

РЕАЛИЗАЦИЯ БАВР НА СЕКЦИЯХ ШИН С ДВИГАТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКОЙ

Кратковременные провалы напряжения влияют на работу высоковольтных и низковольтных двигателей, контакторов и пускателей, приводов и систем управления, что опасно в первую очередь для предприятий со сложными технологическими процессами, в том числе металлургических, химических, нефтегазодобывающих и перерабатывающих. Справиться с этой проблемой помогают системы быстродействующего автоматического ввода резерва, которые дают возможность практически моментально перейти на резервный источник питания.

Одно из требований к быстродействующему автоматическому вводу резерва (БАВР) – включение секционного выключателя (СВ) в момент, когда векторы напряжения на неповрежденной секции шин и электродвижущей силы (ЭДС) обобщенного двигателя, выбегающего на секцию шин, имеют небольшое (до 30°) расхождение по фазе. Это требование может нарушаться из-за методических погрешностей определения микропроцессорными блоками релейной защиты и автоматики угла и частоты, а также вследствие игнорирования скорости изменения частоты.

Рассмотрим проблему реализации синхронного включения секционного выключателя в комплексе БАВР. Одно из требований к БАВР – включение секционного выключателя в момент, когда векторы напряжения на нормально функционирующей секции шин и ЭДС обобщенного двигателя, выбегающего на секцию шин, потерявшую питание, имеют небольшое расхождение по фазе (диапазон в 30°). Требование обоснованно, поскольку позволяет минимизировать значение переходного тока при включении, но ненулевое время включения секционного выключателя ($T_{\text{вкл}}$), методические погрешности в определении угла и частоты в цифровых блоках и игнорирование скорости изменения частоты могут привести к его нарушению.

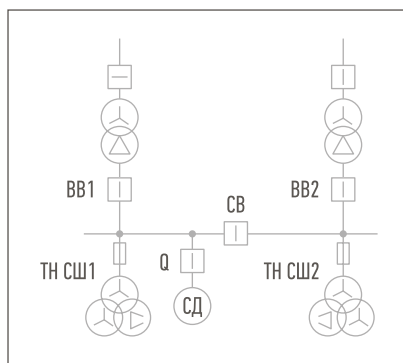


Рис. 1. Схема подстанции

Рассмотрим режим потери питания на секции шин №1 (СШ1), к которой подключен синхронный двигатель (СД). Примем условие: напряжение на нормально функционирующей секции шин №2 (СШ2) неизменно по модулю и частоте (рис. 1).

Уравнение движения вектора напряжения СШ2:

$$\varphi_{\text{СШ2}} = \omega_{\text{ном}} t + \varphi_0_{\text{СШ2}}, \quad (1)$$

где $\varphi_{\text{СШ2}}$ – текущая фаза; $\omega_{\text{ном}}$ – номинальная круговая частота (угловая скорость); t – время; $\varphi_0_{\text{СШ2}}$ – начальная фаза.

Закон движения вектора напряжения СШ1 зависит от закона выбега двигателя (см. ниже). При потере питания напряжение на СШ1 индуцируется только полем возбуждения двигателя. В общем виде закон выбега двигателя – это второй закон Ньютона для вращающихся тел:

$$J \frac{d^2 \varphi}{dt^2} = M, \quad (2)$$

где J – момент инерции вращающихся масс; φ – угол поворота ротора относительно заранее выбранной неподвижной оси; M – суммарный момент сил, действующий на тело.

При двукратном интегрировании уравнения (2) в процессе нахождения зависимости $\varphi(t)$ появляются две константы, определяемые начальными условиями: φ_0 – угол в начальный момент времени;

$$\left. \frac{d\varphi}{dt} \right|_{t=0} = \omega_0 -$$

начальная угловая скорость.

Проанализируем каждый из этих параметров и оценим погрешность по углу включения, к которой приводит неточное знание каждого из них.

ЧАСТОТА

Примем, что с помощью алгоритма без погрешности можно рассчитать мгновенную частоту, но он имеет некоторое окно усреднения для повышения надежности результата (например, СТО 59012820.29.020.003–2016 регламентирует расчет частоты не более чем за 60 мс).

Это приводит к тому, что при усреднении значений при линейно меняющейся частоте погрешность расчета Δf составит:

$$\Delta f = -\dot{f} \frac{T_{\text{уср}}}{2}, \quad (3)$$

где \dot{f} – скорость изменения частоты; $T_{\text{уср}}$ – время усреднения, с.

Использование частоты, определенной с погрешностью (3),

при оценке угла, на который повернется вектор напряжения за время включения выключателя, приведет к ошибке в определении угла $\Delta\varphi_1$:

$$\Delta\varphi_1 = 2\pi\Delta f T_{\text{вкл}}. \quad (4)$$

При этом действительный вектор успеет описать большую дугу, чем это следует из расчета.

УГОЛ

Для анализа погрешности по углу рассмотрим переход от мгновенных значений к векторам через выделение основной гармоники с помощью разложения сигнала в ряд Фурье:

$$C = \int_{t-\tau}^t j y \exp(-j\omega t) dt. \quad (5)$$

Поскольку частота входного сигнала отличается от частоты, используемой для вычисления ортогональных составляющих, функция под интегралом равна:

$$y = A \sin((\omega + \Delta\omega)t + \varphi). \quad (6)$$

Тогда (5) преобразуется к виду:

$$C = A \sin\lambda \left(\frac{1}{\lambda} \exp(j(\Delta\omega t + \varphi - \lambda)) - \frac{1}{2\pi + \lambda} \exp(-j((2\omega + \Delta\omega)t + \varphi - \lambda)) \right), \quad (7)$$

где $\lambda = \pi \frac{\Delta\omega}{\omega}$.

Отсюда следует, что вектор имеет низкочастотную составляющую $\Delta\omega$. Однако в дополнение к этому (в соответствии с амплитудно-частотной характеристикой дискретного преобразования Фурье) изменилась амплитуда вектора (в $\sin\lambda/\lambda$ раз) и добавилась высокочастотная составляющая $2\omega + \Delta\omega$. Конец вектора при этом описывает гипоциклоиду.

Для темы статьи важно, что вектор в среднем всегда отстает от фактического вектора на угол λ :

$$\Delta\varphi_2 = \pi \frac{\Delta\omega}{\omega}. \quad (8)$$

ЗАКОН ВЫБЕГА

Выбег двигателя описывается уравнением:

$$\frac{d\hat{\omega}}{dt} = -\frac{k_{зг}}{\tau_j} (m'_0 + (1 - m'_0) \cdot \hat{\omega}'), \quad (9)$$

где $\hat{\omega} = \frac{\omega}{\omega_{\text{ном}}}$ –

приведенная угловая скорость; $k_{зг}$ – коэффициент загрузки двигателя по активной мощности; τ_j – постоянная инерции системы «двигатель – приводной агрегат»;

$$m'_0 = \frac{M_0}{k_{зг} M_{\text{ном}}} -$$

приведенный начальный момент сопротивления; $\hat{\omega}$ – приведенная угловая скорость.

Темп выбега определяется начальным ускорением:

$$\left(\frac{d\hat{\omega}}{dt} \right)_{t=0} = -\frac{k_{зг}}{\tau_j} = \hat{\varepsilon}_0. \quad (10)$$

GAZOVAYA
PROMYSHLENNOST'

ГАЗОВАЯ
ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

GAS INDUSTRY

Gas Industry journal expands international cooperation and invites authors from different countries to publish scientific articles in English

Gas Industry journal is included in the list of Higher Attestation Commission, "the leading reviewed scientific journals and editions in which the basic scientific results of dissertations on competition of scientific degrees of doctor and candidate of sciences should be published".



General information about the journal:
<http://neftegas.info/en/gasindustry/>



Main thematic sections:
<http://neftegas.info/en/gasindustry/about-magazine/>

Submission of manuscripts:
info@neftegas.info

Founder
Gazprom PJSC

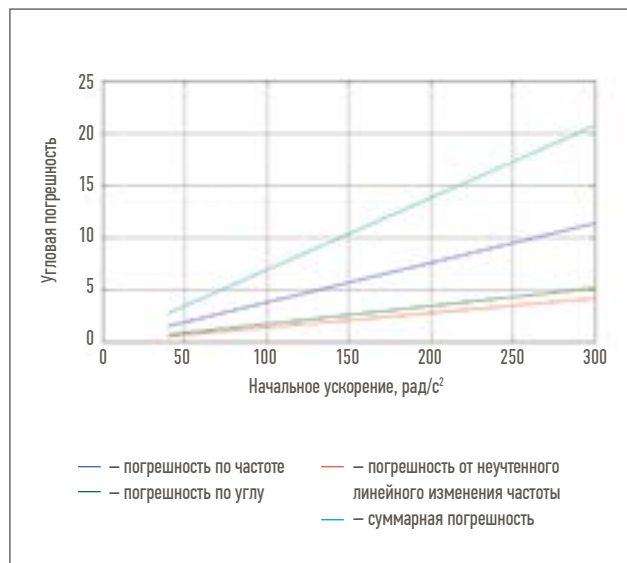


Рис. 2. Зависимость угловых погрешностей от начального ускорения при использовании выключателя с временем включения 30 мс

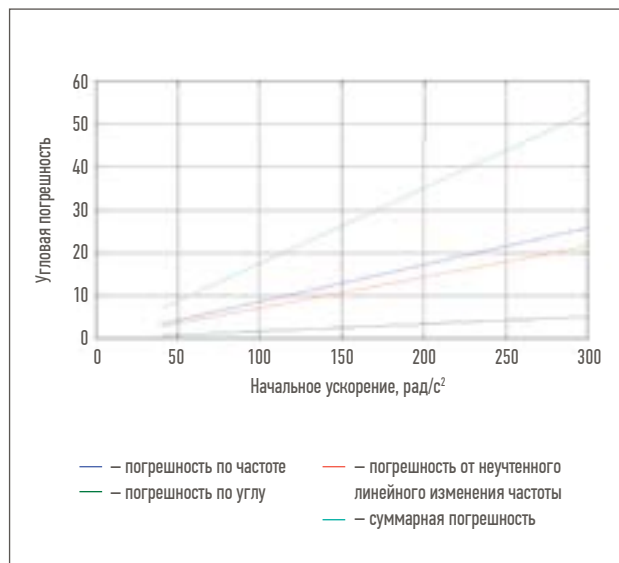


Рис. 3. Зависимость угловых погрешностей от начального ускорения при использовании выключателя с временем включения 50 мс

Для функций ожидания и улавливания синхронизма при выполнении прогноза значения угла может быть использовано предположение о том, что за время включения выключателя частота не меняется. В этом случае погрешность по углу равна:

$$\Delta\varphi_3 = \varepsilon \frac{T_{\text{вкл}}^2}{2}, \quad (11)$$

где ε – угловое ускорение (производная частоты).

Все погрешности имеют одинаковый знак. Это может привести к тому, что действительная фаза вектора в момент включения СВ будет отличаться от фазы напряжения нормально функционирующей СШ на большую величину, чем допускается по расчетам.

На рис. 2, 3 приведены зависимости погрешности определения угла от значения начального ускорения при использовании быстродействующего выключателя ВВМ-СЭЩ-3-10-31,5/1600БАВР с блоком управления БУВВ-СЭЩ-Б1-4 с временем включения 30 мс и небыстродействующего выключателя с временем включения 50 мс (время включения современных выключателей может достигать до 100 мс) соответственно.

Постоянная инерция для газоперекачивающих агрегатов с электродвигателями СТД-4000-2 и нагнетателем 280-12-7 равна 3,25 с, что позволяет вычислить начальное ускорение при выбеге – 96,6 рад/с². По графикам видно, что только методическая погрешность будет составлять 7 и 18° соответственно. При больших значениях начального ускорения и выключателях, включающихся за 70–100 мс, методическая погрешность будет составлять десятки градусов.

В устройстве БМРЗ-БАВР производства ООО «НТЦ «Механотроника» применяются следующие решения для точного прогнозирования момента включения секционного выключателя:

- устройство анализирует не только скорость, но и ускорение вращения векторов секций шин относительно друг друга;
- учитывается линейное изменение частоты за время включения выключателя, т. к. погрешность от неучета этого факта зависит квадратично от времени включения;
- в нормальном режиме значения напряжений и токов рассчитываются за один период промышленной частоты. При фиксации коммутации происходит резкое изменение порядка фильтра та-

ким образом, чтобы анализу подвергались только данные нового режима. Далее порядок фильтра увеличивается по мере поступления новых данных с трансформаторов тока и трансформаторов напряжения. Такой способ обработки входных сигналов помогает понять, что напряжение снизилось ниже уставки уже в первые 5 мс после коммутации. Это позволяет не учитывать погрешность, возникающую от расчета ортогональных составляющих на частоте, отличающейся от частоты сигнала, поскольку устройство осуществляет подстройку частоты в необходимом диапазоне и имеет небольшое окно усреднения;

- предпочтительнее использование быстродействующих выключателей, т. к. точность прогноза на длительный промежуток времени снижается. ■



ООО «НТЦ «Механотроника»
198206, РФ, г. Санкт-Петербург,
ул. Пионерстроя, д. 23 А
Тел.: 8-800-250-63-60
E-mail: info@mtrele.ru
www.mtrele.ru