

Кадыров А.С.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АДАПТИВНОГО КОРРЕКТИРУЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ ПОДСТАНЦИИ

A.S. Kadyrov

COMPUTER SIMULATION OF ADAPTIVE CORRECTIVE MODE CONTROL HIGH-VOLTAGE SUBSTATION

УДК: 681.5 - 621.22

Предлагается компьютерного моделирования корректирующих адаптивного управления режимами работы высоковольтных подстанций

It is offered computer modeling of correcting adaptive management by operating modes of high-voltage substations suggested corrective adaptive mode control high-voltage substation.

Предложена компьютерное моделирование корректирующего адаптивного управления режимами работы высоковольтной подстанции.

В сложных энергосистемах многих стран, в частности в Кыргызстане применяются управляемые средства компенсации реактивной мощности (СКРМ) [1] и некоторые другие устройства FACTS [2]. Для повышения качества работы подстанции необходимо разработка более современных адаптивных алгоритмов управления средствами компенсации.

В настоящее время на основании расчетных параметров режимов в структуре оперативно-технологического управления высоковольтных подстанций функционируют система управления параметрами СКРМ подстанции (Рис.1.)

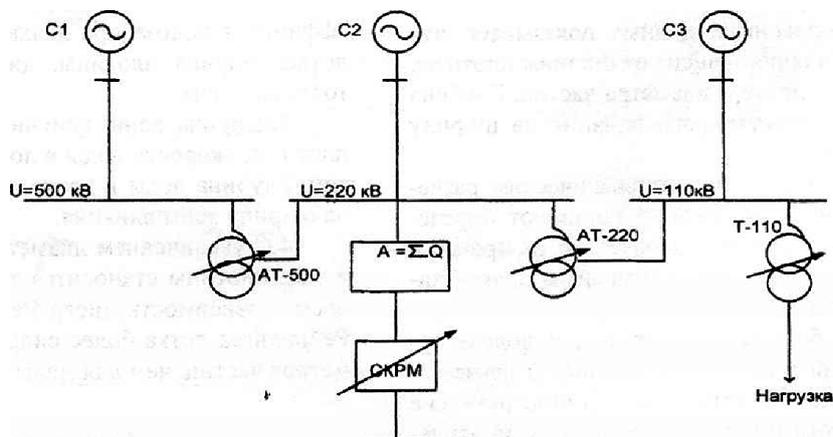


Рис.1. Схема подстанции с эквивалентным СКРМ.

Использование управляемых СКРМ подстанции позволяет поддерживать экономически выгодные уровни напряжений в наиболее важных узлах электрической сети, перераспределять потоки мощности по линиям электропередачи для уменьшения потерь электроэнергии, увеличивать потоки передаваемой мощности по заданному сечению, обеспечивать режимы межсистемных связей с учетом ограничений по току, повышая тем самым надежность электроснабжения потребителей [3]. Для решения этих задач требуется коррекция уставок регуляторов напряжения СКРМ при гармонических искажениях на шинах высоковольтной подстанции. Рассмотрим типовую систему управления подстанцией.

Входными параметрами объекта управления подстанцией являются значения регулируемого напряжения и значение суммарной загрузки СКРМ.

Выходным параметром является U, для поддержания уровня выходного напряжения необходимо компенсировать реактивную мощность $A = IQ$

$$U = U_0 + A \cdot k \quad (1)$$

где U_0 — напряжение на контролируемых шинах при $A=0$. k-коэффициент пропорциональности, определяемый режимом работы прилегающих электрических сетей.

В идеальном случае для управления СКРМ нужна информация о текущем электрическом режиме и режиме энергосистемы в целом. Причем должно быть обеспечено восстановление установившегося режима (УР) по измеряемым параметрам U, U_0, k, A на энергообъекте. Здесь для управления уставками регуляторов СКРМ на высоковольтной подстанции с учетом параметров текущих режимов предлагается модель адаптивной системы с корректирующим управлением в зависимости от параметров текущего режима.

Учитывая малую постоянную времени переходных процессов в системе, динамическую модель подстанции представим в следующем виде:

$$\frac{dU(t)}{dt} = aU(t) + b(kA(t) + U_0)$$

где a, b - коэффициенты, изменяющиеся во времени, при этом $a < 0$

Используя преобразование Лапласа, имеем дифференциальное уравнение объекта управления

$$\frac{dU(s)}{ds} = ax(s) + bU(s) + d$$

где: $x(t) = U(t)$ - напряжение выхода высоковольтной подстанции; $A(t)$ - реактивная мощность системы (входное воздействие). a — произвольная константа, b, d ($b, d > 0$) - произвольные константы

Структурная схема, устройства управления приведена на рис.2, которая, требуется найти закон изменения $U(t)$ для объекта управления (3)

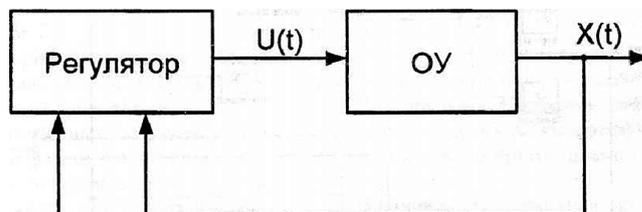


Рис. 2. Структурная схема устройства управления.

Представим уравнение возмущения движения относительно ошибки $e(t)$ в виде

$$e(t) = x(t) - x_{уст.}$$

где $x_{уст.} = U_0$

Далее, для синтеза системы управления используем второй метод Ляпунова. Зададим регулятор в виде

$$U(t) = k_e(t) \cdot e(t) + k_d(t) \quad (5)$$

где k_e – адаптивный настроечный параметр по e

k_d – адаптивный настроечный параметр по d

Подставляя (4) в уравнение (3) получим

$$\frac{dU(s)}{ds} = aU(s) + b k_e(s) \cdot e(s) + b k_d(s) + p \quad (6)$$

Где: $p = ax_{уст.} + d = const.$

Зададим функцию Ляпунова в виде

$$U(e, t) = \frac{q}{2} e^2(t) + \frac{q_a}{2 \cdot |b|} (\Delta a + b k_e(t))^2 + \frac{q_d}{2 \cdot |b|} (b k_d(t) + p)^2, \quad (7)$$

где $q, q_a, q_d > 0$ произвольные константы.

Полная производная от функции Ляпунова (6) в силу (5) будет равна:

$$\frac{dU}{de} = q e + 2 \frac{q_a b}{|b|} (\Delta a + b k_e(t)) \cdot \frac{dk_e(t)}{dt} + \frac{q_d b}{|b|} (p + b k_d(t)) \cdot \frac{dk_d(t)}{dt}$$

Таким образом, управление адаптивного регулятора имеет вид

$$U(t) = k_e(t) \cdot e(t) + k_d(t)$$

$$\frac{dk_e(t)}{dt} = -q_1 e^2(t) \quad k_e(0) = 0 \quad \frac{dk_d(t)}{dt} = -q_1 e(t) \quad k_d(0) = 0$$

При моделировании регулятора с гармоническими возмущающими действиями $F(t) = 10 \sin 2\pi 46t$ была разработана компьютерная модель, блок-схема которой представлена на рисунке 3.

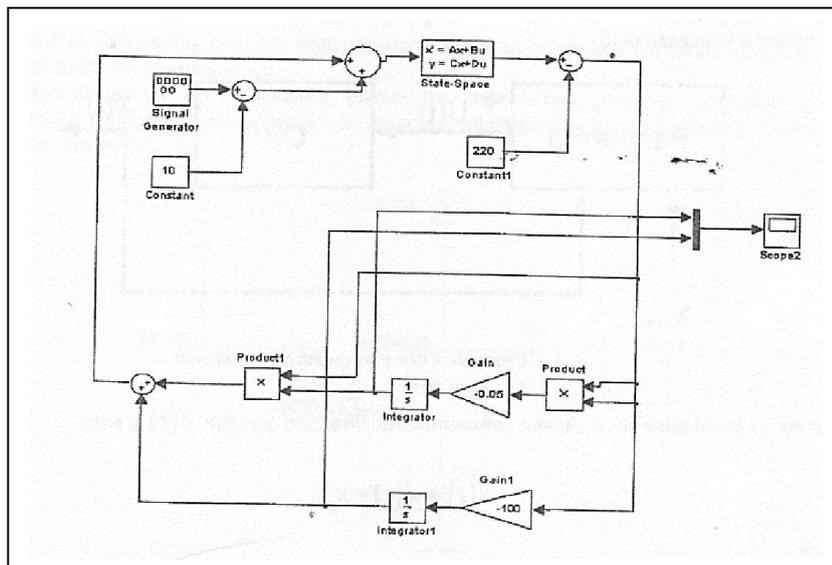


Рис.3. Блок-схема компьютерной модели адаптивного регулятора управления СКРМ.

Результаты численного моделирования принятого адаптивного закона управления получены для следующих значений параметров модели:

$a = -5$; $b = 1$; $x_{уст.} = 220$; $x_0 = 200$; $d = 20$; $k_c(0) = k_d(0) = 0$; $q_1 = 0,05$; $q_2 = 100$; $F = 10$ приведены на рис. 4-8.

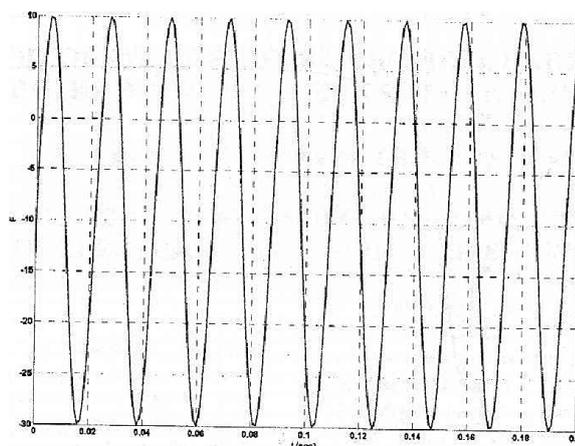


Рис.4. Характер возмущающего действия $F(t)$.

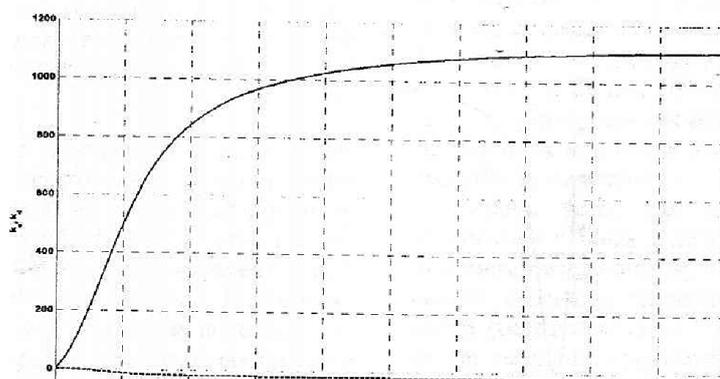


Рис.5. Динамика изменения адаптивного настроечного параметра $k_c(t)$, $k_d(t)$.

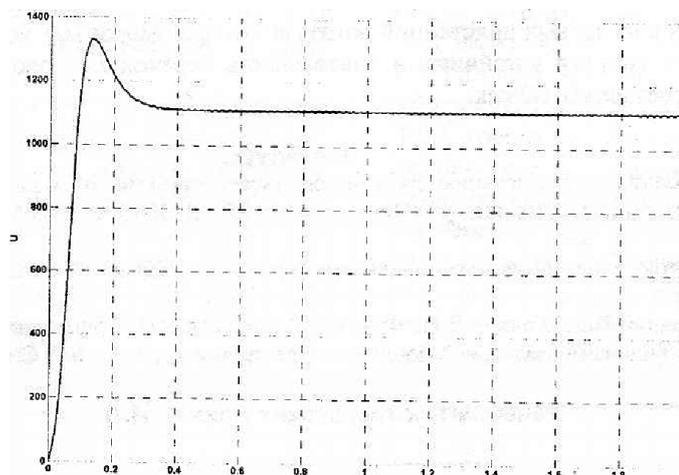


Рис.6. Управляющее воздействие на входе в регулятора $U(t) = U_0 + k \cdot A$, кВАр

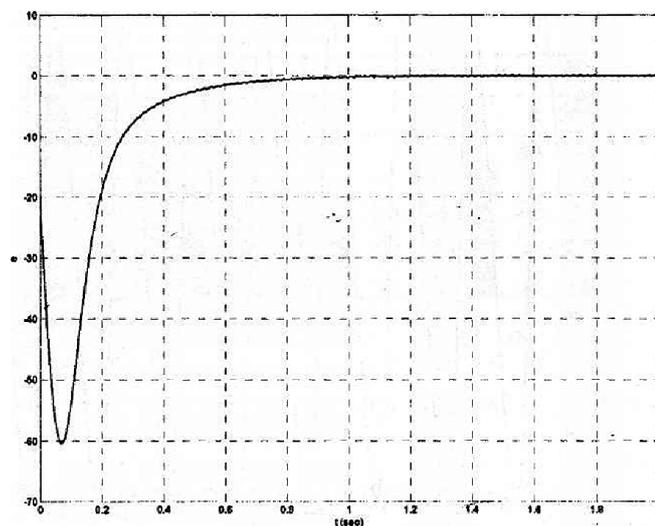


Рис. 7. Динамика изменения или рассогласования $e(t)$ в замкнутой системе.

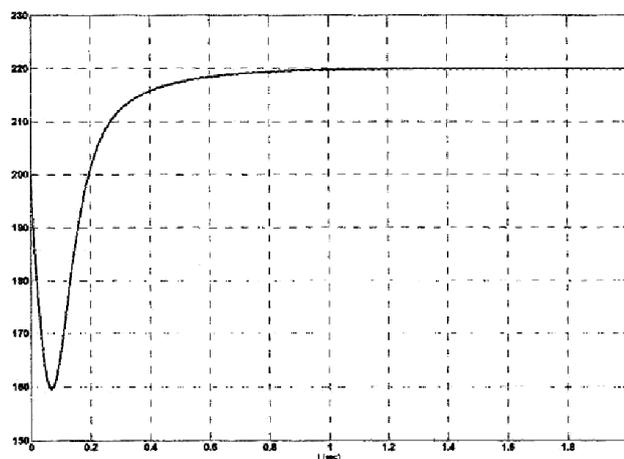


Рис.8. Динамика изменения выходного напряжения $X(t)$ высоковольтной подстанции при гармоническом возмущении.

Таким образом, компьютерное моделирование предложенной адаптивной системы регулирования выходного напряжения высоковольтных подстанций показала что при выбранных уставках компенсирующих и регулирующих устройств система устойчива, а длительность переходного процесса при скачкообразном изменении возмущения составляет 1,2 сек.

Литература:

1. Руководящие указания по применению средств компенсации реактивной мощности и регулируемых трансформаторов в электрических сетях 110-500 кВ. -М.: Энергосеть проект, ВНИИЭ, согласовано РАО «ЕЭС России», 1994. 86с.
2. Матура Р.М. Статические компенсаторы для регулирования реактивной мощности. -М.: Энергоатомиздат 1987.160с
3. Гвоздев Д.Б., Илюшин П.В., Кочкин В.И., Фокин В.К., Фролов В.И. Применение адаптивной модели энергосистемы для управления источниками реактивной мощности. Электричество, 2011. №2. С. 17-27.

Рецензент: к.т.н., доцент Брякин И.В.