

## References

1. Basharin A. V., Postnikov, Y. V. Examples of solutions of automated electric drive on the computer. – L.: Energoatomizdat, Leningrad. office, 1990. – 512 p
2. Alekseev, E. R., Chesnokova O. V. MATLAB 7. – M.: NT Press, 2006. – 464 p.
3. Popov E.P. Theory of nonlinear systems of automatic control and management. – M.: Science, 1988.
4. Terekhov V.N., Osipov O. I. Control systems of electric drives. – M.: Academy, 2006.
5. Sagitov P. I., Tergemes K.T., Shadkhin Yu.I. Parametric synthesis of a control system of the multi-engine asynchronous electric drive.//Bulletin of Almaty university of power and communication. – 2011. - No. 2(13).
6. Alekseev E.R., Chesnokova O. V. MATLAB 7/Alekseev E.R., Chesnokova O. V. – M.:NT the Press, 2006.

УДК 621.311

### АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА ТРЕХФАЗНОЙ К.З. НА ОСНОВЕ РЕЗИСТИВНОЙ МОДЕЛИ

*Таабалдиева Нурзат Дуйшоновна, доцент, КГТУ им. И.Раззакова, Кыргызстан, 720044, г. Бишкек, пр. Мира, 66, e-mail: nurzat0227@gmail.com*

*Куданалиев Эмил Темирбекович, ОАО “Национальная электрическая сеть Кыргызстана”, Кыргызстан, 720070, г. Бишкек, ул. Жибек-Жолу, 326, e-mail: emiltk@mal.ru*

Цель работы - проведение анализа переходных процессов в машине с демпферными обмотками, учет и влияние автоматических регуляторов возбуждения на переходный процесс, влияние параметров системы на условия их протекания. Наиболее тяжелым видом повреждения, как известно, является трехфазное к.з., а наиболее частым видом к.з. является несимметричное к.з., но физическая картина явления одна, что и при трехфазном к.з., основанная на постоянстве результирующего потокосцепления. Полученные аналитические выражения параметров режима СМ пригодны при любых изменениях режимов работы как СМ, так и во внешней сети. Получены расчетные осциллограммы параметров режима ЭЭС при возникновении трехфазного к.з. в любой точке системы.

**Ключевые слова:** регулятор возбуждения, электрическая система, синхронная машина, трансформатор, короткое замыкание (к.з.), несимметричное к.з., напряжение, ток.

### ANALYSIS OF RESULTS CALCULATION PHASE SHORT CIRCUIT BASED RESISTIVE MODEL

*Taabaldiyeva Nurzat Duyshonovna, the associate professor, KGTU of I. Razzakov, Kyrgyzstan, 720044, Bishkek, Mira Ave., 66, e-mail: nurzat0227@gmail.com*

*Kudanaliev Emil Temirbekovich, JSC Natsionalnaya elektricheskaya set Kyrgyzstana, Kyrgyzstan, 720070, Bishkek, Zhibek-Zholu St., 326, e-mail: emiltk@mal.ru*

The work purpose - carrying out the analysis of transition processes in the car with damping windings, the account and influence of automatic regulators of excitation on transition process, influence of parameters of system on conditions of their course. The heaviest type of damage, as we know, is three-phase short circuit, and the most frequent type of short circuit is asymmetrical short circuit, but a physical picture of the phenomenon same, as at three-phase short circuit, based on constancy of resultant flux linkage. The received analytical expressions of parameters of the mode of the synchronous car are suitable at any changes of operating modes as the synchronous car and in an external network. Settlement oscillograms of parameters of the mode of electrical power system at emergence are received three-phase к.з. in any point of system.

**Keywords:** excitement regulator, electric system, synchronous car, transformer, short circuit, asymmetrical short circuit, tension, current

При внезапных нарушениях режима в электрической системе, возникающих в начальный момент, электромагнитные переходные процессы характерны не только для синхронной машины, но и для трансформаторов сети. Однако они протекают настолько быстро, что с ними практически можно не считаться.

Во многих работах электромагнитные переходные процессы в машине описываются уравнениями, получившими название уравнений Горева - Парка. Эти уравнения дают полную характеристику переходных процессов и отражают изменения периодических и аperiodических составляющих токов, а также свободных токов, возникающих в замкнутых контурах машины.

Уравнение Горева - Парка, которое описывает переходный процесс в СМ запишем в операторной форме [3]:

$$\Delta U_d(p) = -P\Delta\psi_d(p) - \Delta\psi_q(p)\omega - r\Delta i_d(p) \quad (1)$$

$$\Delta U_f(p) = P\Delta\psi_f(p) - r_f\Delta i_f(p) \quad (2)$$

$$\Delta U_q(p) = -P\Delta\psi_q(p) + \Delta\psi_d(p)\omega - r\Delta i_q(p) \quad (3)$$

где выражения для потокосцеплений имеют вид:

$$\Delta\psi_d(p) = X_{ad}\Delta i_f(p) + X_d\Delta i_d(p) \quad (4)$$

$$\Delta\psi_f(p) = X_f\Delta i_f(p) + X_{ad}\Delta i_d(p) \quad (5)$$

$$\Delta\psi_q(p) = X_q\Delta i_q(p) \quad (6)$$

С учетом (5) уравнение (2) можно переписать в следующем виде:

$$\Delta U_f(p) = PX_{ad}\Delta i_d(p) + (XP + r_f)\Delta i_f$$

откуда

$$\Delta i_f(p) = \frac{\Delta U_f(p) - PX_{ad}\Delta i_d(p)}{r_f + pX_f} \quad (7)$$

Тогда уравнение (4) с учетом (7) примет вид:

$$\begin{aligned} \Delta\psi_d(p) &= X_{ad} \frac{\Delta U_f(p) - pX_{ad}\Delta i_d(p)}{r_f + pX_f} + X_d\Delta i_d(p) = \frac{X_{ad}}{r_f + pX_f} \Delta U_f(p) - \frac{pX_{ad}^2}{r_f + pX_f} + \\ &+ X_d\Delta i_d(p) = A(p)\Delta U_f(p) + \left( X_d - \frac{pX_{ad}^2}{r_f + pX_f} \right) \Delta i_d(p) = A(p)\Delta U_f(p) + X_d(p)\Delta i_d(p) \end{aligned} \quad (8)$$

где

$$A(p) = \frac{X_{ad}}{r_f + pX_f} = \frac{X_{ad}}{r_f(1 + T_{f0}p)},$$

$T_{f0} = \frac{X_f}{r_f}$  - постоянная времени ОВ при разомкнутом статоре;

$$\Delta X_d(p) = X_d - \frac{pX_{ad}^2}{r_f + pX_f} = \frac{X_d + T_{f0}X_d'p}{1 + T_{f0}p} \quad (4.9)$$

$$\Delta X_d(p) = X_d \frac{1 + T_f'p}{1 + T_{f0}p}$$

или

где  $X_d(p)$  – операторное индуктивное сопротивление СМ по продольной оси;

$T_f' = T_{f0} \frac{X_d'}{X_d}$  - постоянная времени ОВ при замкнутом статоре.

Если цепь статора замкнута через  $X_{en}$ , то под  $X_d$  нужно понимать сумму реактивностей  $X_{en} + X_d$ .

В соответствии с преобразованием Лапласа  $t = \frac{1}{p^2}$ , т.е. при  $t=0, p=\infty$  реактивность  $X_{d(\infty)} = X_d'$ , при  $p=0$ , т.е.  $t=\infty$   $X_{d(0)} = X_d$ . При отсутствии демпферных обмоток:  $X_{q(\infty)} = X_{q(0)} = X_q$ . При наличии демпферных обмоток выражения для потокосцеплений будут иметь вид:

$$\Delta\psi_d(p) = X_{ad}\Delta i_f(p) + X_{ad}\Delta i_{1d}(p) + X_d\Delta i_d(p) \quad (10)$$

$$\Delta\psi_f(p) = X_f\Delta i_f(p) + X_{ad}\Delta i_{1d}(p) + X_{ad}\Delta i_d(p) \quad (11)$$

$$\Delta\psi_{1d}(p) = X_{ad}\Delta i_f(p) + X_{1d}\Delta i_{1d}(p) + X_{ad}\Delta i_d(p) \quad (12)$$

$$\Delta\psi_q(p) = X_{aq}\Delta i_{1q}(p) + X_q\Delta i_q(p) \quad (13)$$

$$\Delta\psi_{1q}(p) = X_{1q}\Delta i_{1q}(p) + X_{aq}\Delta i_q(p) \quad (14)$$

Проведя преобразование, аналогичные вышеприведенному, получим:

$$\Delta\psi_d(p) = G(p)U_f - X_d(p)\Delta i_d(p) \quad (15)$$

$$G(p) = \frac{p(X_{1d}X_{ad} - X_{ad}X_{\sigma 1d}) + X_{ad}r_{1d}}{p^2(X_{1d}X_f - X_{ad}^2) + p(X_{1d}r_f + X_f r_{1d}) + r_{1d}r_f} \quad (16)$$

$$X_d(p) = X_d - \frac{p^2(X_{1d}X_{ad}^2 - 2X_{\sigma f}X_{ad} + X_f X_{\sigma 1d}^2) + p(X_{ad}^2 r_{1d} + X_{\sigma 1d}^2 r_f)}{p^2(X_{1d}X_f - X_{ad}^2) + p(X_{1d}r_f + X_f r_{1d}) + r_{1d}r_f} \quad (17)$$

$$\Delta U_q = G(p)U_f - X_d(p)\Delta i_d(p) \quad (18)$$

Для поперечной оси:

$$\Delta U_q = X_q(p)\Delta i_q(p) \quad (19)$$

где

$$X_q(p) = X_q - \frac{pX_{\sigma 1q}^2}{pX_{1q} + r_{1q}} \quad (20)$$

Выражение для потоков можно получить из (18 и 19):

$$\Delta i_d(p) = \frac{G(p)}{X_d(p)}U_f - \frac{\Delta U_q}{X_d(p)}; \quad (21)$$

$$\Delta i_q = \frac{\Delta U_d(p)}{X_q(p)}. \quad (22)$$

Для последних уравнений определяют токи статора при переходных процессах, вызванных изменениями напряжения на выводах генератора U. Величина напряжение ОВ  $U_f$  предполагается неизменной, т.н. регулирование возбуждением отсутствует  $U_f = const$ . При наличии регулирования возбуждением величина  $U_f$  изменяется и в выражении (21) заменяется его приращением:  $U_f = \Delta U_f$ .

Рассмотрим их применение для случая трехфазного к.з. на выводах СМ.

Для последних уравнений определяют токи статора при переходных процессах, вызванных изменениями напряжения на выводах генератора U. Величина напряжение ОВ  $U_f$  предполагается неизменной, т.н. регулирование возбуждением отсутствует  $U_f = const$ . При наличии регулирования возбуждением величина  $U_f$  изменяется и в выражении (21) заменяется его приращением:  $U_f = \Delta U_f$ .

Полученные аналитические выражения параметров режима СМ пригодны при любых изменениях режимов работы как СМ и во внешней сети. Рассмотрим их применение для случая трехфазного к.з. на выводах СМ.

Дальнейшая апробация методики была проведена для участка сети от Токтогульской ГЭС до ПС «Фрунзенская» (рис. 1)

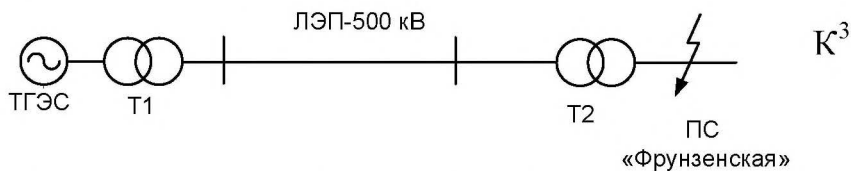


Рис. 1 Участок сети от Токтогульской ГЭС до ПС «Фрунзенская»

На рис. 2 приведены осциллограммы э.д.с., напряжения для случая трехфазного к.з.

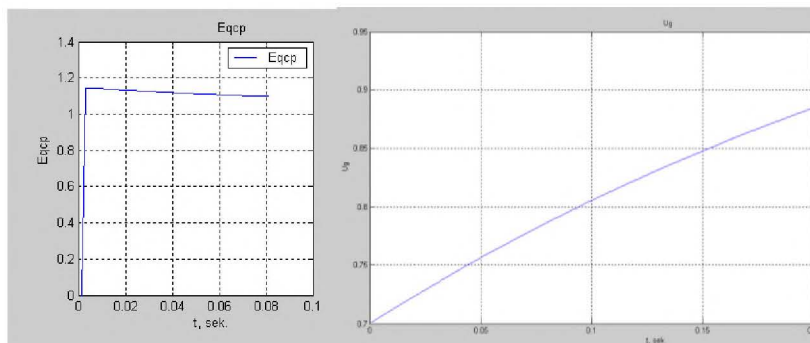


Рис. 2. Расчетные осциллограммы изменения сверхпереходной э.д.с. и напряжений по осям q и d.

Из осциллограммы видно, что сверхпереходная э.д.с.  $E_q''$  ( $E_{qcp}$ ) снижается незначительно (АРВ отсутствует), а напряжение  $U$  увеличивается, так как уменьшается со временем ток к.з.

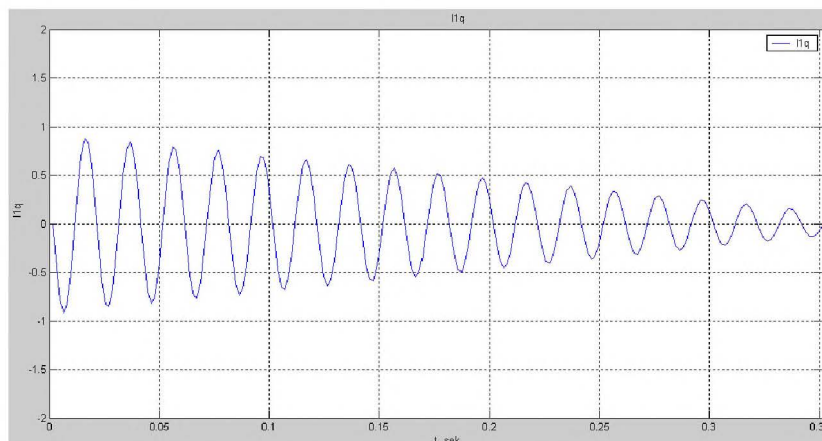


Рис.3. Ток демпферного контура

Токи демпферных контуров (рис. 3) практически затухают через 0,3 с. после возникновения к.з. На рис.4 приведены расчетные осциллограммы токов в статорной обмотке и в обмотках ротора.

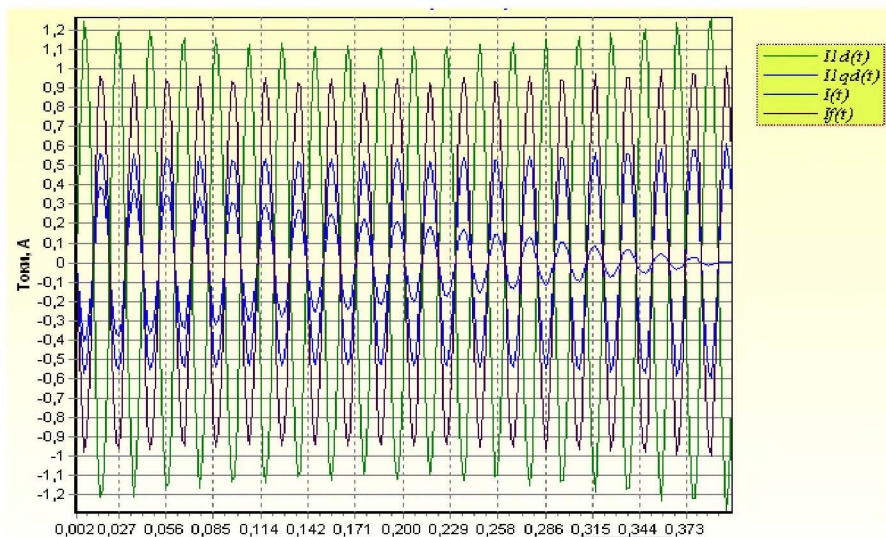


Рис. 4. Расчетные осциллограммы токов при трехфазном к.з.:  $I(t)$  – ток статорной обмотки;  $I_{1d}(t)$  – ток в демпферной обмотке по оси  $d$ ;  $I_{1q}(t)$  – ток в демпферной обмотке по оси  $q$ ;  $I_f(t)$  – ток возбуждения

Ток  $I_{1q}(t)$  затухает практически до 0 через 0,16 с после возникновения к.з. Незатухание тока к.з. в демпферной обмотке по оси  $d$  объясняется тем, что активное сопротивление данного контура было уменьшено на порядок:  $R_{1d}=0.00062$  о.е. вместо 0,0062 о.е. при обычном режиме с цель проверки правильности проводимых расчетов. Анализируя полученную расчетную осциллограмму, видим, что начиная с  $\approx 0,16$ с вступает в действие АРВ. В начальной стадии процесса срабатывания АРВ его действие едва заметно. Затем оно проявляется более интенсивно. Это видно из осциллограммы, где рост токов  $I(t)$  и  $I_f(t)$  более заметны.

Закономерности изменения параметров режима в случае трехфазного к.з., как видно из вышеприведенных осциллограмм, не противоречат теоретическим положением [3].

#### Список литературы

1. Джунуев Т. Полная модель для исследования переходных процессов электроэнергетических систем ограниченной мощности / Т. Джунуев, А.Н. Козлов // Вестник Амурского гос. ун-та. - 2012. - Вып. 59. сер. "Естеств. и экон. науки", - с. 106-109.
2. Строев В.А. Математическое моделирование элементов электрических систем: Курс лекций / В.А. Строев, С.В. Шульженко. – М.: Издательство МЭИ, 2002.
3. Ульянов, С.А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах: учебник для электроэнергетических и энергетических вузов и факультетов / С.А. Ульянов. - М.: Энергия, 1970.

## References

1. Dzhunuyev T. Full model for research of transition processes of electrical power systems of limited power/T. Dzhunuyev, A.N. Kozlov/Messenger the Amur state. un-that. - 2012. - Release 59. the "Natural and Economic Sciences" series, - page 106-109.
2. V.A. Stroyev. Mathematical modeling of elements of electric systems: Course of lectures / V.A. Stroyev, S. V. Shulzhenko. – M.: MEI publishing house, 2002/
3. Ulyanov, S. A. Electromagnetic transition processes in electric systems: the textbook for electrical power and power higher education institutions and faculties / S. A. Ulyanov. - M.: Energy, 1970.

УДК 621.311

### АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С ОГРАНИЧЕННОЙ МОЩНОСТЬЮ ПУТЕМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ SIMULINK

*Абдымомунова Айзада Калыбековна, старший преподаватель, КГТУ им. И.Раззакова, 720044, г. Бишкек, пр. Мира, 66, e-mail: [aiza\\_a4@mail.ru](mailto:aiza_a4@mail.ru)*

*Куданалиев Эмил Темирбекович, ОАО “Национальная электрическая сеть Кыргызстана”, Кыргызстан, 720070, г. Бишкек, ул. Жибек-Жолу, 326, e-mail: [emiltk@mal.ru](mailto:emiltk@mal.ru)*

Цель работы - рассматривается анализ устойчивости ЭЭС с ограниченной мощностью путем имитационного моделирования в среде Matlab пакета Simulink: что использование программы в значительной степени сокращает затраты на проектирование энергосистем, и такой метод анализа обладает наглядностью и позволяет прогнозировать поведение системы при различных режимах работы. При анализе работы электрических систем учитывались только электромагнитные параметры системы и связанные с ними механические параметры элементов системы, если эти параметры влияют на электромагнитные процессы в системе.

**Ключевые слова:** устойчивость, модернизация, имитация, моделирование, Matlab, Simulink, электрическая система, параметр, характеристика, турбина, регулятор.

### THE ANALYSIS OF STABILITY OF ELECTRICAL POWER SYSTEM FROM LIMITED POWER BY IMITATING MODELLING WITH USE OF SIMULINK

*Abdymomunova Ayzada Kalybekovna, the senior teacher, KGTU of I. Razzakov, 720044, Bishkek, Mira Ave., 66, e-mail: [aiza\\_a4@mail.ru](mailto:aiza_a4@mail.ru)*

*Kudanaliev Emil Temirbekovich, JSC Natsionalnaya elektricheskaya set Kyrgyzstana, Kyrgyzstan, 720070, Bishkek, Zhibek-Zholu St., 326, e-mail: [emiltk@mal.ru](mailto:emiltk@mal.ru)*

The work purpose - is considered the analysis of stability of electrical power system from limited power by imitating modeling in the environment of Simulink package Matlab that use of the program of considerable degree reduces costs of design of power supply systems, and such method of the analysis possesses presentation and allows to predict behavior of system at various operating modes. In the analysis of work of electric systems only electromagnetic parameters of system and the related mechanical parameters of elements of system if these parameters influence electromagnetic.

**Keywords:** stability, modernization, imitation, modeling, Matlab, Simulink, electric system, parameter, characteristic, turbine, regulator.

При проектировании новых энергетических систем и при модернизации старых возникает острая необходимость в прогнозировании характеристик энергетических систем. Одним из путей определения устойчивости систем является теоретический анализ режимов работы при различных воздействиях на систему. Учесть реальные параметры каждого элемента практически невозможно из-за их огромного количества и сложности взаимодействий этих параметров даже внутри каждого элемента. Необходимость решения проблемы приводит к значительной идеализации параметров элементов. Однако и идеализация параметров не всегда приводит к положительному результату из-за сложности электроэнергетики. Трудности, связанные с громоздкостью и сложностью теоретического анализа устойчивости электроэнергетических систем, вызывают желание разработчика переложить решение задач устойчивости на плечи компьютеров. В таком случае можно идти путем составления программ в одной из сред программирования или путем моделирования переходных