

А.Т. ХАБИБУЛИНА. стар. преп. (ТашГТУ)
г. Ташкент

К СИНТЕЗУ ОПТИМАЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

На современном этапе развития электроэнергетики, для которого характерно внедрение рыночных отношений при производстве и распределении электрической энергии, актуальность проблемы статической устойчивости электроэнергетических систем (ЭЭС) не только не снизилась, но и возросла [1]. Опыт эксплуатации ЭЭС свидетельствует, что в современных условиях возможны частые качания, особенно в послеаварийных режимах, что связано с настройкой регулирующих устройств, следствием чего могут быть аварии в виде самораскачивания системы, которые приводят к тяжелым экономическим последствиям. Следовательно, вопросам обеспечения режимов и условий статической устойчивости должно быть уделено внимание как при проектировании, так и эксплуатации современных ЭЭС [3].

В настоящее время получил распространение матричный метод моделирования систем, называемый моделью системы в переменных состояниях, основанный на представлении процессов во временной области и описываемый обыкновенными дифференциальными уравнениями [1, 4]. Используя параметры режима исследуемой системы и дополнительные переменные, можно перейти к системе из n - дифференциальных уравнений первого порядка, наиболее приспособленных к алгоритмизации, применению матричных методов и аппарата векторной алгебры [3].

Для анализа переходных процессов при малых возмущениях в энергосистемах на основе линеаризованных моделей необходимо применение современных матричных методов, наиболее отвечающих поставленным требованиям - разработанности алгоритмов, программ и процедур использования.

В этом плане следует выделить перспективность методов теории вложения: канонизации матриц, ленточные матрицы [1]. Эти направления предопределяют существенное развитие исследований статической устойчивости электрических систем как линеаризованных динамических систем. Применение функций Ляпунова [2] и матричного уравнения Риккати открывают перспективы не только по части определения устойчивости сложной, регулируемой ЭЭС, но и выбора оптимальных по воздействию на режим параметров управляющих устройств.

Синхронные генераторы в современных электрических станциях снабжаются различными типами автоматических регуляторов возбуждения (АРВ), позволяющими реагировать на изменения параметров режима, по-

давлиять колебания, поддерживать постоянным или регулировать по заданному закону выбранный параметр режима.

АРВ позволяют выбрать требуемый закон управления режимом возбуждения и, соответственно, режимом электрической системы, обеспечивающим ее устойчивую работу. В случаях расчетов АРВ представляются разными э.д.с., которые можно считать постоянными за некоторыми сопротивлениями.

В общем случае уравнение электрической системы можно представить в матричной форме [3, 4]:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + Bu, \\ y &= Cx, \end{aligned} \tag{1}$$

где x – вектор переменных состояния; A – функциональная матрица размером $n \times n$, называемая матрицей состояния системы (матрица коэффициентов уравнений системы); B – функциональная матрица размером $n \times r$, называемая матрицей управления (входа); u – число входов; C – матрица, учитывающая выходные параметры.

Под синтезом в теории автоматического управления понимается процесс выбора структуры системы управления и ее параметров с целью получения требуемых динамических свойств системы. Эта задача получила название аналитического конструирования оптимальных регуляторов.

В настоящее время в теории управления для решения этой задачи получили признание два основных направления, отличающиеся формой минимизируемого функционала: метод Летова-Калмана, в котором используется квадратичный функционал качества управления, и метод аналитического конструирования по критерию обобщенной работы, предложенный А.А. Красовским.

Данная задача может быть решена на базе уравнений переменных состояния (1) и матричного уравнения Рикатти (2)

$$A^T P + PA - PBR^{-1}B^T P = -Q \tag{2}$$

где A , B , Q , R – заданные вещественные матрицы, определяемые исходя из параметров системы и ее режима.

В результате решения уравнений (2) получают P , представляющее матрицу с оптимальными параметрами управления объектом и переменными состояния исследуемой системы.

Особенностью этих уравнений является их симметрия по отношению к операции транспонирования матриц и сходство структур.

Необходимо отметить, что интегральный функционал:

$$J = \int_0^{\infty} (x^T Q x + u^T R u) dt, \quad (3)$$

где $Q=Q^T >0$, $R=R^T >0$ положительно определенные матрицы, должен иметь минимум своего значения:

$$J_{\min} = x_0^T P x_0, \quad (4)$$

тогда будет достигнуто так называемое оптимальное линейно-квадратичное управление объектом [4]. Решение приведенного матричного уравнения (4) в виде симметричной положительно-определенной матрицы P используется для формирования оптимального управления объектом, описываемого линейными стационарными уравнениями (5) в виде:

$$u(t) = K \cdot x(t) \text{ и } K = -R^{-1} B^T P, \quad (5)$$

где K – матрица оптимальных параметров (коэффициентов усиления) регулятора объекта, которая должна быть определена.

Одним из важных прямых показателей качества является переходный процесс системы для случая единичного возмущения, имеющий вид [1]:

$$x(t) = \sum_1^n B_k e^{\alpha_k t} + \sum_1^n 2B_{k+1} e^{\alpha_{k+1} t} \sin(\beta t + \varphi_i) \quad (6)$$

В качестве объекта исследования выберем схему простейшей электрической системы (рис.1.).

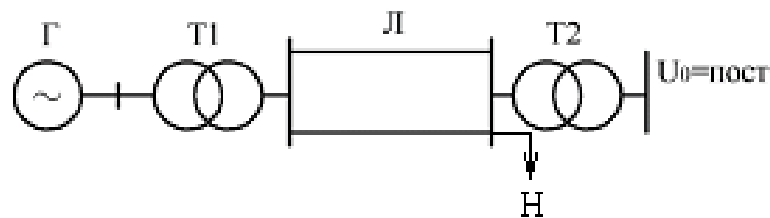


Рис.1. Принципиальная схема простейшей электрической системы

В целях проверки и сравнения получим графики переходного процесса при увеличении коэффициентов усиления АРВ по каналам отклонения напряжения с применением синтеза оптимальных параметров регуляторов возбуждения.

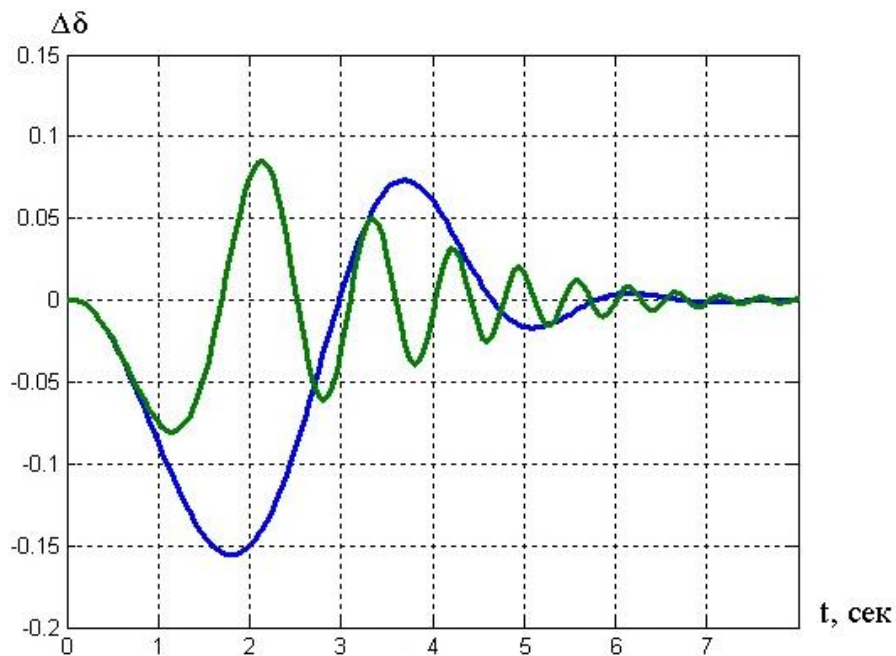


Рис.2. Переходный процесс при различных значениях коэффициента усиления АРВ-с по каналу отклонения напряжения: 1- $k_{0u}=20$ ед.возб./ед. напр.; 2- $k_{0u}=150$ ед.возб./ед. напр..

На рис. 2 показан переходный процесс на единичное возмущающее воздействие при увеличении коэффициента усиления АРВ-с по отклонению напряжения с $k_{0u}=20$ ед.возб./ед. напр. до $k_{0u}=150$ ед.возб./ед. напр. При этом увеличивается частота колебаний параметров режима, что при дальнейшем увеличении коэффициента усиления приведет к самораскачиванию синхронной машины.

Развитие матричных методов исследования динамических систем открывает широкие возможности исследования и управления режимами сложных электрических систем, повышает надежность алгоритмов и упрощает их программную реализацию [1].

Список литературы:

1. Аллаев, К.Р. Малые колебания электрических систем / К.Р. Аллаев, А.М. Мирзабаев. – Т.: «Fan va texnologiya», 2011. – 316 с.
2. Ляпунов, А.М. Общая задача об устойчивости движения / А.М. Ляпунов. -М-Л.: Гос. изд-во тех.-теор. лит.,1950. – 471 с.
3. Дорф, Р.К. Современные системы управления. // Пер. с англ. Б.И. Копылова / Р.К. Дорф, Р.Х. Бишоп. –М.: Лаборатория базовых знаний, 2004. – 832с.
4. Соколов, Н.И. Применение аналоговых вычислительных машин в энергетических системах / Н.И. Соколов. – М.: Энергия, 1970. – 400с.