

**Магистрант Энергетического факультета Шаназаров А.Э.,
Науч. рук.д.т.н., проф., акад. АН РУз Аллаев К.Р., ТГТУ**

Исследования влияния параметров режима на переходные режимы электроэнергетической системы при полном учете автоматических регуляторов возбуждения

Мақолада оддий электр тизимларида кичик тебранишларнинг ўткинчи холатини, маълум бузилиш турларини тадқиқ қилишда қўзғатишни автоматик ростлагич (ҚАР) электр тизимлари тенгламаларининг матрица коэффициентлари, ўзгаришлари шартларида ечиш усуллари ишлаб чиқилди. Бундай ўзгаришларни график кўринишларида кўриб чиқилган

Полученные результаты позволяют в рамках принятой математической модели провести анализ влияния изменения параметров режима ЭЭС и системы регулирования на переходные процессы и выявить направления их улучшения.

Настоящий этап развития энергетики характеризуется наличием соединенных относительно слабыми связями крупных концентрированных энергосистем, в состав которых активно включаются мощности распределенной генерации. Изменение состава генерации и структуры электропотребления приводит к уменьшению постоянной инерции элементов энергосистем, повышая чувствительность параметров режима энергосистемы в целом к небольшим возмущениям. Поэтому в целях повышения управляемости энергосистем внедряется новое оборудование, оснащенное современными быстродействующими устройствами регулирования возбуждения и частоты, в узловых точках электрической системы АРВ снабжаются системными стабилизаторами, применяются устройства FACTS, накопители энергии и др. В результате, помимо полезных эффектов, энергосистема приобретает также и некоторые негативные свойства, проявляющиеся, в частности, в возникновении низкочастотных (0,1÷3,0 Гц) общесистемных колебаний ее режимных параметров. Важность и сложность задачи обеспечения устойчивости энергосистем при возникновении таких колебаний привели к необходимости разработки новых методов ее оценки, основанных на тщательном изучении динамических свойств энергообъединений. В их число входят также методы технологии

вложения систем [1], позволяющих глубоко исследовать колебательные свойства ЭЭС, в том числе и при малых колебаниях в них.

Как было отмечено выше, динамические свойства энергосистемы характеризуются многочастотностью. Среди них содержатся как локальные, так и охватывающие практически всю энергосистему, общесистемные колебания. В зависимости от частоты они условно подразделяются на электромеханические и электромагнитные [2]. В литературе принято называть частотные составляющие, характеризующие качания роторов синхронных машин, электромеханическими колебаниями ($f \leq 0,2-1,5$ Гц), а частотные составляющие, проявляющиеся в системах регулирования возбуждения - электромагнитными колебаниями ($f > 1,5$ Гц). Относительно более высокочастотные колебания проявляются в системах регулирования возбуждения при практическом отсутствии колебаний ротора и тока возбуждения.

Многочастотность колебаний с существенно различными частотами и коэффициентами затухания определяется наличием динамических элементов с разными постоянными времени. Каждая частотная составляющая проявляется по-разному в различных режимных условиях.

Такое разделение колебаний физически объясняется тем, что обмотка возбуждения имеет большую постоянную времени (~ 4 с), а ротор синхронной машины—значительную механическую инерцию, вследствие чего составляющие колебания высокой частоты практически не проявляются в колебаниях ротора, иными словами, ротор является фильтром высоких частот.

Колебания снижают надежность и эффективность эксплуатации электрических систем и могут привести к системным авариям [1].

Как правило, в сложной электрической системе, учет и регулирование АРВ производится по следующему алгоритму. АРВ всех станций (эквивалентные генераторы) учитываются с постоянными э.д.с. или постоянством напряжений на шинах, а АРВ регулируемой станции учитываются более полно с дифференциальными уравнениями или передаточными функциями. После определения параметров АРВ данной станции, считая их постоянными, переходят к определению параметров других станций. По существу, каждый раз параметры АРВ исследуемой станции определяются по схеме «генератор-шины».

В свете вышеотмеченного проведем исследование динамических свойств исследуемой простой электрической системы на основе формулы для скалярного образа по технологии вложения систем. Проверим, совпадут ли результаты, полученные на основе данной технологии, с известными

результатами из теории и практики проектирования и эксплуатации современных АРВ [2].

Как отмечается в [1], при увеличении нагрузки снижаются частоты электромеханических колебаний параметров режима. На рис.1 приведены соответствующие характеристики, при нагрузке генератора $\delta_0 = 60^\circ$, в случае когда каналы регулирования АРВ отключены (далее этот случай будем считать базовым).

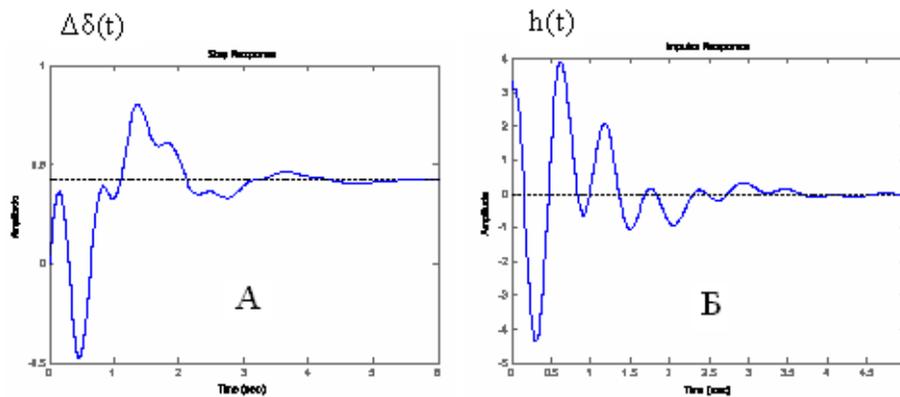


Рис.1. Переходная (А) и импульсная (Б) характеристики исследуемой системы при параметрах: $\delta_0 = 60^\circ$; $E_{q0} = 3$; $P_d = 0.1$; $T_j = 10$ с.; $T'_d = 0.3$; $T_e = 1$ с.; $T_y = 0.03$ с.; $T_u = 0.03$ с.; $x_1 = 2.0$; $k_e = 1$; $k_y = 1$; $k_u = 1$; $k_{0\delta} = 0$; $k_{1\delta} = 0$; $k_{0u} = 0$, (базовый вариант)

Анализ показывает, что при данном режиме полюса системы: -67.6077 , -0.9990 , $-1.2329 \pm 10.8497i$, -0.9290 ± 2.8448 , -1.2083 , а нули системы: $-32.8338 \pm 5.8407i$, $2.1950 \pm 2.2669i$. Как видно, колебания происходят как сумма колебаний двух частот определяемая:

$$\gamma_i = 2 \pi f_i, \quad (1)$$

($i=1,2$), $f_1 = \frac{\gamma}{2\pi} = \frac{2.8448}{6.28} = 0.4529$ Гц – электромеханические колебания системы, близкие к собственной частоте генератора (0.754 Гц), и вторая составляющая $f_2 = \frac{\gamma}{2\pi} = \frac{10.8497}{6.28} = 1.7274$ - электромагнитные колебания, определяемые системой АРВ.

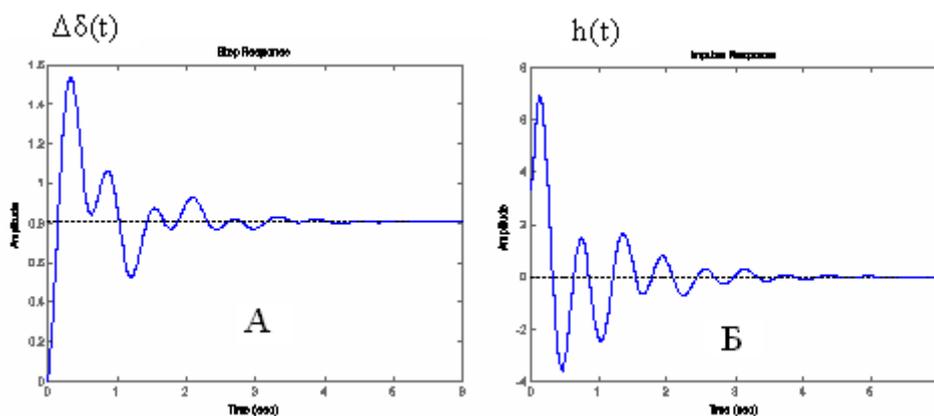


Рис.2. Переходная (А) и импульсная (Б) характеристики исследуемой системы при тех же параметрах, но $\delta_0 = 30^\circ$

На рис. 2. приведены соответствующие характеристики при уменьшении нагрузки генератора до $\delta_0 = 30^\circ$. При данном режиме полюса системы: -67.6113 , -1.1069 , $-1.0264 \pm 10.4440i$, $-1.1845 \pm 4.1142i$, а нули системы: $-32.8338 \pm 5.8407i$, $3.2639 \pm 4.7211i$, -0.9990 . Соответственно, частоты колебаний составляют: $f_1 = 0.6551$ Гц и $f_2 = 1.663$ Гц. Частота электромеханических колебаний с уменьшением нагрузки увеличилась.

На рис. 3. приведены соответствующие характеристики при наличии в системе АРВ канала по отклонению угла нагрузки и отключенных других каналах. При этом полюса системы: -67.6049 , -1.6541 , $-1.3577 \pm 11.1252i$, $-0.5828 \pm 1.5119i$, а нули: -0.9990 , $-32.8338 \pm 5.8407i$, $2.1950 \pm 2.2669i$.

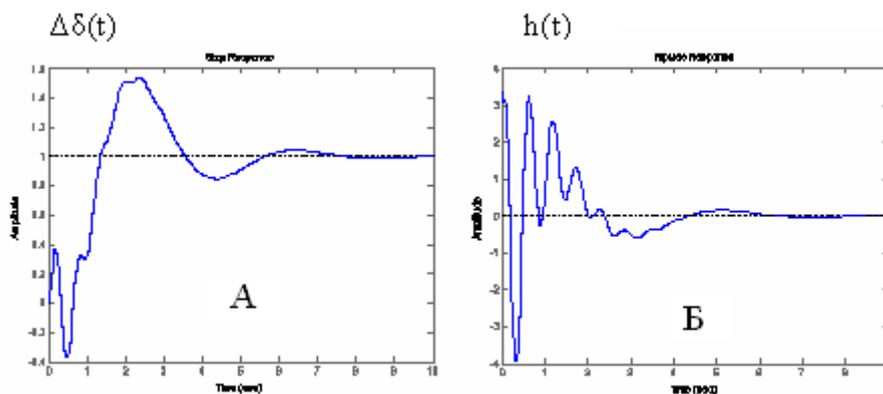


Рис. 3. Переходная (А) и импульсная (Б) характеристики исследуемой системы при тех же параметрах (рис.1.12.), но $k_{0\delta} = 1$; $k_{1\delta} = 0$; $k_{0u} = 0$

Сравнение частоты колебаний в данном случае (0.2407 Гц), при регулировании возбуждения по отклонению угла нагрузки со случаем рис.1 (0.4529 Гц) показывает, что частота электромеханического колебания уменьшается, а электромагнитного - возрастает. Это явление уменьшает

возможность резонансных явлений, так как наблюдается уход от собственной частоты электромеханических колебаний ротора генератора.

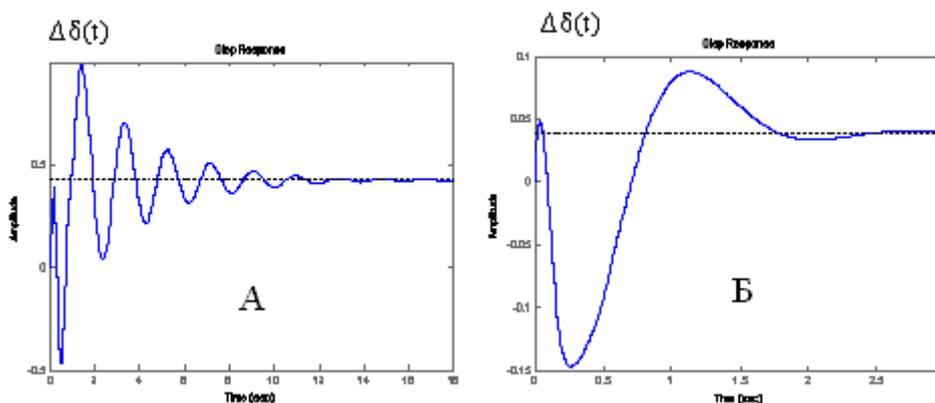


Рис.4. Переходная характеристики исследуемой системы при тех же параметрах, но А: $k_{0\delta}=0$; $k_{1\delta}=0.2$ ед., $k_{0u}=0$; Б: $k_{0\delta}=0$; $k_{1\delta}=0$; $k_{0u}=10$ ед.

На рис. 4. приведены переходные характеристики исследуемой системы при включении различных каналов системы АРВ. Из них видно, что наличие только канала по производной угла (рис.4,А) по сравнению с базовым вариантом приводит к повышению частоты и электромагнитных (3.3518 Гц), и электромеханических колебаний (0.5816 Гц). При этом полюса системы: -79.0301 , -1.2593 , $-11.1879 \pm 21.0496i$, $-1.9040 \pm 3.6526i$, а нули системы: $-32.8338 \pm 5.8407i$, 13.6612 , -0.9990 , 0.7289 .

Включение канала по отклонению напряжения на шинах определяют следующие полюса системы: -67.6462 , -1.0453 , $-1.9055 \pm 10.4751i$, $-0.3188 \pm 3.2834i$, а нули системы: -0.9990 , $-32.8338 \pm 5.8407i$, $2.1950 \pm 2.2669i$, с большей частотой электромеханических колебаний, чем в базовом варианте (рис.4,Б).

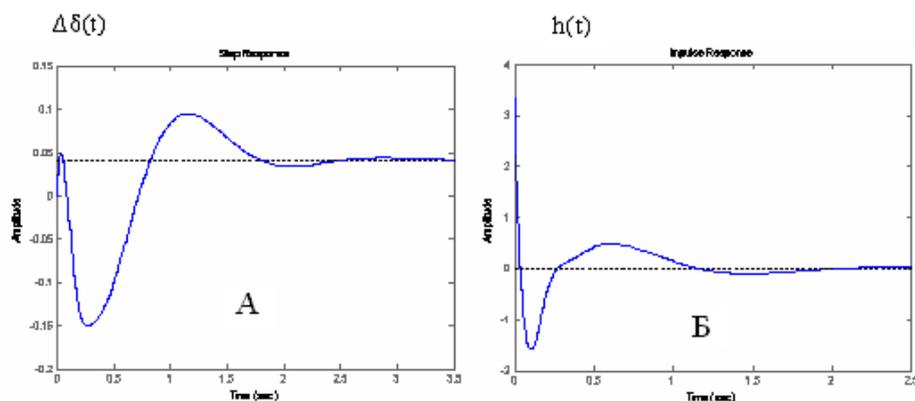


Рис.5. Переходная (А) и импульсная (Б) характеристики исследуемой системы при тех же параметрах (рис.1.1.), но $k_{0\delta}=1$ ед., $k_{1\delta}=0.2$ ед., $k_{0u}=10$ ед.

На рис. 5. приведены соответствующие характеристики исследуемой системы при включении всех каналов АРВ. При этом повышаются частоты и электромеханических, и электромагнитных колебаний, по сравнению с базовым вариантом. Переходный процесс при этом затухает примерно в два раза быстрее (~1.5 сек.), так как декремент затухания в данном случае больше. Полюса системы: -1.2543 , -79.0790 , $-11.2868 \pm 20.9767i$, $-1.7832 \pm 3.6022i$, а нули системы: -0.9990 , 0.7289 , 13.6612 , $-32.8338 \pm 5.8407i$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аллаев К.Р., Мирзабаев А.М. Малые колебания электрических систем. - Т.: Fanvatehnologiyalar, 2011. - 325 с.
2. Аллаев К.Р., Мирзабаев А.М. Матричные методы анализа малых колебаний электрических систем. Т. Fanvatehnologiya, 2016, - 421 с.