

Входной сигнал в двумерной операторной области согласно таблице и сводке одномерных изображений в [4] будет определяться по выражению

$$X_{\text{вх}}(p_1, p_2) = \frac{1}{p_1^2} \cdot \frac{\omega}{p_2^2 + \omega^2}.$$

Выходной сигнал в соответствии с (2) запишется следующим образом:

$$X_{\text{вых}}(p_1, p_2) = \frac{1}{p_1^2} \cdot \frac{\omega}{p_2^2 + \omega^2} \cdot [T \cdot (p_1 + p_2) + 1] = \frac{1}{p_1} \cdot \frac{T \cdot \omega}{p_2^2 + \omega^2} + \frac{1}{p_1^2} \cdot \frac{T \cdot \omega \cdot p_2}{p_2^2 + \omega^2} + \frac{1}{p_1^2} \cdot \frac{\omega}{p_2^2 + \omega^2}.$$

Перейдя в двумерную временную область в соответствии с таблицей и сводкой одномерных изображений [4], получим

$$X_{\text{вых}}(t_1, t_2) = T \cdot \sin(\omega \cdot t_2) + T \cdot t_1 \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t_2) + t_1 \cdot \sin(\omega \cdot t_2).$$

Перейдем в одномерную временную область, приравняв $t_1 = t_2 = t$ и получим

$$X_{\text{вых}}(t) = T \cdot \sin(\omega \cdot t) + T \cdot t \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t) + t \cdot \sin(\omega \cdot t). \quad (4)$$

Сравнив (3) и (4), можно убедиться в истинности передаточной функции (2).

Литература

1. Луковников В.И. Многомерный операторный метод анализа систем с модуляцией // Вестник КГТУ, посвящ. 65 – летию проф. Соустина Б.П. – Красноярск: КГТУ, 1998. – С.102 – 110
2. Смышляева Л.Г. Преобразование Лапласа функций многих переменных. – Л.: Изд. ЛГУ, 1981. – 132с.
3. Луковников В.И., Хабибуллин Д.А., Спорик А.Е. Модификация преобразования Лапласа для моделирования систем автоматического управления // Современные проблемы машиноведения. – Гомель: ГПИ, 1998. – Т.2. – С. 68 – 69
4. Пискунов Н.С. Дифференциальное и интегральное исчисления. – Москва: 1970. – Т2. – С 411 – 442

ПОКАЗАТЕЛИ И МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ ЭНЕРГОСИСТЕМ НА ГЛУБИНУ ПРОВАЛОВ НАПРЯЖЕНИЯ В УЗЛЕ НАГРУЗКИ

О. Г. Широков

*Гомельский государственный технический университет
им. П. О. Сухого, Республика Беларусь*

О необходимости определения влияния электрических сетей энергосистемы на параметры кратковременных нарушений электроснабжения (КНЭ) и целесообразности доработки методик и программ расчетов переходных процессов для решения этой задачи говорится в [1, 2, 3].

Возможное количество отключений помехочувствительных электроприемников (ПЧЭ) определяется суммарной надежностью элементов питающей электрической цепи и степенью независимости источников питания, и в конечном итоге зависит от структуры электрической сети энергосистемы. В этом случае важной характеристикой схемы электрической сети является область (количество узлов) при коротких замыканиях (КЗ), в точках которой будет обеспечиваться полная или относительная независимость источников питания ПЧЭ и расширение этой области электрической сети является предпосылкой уменьшения отключений ПЧЭ. То есть, количественно оценить степень влияния схем основных сетей энергосистемы на качество электроснабжения ПЧЭ можно по числу узлов внешней электрической сети, КЗ

в которых не приводят к провалам напряжения, недопустимым по глубине для работы предприятий с ПЧЭ. Поскольку длительность провалов напряжения в сетях 110 кВ и выше, как правило, составляет около 120 мс, что при глубине провалов напряжения более 10% для большинства ПЧЭ является недопустимым. Отбор мероприятий, проводимых в рамках энергосистемы с целью уменьшения отключений ПЧЭ, необходимо производить из тех, при которых увеличивается количество таких узлов относительно рассматриваемого предприятия при условии неизменности или увеличения количества этих узлов относительно других предприятий с ПЧЭ, получающих питание от этой энергосистемы.

Оценку влияния схем основных сетей энергосистемы на глубину провалов напряжения в узле питания конкретного предприятия с непрерывным технологическим процессом предлагается выполнять по следующей методике:

1. Определить другие аналогичные предприятия, питающиеся от этих электрических сетей.

2. Рассчитать доаварийные и остаточные (в момент КНЭ) напряжения на шинах рассматриваемых предприятий с ПЧЭ при коротких замыканиях в различных узлах исходной схемы электрической сети. При рассмотрении сложносвязанных электрических сетей энергосистем для решения подобной задачи необходимо использовать ЭВМ. В настоящее время не существует специальных программ для расчета параметров провалов напряжения в узлах питания ПЧЭ. Однако в программном комплексе "ТКЗ-3000", предназначенном для расчета токов КЗ и уставок релейной защиты в сети, содержащей до 3000 узлов, предусмотрена возможность определения доаварийных и остаточных напряжений в интересующем узле при внешних КЗ.

3. По доаварийным и остаточным напряжениям вычислить глубину провалов напряжения на шинах рассматриваемых предприятий по выражению

$$\delta U_{n_{kj}} = \frac{U_{\partial i l_j} - U_{\text{ост} i l_j}}{U_{\partial i l_j}} \cdot 100, \quad (1)$$

где $U_{\partial i l_j}$ – доаварийное действующее напряжение линии l_j (значение напряжения, предшествующее провалу напряжения), кВ; $U_{\text{ост} i l_j}$ – остаточное напряжение линии l_j во время внешнего КЗ (минимальное действующее значение напряжения в течение провала), кВ; $k=1,2,\dots,n$ – количество моделируемых провалов; $i=1,2,3$ – напряжения U_{AB}, U_{BC}, U_{CA} , соответственно; $j=1,2$ – номера источников питания.

4. Определить следующие показатели:

4.1. Коэффициент отсутствия провалов напряжения на проверяемом источнике j при КЗ во внешней электросети по следующему выражению:

$$K_{0j} = \frac{N_{0j}}{N} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где N_{0j} – количество узлов при КЗ, в которых на проверяемом источнике отсутствует провал напряжения, определяется по условию:

$$N_{0j} = \sum_{k=1}^N \{1, \text{ если } (\delta U_{n_{kj}} = 0)\}, \quad (3)$$

где N – количество точек электрической сети, в которых моделируется КЗ.

4.2. Коэффициент провалов напряжения, не приводящих к нарушению работы ПЧЭ при КЗ во внешней питающей сети, по следующему выражению:

$$K_{\text{нп}} = \frac{N_{\text{нп}}}{N} \cdot 100\%, \quad (4)$$

где N_{yj} – количество узлов, при КЗ в которых на проверяемом источнике j провалы напряжения не приводят к нарушению работы ПЧЭ, определяется по условию:

$$N_{yj} = \sum_{k=1}^N \{1, \text{ если } (0 < \delta U_{n_{kj}} \leq \Pi_{om})\}, \quad (5)$$

где Π_{om} – порог устойчивости ПЧЭ при провалах напряжения. Учитывая, что низковольтные ПЧЭ могут оставаться в работе при глубине провалов до 10–11% любой продолжительности, целесообразно принять $\Pi_{om} = 10\%$.

4.3. Коэффициент необходимости и возможности работы быстродействующего АВР при полностью или относительно независимых источниках питания для источника 1 (источника 2):

$$K_{авр1(2)} = \frac{N_{авр1(2)}}{N} \cdot 100\%, \quad (6)$$

где – $N_{авр1}$ ($N_{авр2}$) количество узлов, при КЗ в которых на одном из источников питания параметры провалов напряжения выходят за границу устойчивости ПЧЭ, но возможно обеспечение их устойчивой работы путем быстрого переключения на второй источник питания (необходимость и возможность работы быстродействующего АВР при полностью или относительно независимых источниках), определяемое по условию:

$$N_{авр1(2)} = \sum_{k=1}^N \{1, \text{ если } (\delta U_{n_{k1(2)}} > \Pi_{om} \text{ и } \frac{U_{\partial_i u_1(2)} - U_{осм_{ik} u_2(1)}}{U_{\partial_i u_1(2)}} \leq \Pi_{om})\}. \quad (7)$$

4.4. Коэффициент возможной устойчивой суммарной работы ПЧЭ при КЗ в N узлах энергосистемы для источника 1 (источника 2) по выражению:

$$K_{\Sigma 1(2)} = \frac{N_{\Sigma 1(2)}}{N} \cdot 100\%, \quad (8)$$

где $N_{\Sigma 1}$ ($N_{\Sigma 2}$) – суммарное количество случаев возможной устойчивой работы ПЧЭ, питающихся от соответствующего источника, при КЗ в N узлах, определяемое по условию:

$$N_{\Sigma 1(2)} = \sum_{k=1}^N \{1, \text{ если [или } (\delta U_{n_{k1(2)}} = 0); \text{ или } (0 < \delta U_{n_{k1(2)}} \leq \Pi_{om}) \text{ или } (\delta U_{n_{k1(2)}} > \Pi_{om} \text{ и } \frac{U_{\partial_i u_1(2)} - U_{осм_{ik} u_2(1)}}{U_{\partial_i u_1(2)}} \leq \Pi_{om})]\}. \quad (9)$$

4.5. Коэффициент возможной устойчивой одновременной суммарной работы ПЧЭ, питающихся от двух источников, при КЗ в N узлах энергосистемы определяется по выражению:

$$K_{\Sigma 1,2} = \frac{N_{\Sigma 1,2}}{N} \cdot 100\%, \quad (10)$$

где $N_{\Sigma 1,2}$ – суммарное совместное количество случаев возможной устойчивой работы ПЧЭ, питающихся от двух источников, при КЗ в N узлах, определяемое по условию:

$$N_{\Sigma_{1,2}} = \sum_{k=1}^N \{1, \text{ если } \{ \text{или} [\delta U_{n_{k1}} = 0 \text{ и } \delta U_{n_{k2}} = 0] \text{ или} \\ [0 < \delta U_{n_{k1}} < P_{om} \text{ и } 0 < \delta U_{n_{k2}} < P_{om}] \text{ или} \\ [u(\delta U_{n_{k1}} < P_{om}) \text{ и } (\delta U_{n_{k2}} > P_{om} \text{ и } \frac{U_{\partial_i u_2} - U_{ocm_{ik} u_1}}{U_{\partial_i u_2}} \leq P_{om})] \text{ или} \\ [u(\delta U_{n_{k2}} < P_{om}) \text{ и } (\delta U_{n_{k1}} > P_{om} \text{ и } \frac{U_{\partial_i u_1} - U_{ocm_{ik} u_2}}{U_{\partial_i u_1}} \leq P_{om})] \} \}. \quad (11)$$

По значениям показателей, определенных по (2)...(11), можно судить о степени влияния сетей энергосистемы и проводимых мероприятий на ПЧЭ предприятий с непрерывным технологическим процессом. Причем, чем больше значение этих показателей, тем выше может быть обеспечена электромагнитная совместимость ПЧЭ с питающими сетями.

Для выбора мероприятий, способных уменьшить случаи отключения ПЧЭ, необходимо выполнить расчеты по пунктам 2–4 для исходной и измененных схем электрической сети, сравнить полученные результаты исходя из критерия увеличения значения показателей по (2)...(11) для рассматриваемого предприятия при условии неизменности или увеличения значения этих показателей для других предприятий с ПЧЭ, получающих питание от этой энергосистемы. Однако окончательный выбор оптимальных мероприятий должен проводиться далее на основе расчетов режимов работы электрической сети, отстройки средств релейной защиты и технико-экономических сравнений вариантов.

Литература

1. Куценко Г.Ф. Методика определения расчетного количества внезапных отключений сельскохозяйственного потребителя по цепи “источник–потребитель” // Энергетика. –1994. –№3–4. –С.21–25
2. Свешников В.И. Надежность электроэнергетических систем в кратковременных аварийных режимах и методы ее исследования // Энергетика. –1994. –№11–12. –С.8–10
3. Свешников В.И. Расчет надежности потребителей по критерию “напряжение–продолжительность” // Надежность систем энергетики: Меж. вуз. сб. –Новочеркасск: НПИ, 1990. –С.23–33

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ УСИЛИТЕЛЯ ПЕРИОДИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

С. Н. Кухаренко, И. В. Осипенко

Гомельский государственный технический университет
им. П. О. Сухого, Республика Беларусь

Реальный усилитель электрических сигналов всегда преобразует входной сигнал в разной степени с искажениями. Искажения могут иметь как линейный, так и нелинейный характер. Для изменения качества выходного сигнала используются обратные связи и различного вида коррекции последовательного типа [1].

В общем случае усилитель, как четырехполюсник, осуществляет преобразование входного сигнала, представляемое в операторном виде во временной области выражением:

$$U_{\text{вых}}(t) = L(U_{\text{вх}}(t)) \quad (1)$$

или в частотной области выражением: