронного моментов. В результате двигатель после двух-трех качаний втягивается в синхронизм без дальнейших проворотов.

3. Устройство БАВР работает в режиме САВР-2, когда угол включения $\delta = (4 \pm 0,5)\pi$. Располагаемое время при $\varepsilon = 300$ рад/с² составит 0,29–0,31 с, что соответствует скольжению $s \geq 0,28$. Следовательно, ре-

жим САВР-2, во-первых, сложно осуществить, так как разброс времени включения выключателя резервного питания не должен превышать $\pm 0,01$ с и, во-вторых, торможение двигателей настолько значительное, что групповой самозапуск их становится невозможным или затруднен из-за глубокой посадки напряжения на шинах источника резервного питания.

Во всех перечисленных случаях ток включения двигателей при самозапуске не должен превышать допустимое значение. Наибольший сверхпереходный ток в статоре двигателя появляется в момент включения СД в противофазу, т. е. когда $\delta = \pi$. Для синхронных двигателей мощностью не более 2 МВт значение допустимого тока включения составляет $1,7I_{\text{пуск}}$, а для двигателей большой мощности эта величина регламентируется заводами-изготовителями и в предельном случае составляет не менее $1,2I_{\text{пуск}}$ [2].

Максимальный ток включения СД в момент противофазы определяется по формуле

$$I_{\text{вкл}} = \frac{2U}{x_d + x_c}. \quad (7)$$

Если принять сопротивление системы $x_c = 0$, а сопротивление двигателя $x_d = kx_n$, где x_n — сопротивление заторможенного двигателя при $s = 1$, то

$$I_{\text{вкл}} = \frac{2U}{kx_n} = \frac{2I_{\text{пуск}}}{k}.$$

Отсюда

$$k = \frac{2I_{\text{пуск}}}{I_{\text{вкл}}}.$$

Для двигателей мощностью до 2 МВт $k_{\text{доп}} \geq 1,18$, а для двигателей большой мощности $k_{\text{доп}} \geq 1,7$, где $k_{\text{доп}}$ — минимально допустимая кратность сопротивления двигателя по отношению к пусковому значению.

Известно, что сопротивление двигателя зависит от его скольжения. По экспериментальным кривым сопротивлений кратности 1,18 соответствует минимальное скольжение $s = 0,5$, а кратности 1,7 — минимальное скольжение $s = 0,1$ для всех типов синхронных двигателей [3].

Из формул (3) и (4) следует

$$\varepsilon = \frac{(s \omega_0)^2}{2\delta}. \quad (8)$$

При $\delta = \pi$ и $s = 0,1$ $\varepsilon_{\text{доп}} \leq 157$ рад/с².

При $\delta = \pi$ и $s = 0,5$ $\varepsilon_{\text{доп}} \leq 3925$ рад/с².

Отсюда следует вывод, что для синхронных двигателей мощностью менее 2 МВт при быстродающему АВР ограничений по току включения не существует, поскольку максимально возможное угловое уско-

рение выбегающих СД, а следовательно, и скольжение намного меньше допустимой величины. Алгоритм работы БАВР для таких СД может быть такой же, как и для асинхронных электродвигателей.

Для СД большой мощности при определении допустимого угла включения опережающего АВР по условию ограничения тока включения необходимо произвести специальный расчет, подобный приведенному выше, учитывая, что при $\delta = \delta_{кр}$ числитель в (7) представляет собой геометрическую сумму векторов ЭДС E двигателя и напряжения сети U , т. е.

$$\sum U = \sqrt{U^2 + E^2 - 2UE \cos \delta},$$

и ток включения определяется с учетом реального сопротивления питающей системы $x_c \neq 0$.

При реализации БАВР в качестве основного параметра срабатывания пускового и блокирующего органа должна быть принята величина углового ускорения, которая численно равна второй производной угла расхождения векторов напряжения сети и ЭДС двигателя, измеренного в начале процесса выбега СД.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. № 2471 (РБ). Способ автоматического включения резервного питания потребителей, содержащих синхронные электродвигатели / В. В. Курганов // Бюл. изобр. – 1999. – № 4.
2. Голоднов Ю. М. Самозапуск электродвигателей. – М.: Энергоатомиздат, 1985.
3. Сыромятников И. А. Режимы работы асинхронных и синхронных электродвигателей. – М.: Энергоатомиздат, 1984.

Представлена кафедрой
электропитания

Поступила 14.02.2000

УДК 621

ИЗМЕНЕНИЯ ПЕРЕХОДНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ ДЛЯ ПРИБОРОВ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Канд. техн. наук КАРВАТ Ч., докт. физ. наук, проф. ЖУКОВСКИ П.,
асп. МЕКОННЕН В. МЕГЕРСА

Люблинский технический университет (Польша)

В [1, 2] представлены результаты исследований электрических и механических свойств меди, имплантированной ионами азота, которые показали увеличение микротвердости, износоустойчивости и небольшой рост удельного сопротивления имплантированных слоев. Это означает, что такие слои могут быть использованы в качестве покрытий контактных пар выключателей для приборов.