

УДК 621.311

К ВЫБОРУ СИГНАЛОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

Т.Ф. Махмудов, Д.А. Аликулова

Ташкентский государственный технический университет

Узбекистан, г. Ташкент

tox-05@yandex.ru

Аннотация

В статье описывается выбор и эффективность параметров регулирования возбуждения синхронных генераторов

Ключевые слова: автоматический регулятор возбуждения, электро-энергетическая система, коэффициенты усиления, статическая устойчивость

TO THE CHOICE OF EXCITATION REGULATION SIGNALS OF SYNCHRONOUS GENERATORS

T.F. Mahmudov, D.A. Alikulova

Tashkent State Technical University

Uzbekistan, Tashkent

tox-05@yandex.ru

Abstract

The article describes selection and effectiveness of the control parameters of excitation of synchronous generators

Key words: automatic excitation regulator, the electric power system, amplification coefficients, static stability

Введение

Основной задачей электроэнергетики является бесперебойное устойчивое обеспечение потребителя электрической энергией заданного качества при возмущениях электрической системы. При этом весьма важным является исследование статической устойчивости - устойчивости энергосистемы при малых возмущениях (или отклонениях) параметров режима от их значений соответствующих положению равновесия.

Выбор параметров режима, по которым следует производить регулирование, является одной из наиболее важных задач, требующих своего решения при создании регуляторов.

При регулировании возбуждения всегда должно использоваться регулирование по отклонению напряжения. Оно может быть основным видом регулирования или использоваться в медленнодействующем корректоре. Возможны и другие способы, например регулирование по отклонению угла или току (компаундирование). Однако эти способы не обеспечивают поддержание постоянства напряжения и требуют дополнительного корректора по напряжению. Поэтому в настоящее время для регулирования, как правило, используется отклонение напряжения. Если имеется автоматический регулятор возбуждения (АРВ), реагирующий на отклонение напряжения генератора $k_{0u} < k_{0u\min}$, то происходит электромеханическое нарушение устойчивости, характеризуемое монотонным увеличением угла во времени, т.е. апериодическое нарушение устойчивости, а если $k_{0u} > k_{0u\max}$, также происходит электромеханическое нарушение статической устойчивости, но имеющее колебательный характер, т.е. система самораскачивается. Соответственно k_{0u} – коэффициент усиления системы АРВ по каналу напряжения синхронного генератора, а $k_{0\min}$ и $k_{0\max}$ – минимальные и максимальные значения коэффициента усиления АРВ. Для предотвращения самораскачивания могут быть применены первая и вторая производные угла, напряжения, тока, частота и производная частоты, отклонение мощности и т.д. Производные угла действуют наиболее эффективно, однако трудности, связанные с измерением угла между э.д.с. генератора и напряжением приемной системы, препятствуют их применению. Производные по напряжению требуют больших коэффициентов усиления, поскольку сами изменения напряжения при переходных процессах малы. При больших усилениях, необходимых при использовании производных напряжения, решающее значение приобретают всевозможные помехи, которые ухудшают регулирование. Кроме того, регулирование с использованием производных напряжения хуже гасит колебания угла по сравнению со всеми другими способами.

Применение производных тока технически осуществляется более легко, коэффициенты усиления требуются небольшие. Процессы характеризуются хорошим затуханием. Недостатком является довольно большая зависимость областей устойчивости от изменения величин сопротивления линии передачи. Кроме того, этот способ требует установки дополнительных трансформаторов тока. Регулирование по отклонению напряжения, отклонению и производной частоты близко по своим свойствам к регулированию по производным угла и не требует телепередачи. Недостатком его является то, что оно неправильно реа-

гирует на изменение скорости генератора, вызванное снижение частоты из-за потери генераторной мощности в приемной энергосистеме.

Оценивая различные способы регулирования, или, как говорят, различные законы регулирования, заметим, что анализ работы устройств сильного регулирования, проведенный во многих теоретических исследованиях, и многочисленные экспериментальные исследования на динамических и математических моделях электрических систем показали, что оптимальным для устройств сильного регулирования является использование не одного, а нескольких приращений параметров режима, подобранных так, чтобы комбинация их, исходя из практических возможностей, была бы наиболее целесообразна [1].

Проблематика

В классическом случае уравнения, описывающие процессы при малых колебаниях в электроэнергетических системах (ЭЭС) являются однородными линейными (линеаризованными) дифференциальными уравнениями и имеют вид [2,3]:

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n; \\ \frac{dx_2}{dt} &= a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n; \\ &\dots\dots\dots; \\ \frac{dx_n}{dt} &= a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \dots + a_{nn}x_n; \end{aligned}$$

или в матричной форме

$$\dot{x} = Ax,$$

где

$$A = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{vmatrix}$$

и $x^T = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$ - транспонированный вектор переменных состояния.

Одним из важных прямых показателей является переходный процесс системы для случая единичного возмущения, являющийся реше-

нием дифференциального уравнения, имеющим вид [4]:

$$x(t) = \sum_1^n B_k e^{akt} + \sum_1^n 2B_{k+1} e^{ak+1t} \sin(\beta t + \varphi_i).$$

При расчете переходного процесса используем уравнение

$$x(t+h) = e^{Ah} x(t) \approx [12I - 6hA + A^2 h^2]^{-1} [12I + 6hA + A^2 h^2] = Ax(t),$$

где

$$A = e^{Ah} \approx [12I - 6hA + A^2 h^2]^{-1} [12I + 6hA + A^2 h^2],$$

где A - матрица коэффициентов (матрица состояния системы); I - единичная матрица; e^{Ah} - переходная матрица состояния; h - точка задания начальных условий [3].

В целях проверки сравним графики переходного процесса при увеличении коэффициентов усиления автоматического регулятора возбуждения по каналам отклонения угла и напряжения:

- при увеличении коэффициента регулирования АРВ по отклонению угла с $k_{0\delta} = 5$ и $k_{0\delta} = 10$ (рис. 1)

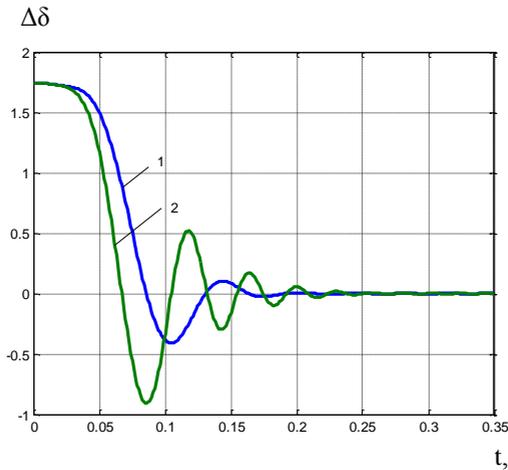
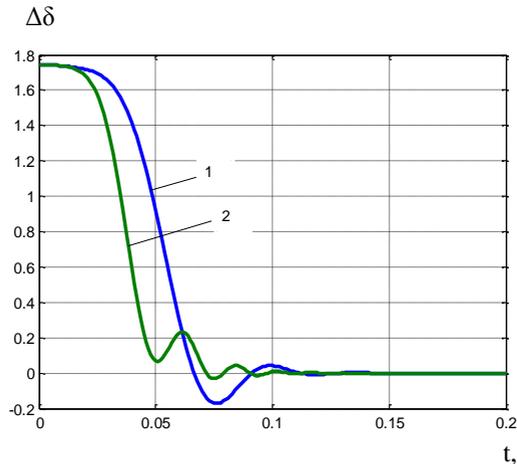


Рис.1. Переходный процесс при различных значениях коэффициента усиления автоматического регулирования возбуждения сильного действия (АРВ-СД) по отклонению угла: 1- $k_{0\delta}=5$, 2- $k_{0\delta}=10$

Аналогичные характеристики приведены на рис. 2 для случая изменения коэффициентов усиления АРВ по каналам отклонения напряжения генератора.

Сравнение этих характеристик показывает отличие регулирова-

ния по отклонению режимных параметров: в данном случае изменение коэффициента усиления по каналу напряжения генератора увеличивает частоту колебаний параметров режима, что может привести к самораскачиванию агрегата, если область регулирования близка к допустимой границе или охватывает область собственных частот ротора агрегата. Увеличение коэффициента усиления по отклонению угла мало влияет на частоту колебаний системы, но существенно меняет декремент затухания.



*Рис.2. Переходный процесс при различных значениях коэффициента усиления АРВ-СД по отклонению напряжения генератора:
1- $k_{ou}=20$, 2- $k_{ou}=100$*

Следовательно, регулирование возбуждения синхронной машины по отклонению угла более эффективно, чем по отклонению напряжения генератора. С физической точки зрения это вполне объяснимо - угол δ является интегрированным параметром [5], содержащим в себе информацию как по электромагнитным, так и по механическим режимным параметрам синхронного генератора.

Заключение

Можно отметить, что развитие матричных методов исследования динамических систем открывает широкие возможности исследования и управления режимами сложных электрических систем, повышает надежность алгоритмов и упрощает их программную реализацию [6].

Список литературы

1. Веников В.А., Герценберг Г.Р., Совалов С.А., Соколов Н.И. Сильное регулирование возбуждения. – М.-Л.: Государственное энергетическое издательство, 1963. – 152с.
2. Аллаев К.Р., Мирзабаев А.М. Малые колебания электрических систем. – Т.: «Fan va texnologiya», 2011. – 316 с.
3. Воронов А.А. Введение в динамику сложных управляемых систем. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1985. – 352 с.
4. Дорф Р.К., Бишоп Р.Х. Современные системы управления // Пер.с англ. Б.И. Копылова. – М.: Лаборатория базовых знаний, 2004. – 832 с.
5. Аллаев К.Р., Махмудов Т.Ф. Применение функции Ляпунова в квадратичной форме для исследования статической устойчивости регулируемой электрической системы // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. — 2012. — № 3-4. — С. 10-19.
6. Махмудов Т.Ф. Матричные способы синтеза оптимальных систем возбуждения синхронных генераторов // Электротехнические системы и комплексы. —2012. —№20. —С. 204-212.

УДК 621.3

О ВЫБОРЕ УСТАВОК УСТРОЙСТВ КОНТРОЛЯ ИЗОЛЯЦИИ СЕТЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

P. Olszowiec

*ER-EA Sp. z o.o., Польша, г. Staszow
olpio@o2.pl*

Аннотация

В статье рассмотрены требования правил и существующие способы выбора уставок устройств контроля изоляции сетей постоянного тока. Автором принят модифицированный подход учитывающий важнейшие угрозы для безопасной и правильной работы сети и персонала, т.е. поражение человека электрическим током, возникновение пожара и взрыва, а также неправильное срабатывание электрических аппаратов. Дан анализ основных случаев ложной работы аппаратов, показан способ определения областей значений сопротивлений изоляции отдельных полюсов, при которых появляются вышеупомянутые угрозы. Предложены новые критерии оценки уровня изоляции на базе сравнения напряжений.

Ключевые слова: сети постоянного тока, изоляция относительно земли, ложная работа аппаратов, уставка устройства контроля изоляции