

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОНТРОЛЬНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРНЫХ УЗЛОВ ПРИСОЕДИНЕНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ НАГРУЗКИ ПРИ РАСЧЕТАХ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

Р. И. БОРИСОВ, Н. Е. ЧЕРНЫЙ

(Представлена научным семинаром кафедры электрических систем и сетей)

Современная электроэнергетическая система (ЭЭС) относится к классу больших систем и, как следствие этого, характеризуется большим разнообразием входящих в нее элементов. Для обеспечения надежной работы такой системы необходим постоянный анализ режимов ее работы. При этом постоянно приходится останавливаться на вопросах выбора математической модели системы, описывающей протекающие в ней процессы.

При анализе динамической устойчивости электрических систем (ЭС) весьма важным представляется вопрос выбора способа замещения комплексных нагрузок. Основные методы замещения нагрузочных элементов описаны в монографиях П. С. Жданова и Д. И. Азарьева [1, 2]. В ходе дальнейших разработок уточнялись способы замещения элементов нагрузки [3, 4, 5], предлагались методы ее учета в расчетах динамической устойчивости [4, 6, 7, 8, 9]. Из ряда работ [4, 6, 7, 10] следует, что способ замещения нагрузки может существенно повлиять на результаты анализа.

Менее изученным остается вопрос выявления характерных узлов, оказывающих существенное влияние на характер протекания электро-механических переходных процессов. В [4] отмечается, что замещение местной нагрузки генераторной станции, соизмеримой с ней по мощности динамическими характеристиками дает хорошее совпадение опытных и натурных испытаний. В [6] рекомендуется учитывать динамическими характеристиками нагрузку, «электрически» ближе других расположенную к месту возмущения. В ряде расчетных случаев приведенные рекомендации дают хорошие результаты.

Однако в сложных, многоконтурных ЭС выбор способа замещения той или иной нагрузки зависит от сочетаний параметров элементов системы и ее режимных параметров. Сложность этих зависимостей покажем на примере расчета синхронной динамической устойчивости простой 2-машинной ЭС, схема замещения которой приведена на рис. 1, а.

Рассматривалось влияние месторасположения узлов присоединения одинаковой по составу и величине комплексной нагрузки (z_i), способа ее замещения, а также точек возникновения (z_j) одного вида короткого замыкания на характер динамического перехода. Нагрузка замещалась математическими моделями, предельными по своему существу — динамическими характеристиками или постоянным сопротивлением.

Варьируя сочетанием узлов i и j , получаем зависимость погрешности результатов, вызванную неучетом переходных процессов в нагрузке, от «электрического» расположения узла присоединения нагрузки и точки приложения возмущения:

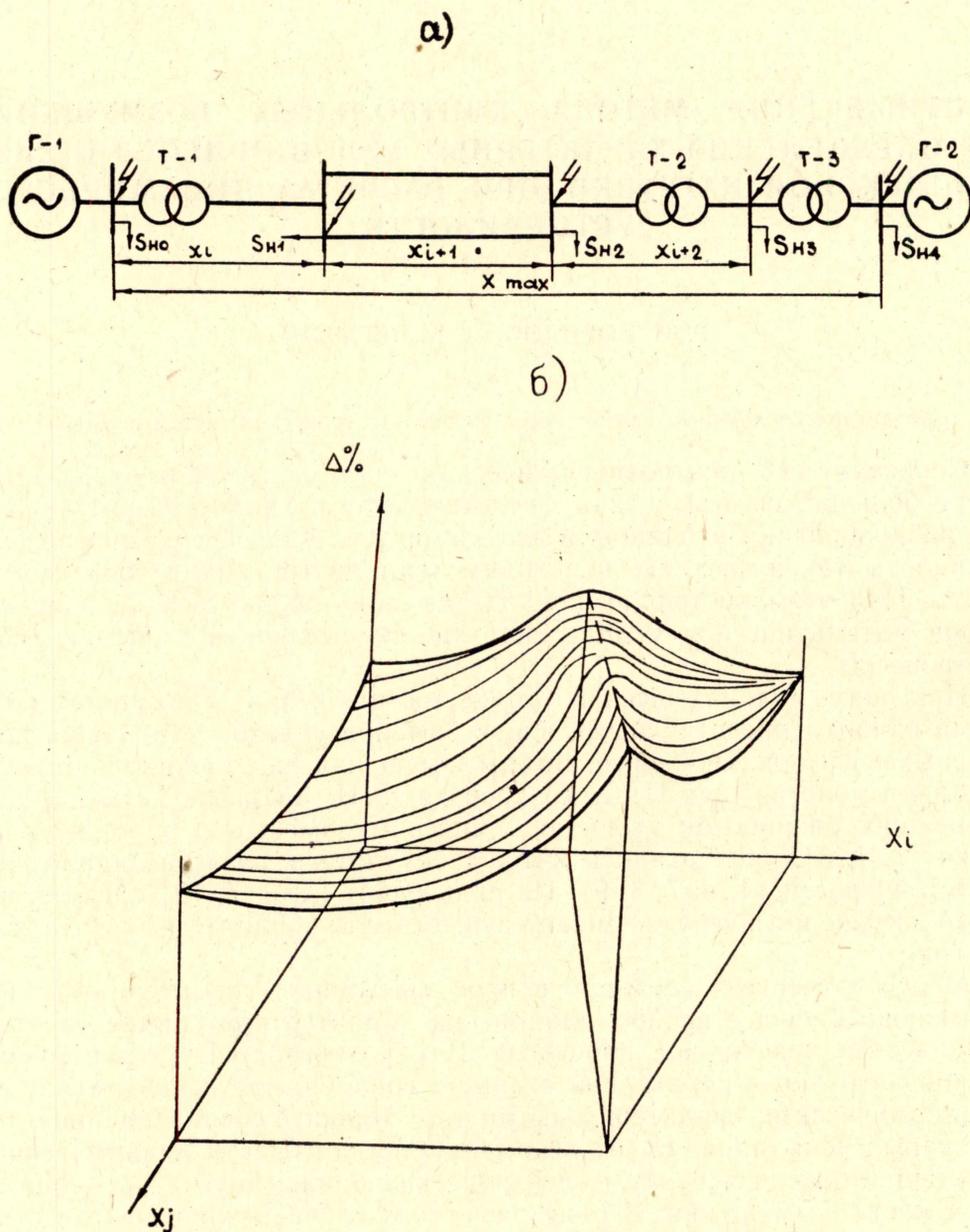


Рис. 1. а) принципиальная схема исследуемой электрической системы; б) зависимость погрешности результатов от способа задания нагрузки, узла ее присоединения и места приложения возмущения.

$$\Delta \% = \varphi(z_i, z_j), \quad (1)$$

где $\Delta\%$ — погрешность результатов в %;

z_i — «электрическая» удаленность угла присоединения комплексной нагрузки;

z_j — «электрическая» удаленность точки приложения возмущения.

Полученная зависимость, построенная в пространстве соответствующих координат, приведена на рис. 1, б. Если же учесть в дополнение

к (I) такие факторы, как мощность нагрузки ($S_n \neq \text{const}$), состав и параметры элементов нагрузки (K_n), соотношение между генерируемыми мощностями (S_1 и S_2), параметры генераторов и их систем регулирования (B), вид возмущения ($K^{(i)}$), то функцию погрешности можно записать как

$$\Delta \% = \varphi_1[z_i, z_j, S_n, S_1, S_2, B, K^{(i)}, K_n]. \quad (2)$$

Анализируя (2), можно сделать вывод, что даже для простого случая 2-машинной ЭС трудно получить какие-либо общие рекомендации относительно способа замещения нагрузки. Эта задача еще более осложняется в случае, когда необходимо исследовать динамическую устойчивость сложной ЭС.

В этом случае рассмотренные выше модели нагрузочных узлов приобретают ряд существенных недостатков. Следовало бы признать, что задание всех нагрузочных элементов соответствующими точными характеристиками является эталонным с точки зрения их влияния на характер переходного процесса ЭС. На рис. 2 кривые 1 соответствуют результатам расчета относительных углов роторов характерных генераторов сложной ЭС при задании всех нагрузочных элементов динамическими характеристиками. Для сравнения там же приведены (кривые 2) результаты расчета динамической устойчивости при задании всех нагрузочных элементов постоянными сопротивлениями. Нетрудно убедиться, что задание всей нагрузки постоянным сопротивлением приводит к значительным искажениям картины динамического перехода. В первом же случае резко увеличивается размерность задачи, делая ее для реальных систем практически нереализуемой. Кроме того, объективное наличие погрешности исходной информации снижает эталонность точных математических моделей.

Рассмотрим выражения, описывающие поведение комплексной нагрузки при задании ее динамическими характеристиками. Характеристики нагрузки в алгоритмах расчета динамической устойчивости учитываются комплексными проводимостями, которые принимаются постоянными на расчетном интервале. В общем случае проводимости определяются суммой различных составляющих:

$$\dot{y}_n = \dot{y}_{\text{осв}} + \dot{y}_{\text{пр}} + \dot{y}_{\text{ас}}, \quad (3)$$

где $y_{\text{осв}}$ — проводимость составляющей осветительной нагрузки;

$\dot{y}_{\text{пр}}$ — проводимость составляющей прочей нагрузки;

$\dot{y}_{\text{ас}}$ — проводимость асинхронной нагрузки.

Осветительная и прочая нагрузки учитываются по статическим характеристикам. Для них, если не учитывать изменение частоты в узле присоединения, можно записать

$$\dot{y}_{\text{осв}} + \dot{y}_{\text{пр}} = f(U), \quad (4)$$

где U — напряжение в узле присоединения.

Проводимость асинхронной нагрузки определяется согласно уравнениям движения асинхронного двигателя [1, 2]. Поэтому

$$\dot{y}_{\text{ас}} = f_1(Us,), \quad (5)$$

где s — скольжение ротора асинхронного двигателя.

Таким образом:

$$\dot{y}_H = F(U, s). \quad (6)$$

Согласно работам института электродинамики АН УССР, в частности [6], в первом приближении сочтем возможным задание всех нагрузочных элементов типовыми динамическими характеристиками. Это допущение позволяет максимально снизить трудозатраты на составление исходной информации при проведении контрольного расчета. Воспользуемся в дальнейшем методом контрольного возмущения [11]. При его ре-

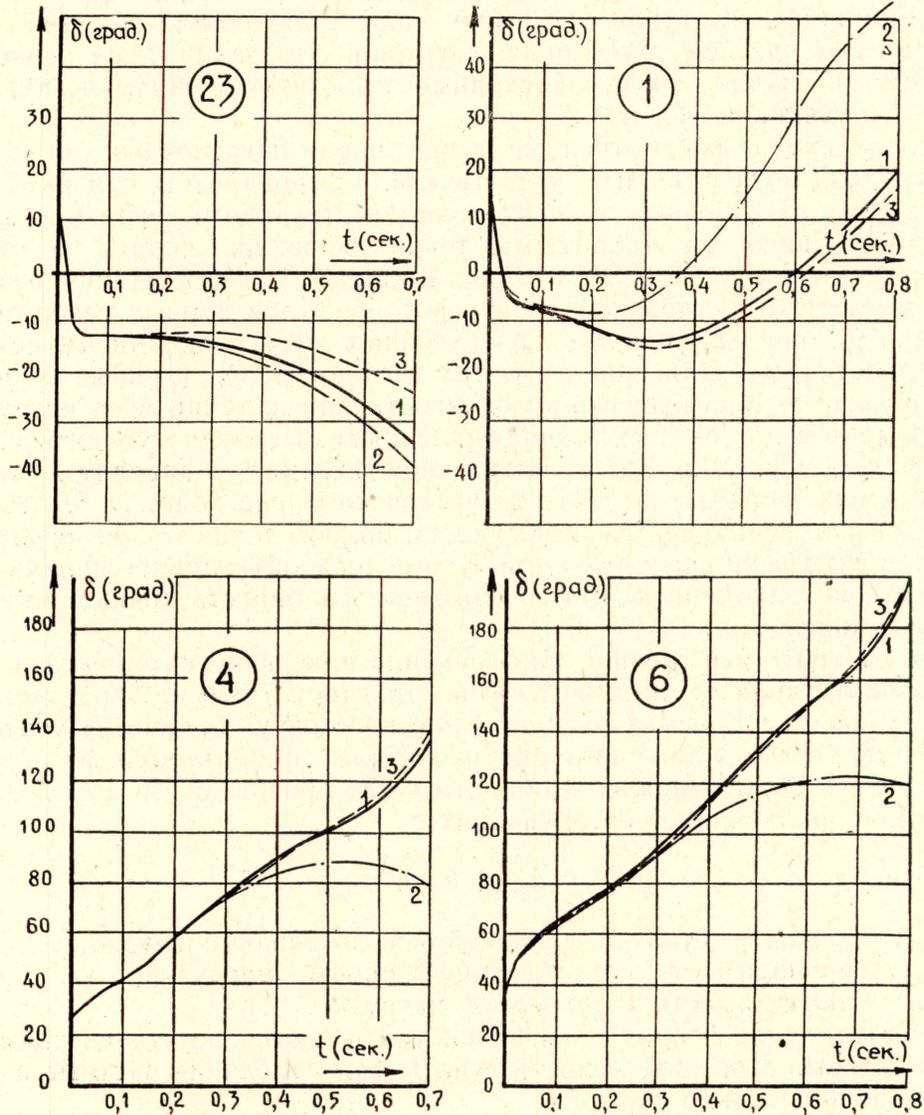


Рис. 2: Кривые изменения относительных углов роторов характерных генераторов сложной ЭС во времени при различных способах замещения комплексной нагрузки.

ализации задается вид возмущения и место его возникновения, затем производится расчет переходного процесса. В переходном процессе будут наблюдаться отклонения переменных в выражении (6), которое в ходе процесса записывается

$$\dot{y}_H \pm \Delta \dot{y}_H = F_1(U \pm \Delta U ; s \pm \Delta s). \quad (7)$$

Введем понятие заданных точностей на интервале по переменным:

ε — максимальное отклонение напряжения,
 ξ — максимальное отклонение величины скольжения ротора асинхронного двигателя.

При превышении заданных точностей в «К» момент времени пересчитываются мощности и проводимости нагрузочных ветвей, на которых

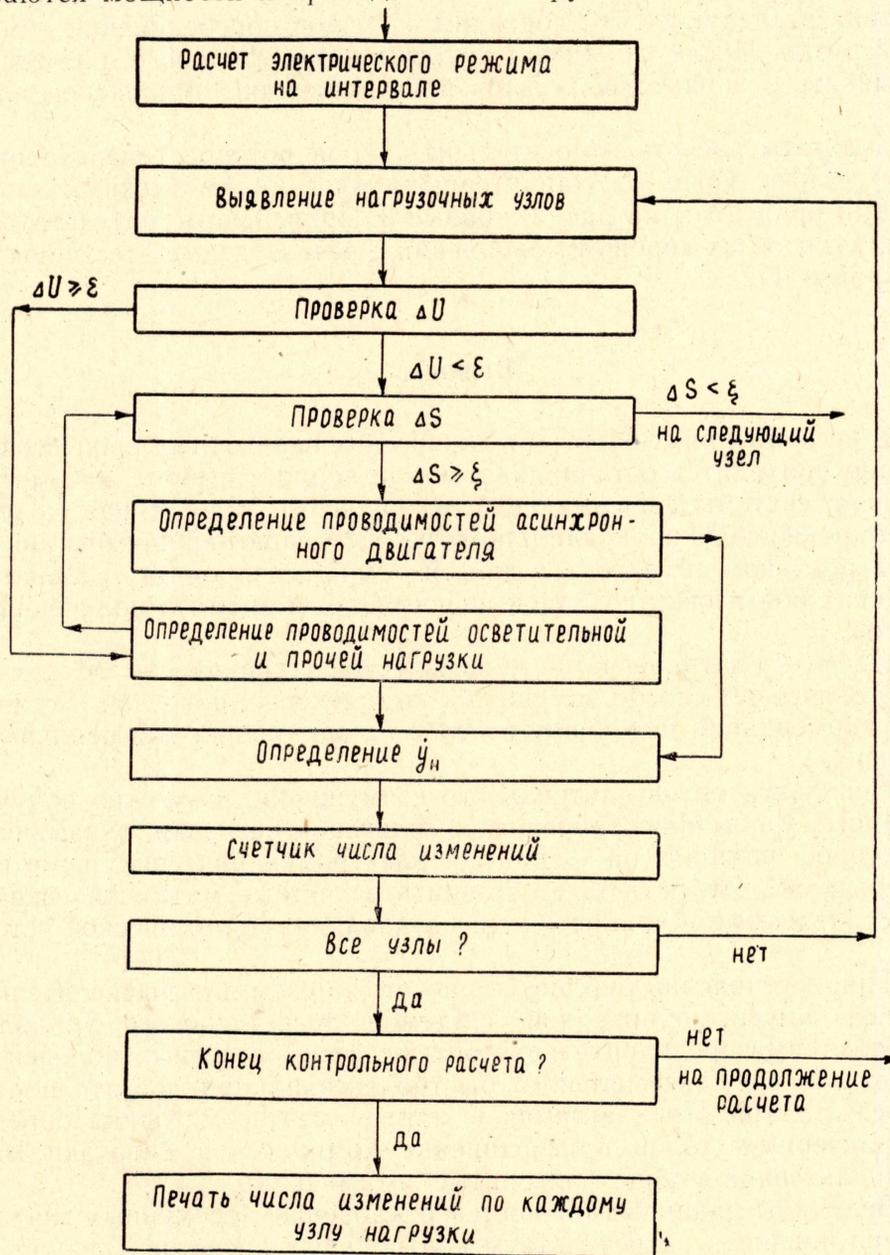


Рис. 3. Блок-схема алгоритма выявления характерных узлов присоединения комплексной нагрузки.

наблюдаются эти отклонения. Новые значения параметров ветви принимаются в качестве расчетных на следующих интервалах до нового превышения точностей. Остальные элементы остаются неизменными. По окончании контрольного расчета получим характерные узлы комплексной нагрузки, для которых желательно уточнение исходной информации.

Блок-схема приведенного логического алгоритма изображена на рис. 3.

Рассмотренная методика проверялась с использованием программы расчета динамической устойчивости IV — 4 для ЭЦВМ М-220 Института электродинамики АН УССР применительно к рассмотренному выше примеру (рис. 2). Принимались $\varepsilon = 0,15U_n$, $\xi = 0,5 \frac{0.e}{сек}$. Схема замещения исследуемой ЭС содержит 17 узлов присоединения комплексной нагрузки. После анализа результатов контрольного расчета удалось выявить 6 характерных узлов присоединения комплексной нагрузки.

Результаты расчета относительных углов роторов генераторов при задании только нагрузки характерных узлов динамическими характеристиками приведены на рис. 2, кривые 3. Приведенные результаты свидетельствуют об их хорошем совпадении с результатами эталонного расчета (кривые 1).

Выводы

1. В исследованиях электромеханических переходных процессов ЭЭС постоянно приходится останавливаться на вопросе выбора математической модели системы, описывающей эти процессы. Выбранная модель, с одной стороны, должна правильно отражать характер протекания процессов в реальном объекте, а с другой — минимизировать трудозатраты в процессах подготовки исходной информации и анализа полученных результатов.

2. На результаты расчетов динамической устойчивости ЭС заметное влияние оказывает способ замещения комплексных нагрузок. Установка общих рекомендаций по выбору способа их замещения для реальных ЭС затруднена.

3. Используя метод контрольного возмущения, возможно получение характерных узлов присоединения комплексной нагрузки, оказывающих существенное влияние на характер электромеханических переходных процессов в ЭС. Это позволяет уточнить расчетные математические модели, используемые в конкретных исследованиях динамической устойчивости.

4. При составлении библиотек расчетных схем для вычислительного комплекса автоматизированной системой диспетчерского управления ЭЭС необходима предварительная оптимизация расчетных моделей с целью обеспечения максимального быстродействия при достаточной точности результатов. Предлагаемая в данной статье методика определения характерных узлов присоединения комплексной нагрузки может быть использована в общем алгоритме оптимизации.

5. Величины заданных точностей отклонения переменных могут существенно повлиять на результаты контрольных расчетов. Следует продолжить работу по определению их допустимых значений.

ЛИТЕРАТУРА

1. П. С. Жданов. Устойчивость электрических систем. М., Госэнергоиздат, 1948.
2. Д. И. Азарьев. Математическое моделирование электрических систем. М., Госэнергоиздат, 1962.
3. И. М. Сирота. Динамические характеристики асинхронной нагрузки. Сб. трудов ИЭ АН УССР, вып. 4, 1949.

4. Ю. Е. Гуревич. Влияние параметров нагрузки на динамическую устойчивость генераторов. «Электричество», 1969, № 1.
 5. Ю. Е. Гуревич, Л. Е. Либова. Вопросы учета нагрузки в исследованиях сложных энергетических систем. Доклады на III Всесоюзном совещании по устойчивости и надежности энергосистем СССР. Л., «Энергия», 1973.
 6. В. Н. Авраменко. Влияние характеристик комплексной нагрузки на динамическую устойчивость энергосистем. Автоматизация и релейная защита электрических систем. Киев, «Наукова думка», 1966.
 7. В. А. Веников. Переходные электромеханические процессы в электрических системах. «Вышая школа», 1970.
 8. Е. К. Лоханин, В. П. Иванова, В. А. Карпов, Р. Н. Крылова. Расчет динамической устойчивости сложных энергетических систем на цифровых вычислительных машинах. Труды ВНИИЭ, вып. 29. М., «Энергия», 1967.
 9. J. E. Day, K. C. Parton. Generalised computer program for power-system analysis. Proc. Instn. Electr. Engrs., 1965, 112, № 12.
 10. Р. И. Борисов, Н. Е. Черный. Влияние способа замещения комплексной нагрузки на результаты исследований динамической устойчивости. Сб. «Электрификация металлургических предприятий Сибири», Томск, 1971.
 11. Н. Н. Щедрин. Упрощение электрических систем при моделировании. М., «Энергия», 1966.
-