

2. Веников В.А. Переходные процессы в электрических системах. Учебник для электроэнергетич. специальностей вузов. Изд.3-е, переработ. и доп. М., «Высшая школа», 1978.
3. Жданов П.С. Вопросы устойчивости электрических систем / Под ред. Л.А. Жукова. – М., Энергия, 1979. – 456 с., ил.

References

1. Syromyatnikov I.A. Operating modes of asynchronous and synchronous motors / Under the editorship of L. G. Mamikonyants. – 4 prod., reslave. and additional – M.: Energoatomizdat, 1984. – 240 pages silt.
2. Venikov V.A. Transition processes in electric systems. The textbook for электроэнергетич. specialties of higher education institutions. Izd.3-e, reworks. and additional M., "Higher school", 1978.
3. Zhdanov P. S. Questions of stability of electric systems / Under the editorship of L.A. Zhukov. – M, Energy, 1979. – 456 pages, silt.

УДК 621.311

РЕЗИСТИВНАЯ МОДЕЛЬ СИНХРОННОЙ МАШИНЫ

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

Джунуев Тимур Тилегенович, старший преподаватель, КГТУ им. И.Раззакова, Кыргызстан, 720044, г. Бишкек, пр. Мира, 66.

Цель работы - анализ применения резистивной модели синхронной машины для дальнейшего использования в исследовании переходных процессов при коротких замыканиях. Математическая модель ЭЭС формируется на основе математических моделей отдельных элементов системы, эти модели отдельных элементов в дальнейшем объединяются в полную математическую модель электроэнергетической системы Кыргызской Республики, а исследование базируется на решении систем дифференциальных уравнений, которые записываются для всех элементов системы, а затем объединяются в общую систему уравнений относительно тому, как соединены между собой соответствующие элементы ЭЭС.

Ключевые слова: резистивная модель, синхронная машина, модель, энергосистема, обмотка статора, обмотка ротора, обмотка возбуждения, дискретная форма, макромодель.

RESISTIVE MODEL OF THE SYNCHRONOUS MACHINE

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

Dzhunuyev Timur Tilegenovich, the senior teacher, KGTU of I. Razzakov, Kyrgyzstan, 720044, Bishkek, Mira Ave., 66.

The work purpose - the analysis of application of resistive model of the synchronous car for further use in researches of transition processes at short circuits. The mathematical model of electrical power system is formed on the basis of mathematical models of separate elements of system, and these models of separate elements unite further in full mathematical model of electrical power system of the Kyrgyz Republic, and research is based on the decision to system of the differential equations which register for all elements of system, and then unite in the general system of the equations relatively to how the corresponding elements of elektroenereticheskyy system are connected among themselves.

Keywords: resistive model, synchronous car, model, power supply system, stator winding, rotor winding, excitement winding, discrete form, macromodel.

Учёными разработано большое количество математических моделей энергосистем, которые отличаются друг от друга формальным учётом тех или иных факторов. Многообразие математических моделей системы связано с возможностью их использования для различных её элементов в разнообразных сочетаниях, учитывая особенности исследуемой энергосистемы (ЭС). Поэтому математическая модель энергосистемы Кыргызской Республики тоже описывается, учитывая особенности и отражая все основные свойства энергосистемы.

Синхронные машины (СМ) являются важнейшими элементами электроэнергетической системы, поведение которых самым существенным образом определяет характер переходных процессов в энергосистеме. При этом в основу математической модели СМ были положены полные уравнения Горева-Парка [1,2]:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_d = -P\Psi_d - \Psi_q P\gamma - r i_d \\ U_q = -P\Psi_q + \Psi_d P\gamma - r i_q \\ U_f = P\Psi_f + r_f i_f \\ 0 = P\Psi_{1d} + r_{1d} i_{1d} \\ 0 = P\Psi_{1q} + r_{1q} i_{1q} \\ \\ 0 = P\Psi_{kd} + r_{kd} i_{kd} \\ 0 = P\Psi_{kq} + r_{kq} i_{kq} \end{array} \right. \quad (1)$$

где $P = \frac{d}{dt}$; r, r_f, r_{kd}, r_{kq} - активное сопротивление обмотки статора, обмотки возбуждения, k - го продольного и k - го поперечного демпферных контуров; k - число демпферных контуров d и q осей; $\gamma = \omega t + \gamma_0$ - является функцией времени и отражает вращение ротора с угловой скоростью ω , которая в общем случае может быть переменной.

В основу математического моделирования явлений, имеющих место в синхронной машине, положим принятые допущения, представляющие собой линейные зависимости между потокоцеплениями контуров и протекающими в них токами:

$$\begin{aligned}
\Psi_d &= L_{\sigma} i_d + L_{ad}(i_d + i_{fd} + i_{1d} + \dots + i_{kd}) \\
\Psi_q &= L_{\sigma} i_q + L_{aq}(i_q + i_{fq} + i_{1q} + \dots + i_{kq}) \\
\Psi_{fd} &= L_{\sigma f} i_{fd} + L_{ad}(i_d + i_{fd} + i_{1d} + \dots + i_{kd}) \\
\Psi_{1d} &= L_{\sigma 1d} i_{1d} + L_{ad}(i_d + i_{fd} + i_{1d} + \dots + i_{kd}) \\
\dots\dots\dots \\
\Psi_{kd} &= L_{\sigma kd} i_{kd} + L_{ad}(i_d + i_{fd} + i_{1d} + \dots + i_{kd}) \\
\Psi_{fq} &= L_{\sigma f} i_{fq} + L_{aq}(i_q + i_{fq} + i_{1q} + \dots + i_{kq}) \\
\Psi_{1q} &= L_{\sigma 1q} i_{1q} + L_{aq}(i_q + i_{fq} + i_{1q} + \dots + i_{kq}) \\
\dots\dots\dots \\
\Psi_{ka} &= L_{\sigma ka} i_{1a} + L_{aa}(i_a + i_{fa} + i_{1a} + \dots + i_{ka})
\end{aligned}$$

где $\Psi_d, \Psi_q, \Psi_{fd}, \Psi_{kd}, \Psi_{kq}$ - результирующие потокоцепления соответствующих обмоток; L_{ad}, L_{aq} индуктивности обмотки статора в продольной и поперечной осях; L_f, L_{fd} и L_{fq} - индуктивности обмотки возбуждения, продольного и поперечного эквивалентных демпферных контуров.

Приведенным уравнениям переходных процессов в обмотках статора и ротора, а также уравнениям потокоцеплений можно поставить в соответствие следующие схемы замещения в виде электрических цепей (рис.1).

Численные решения дифференциальных уравнений Горева-Парка (1) с применением различных методов численного интегрирования позволили получить схемное решение систем дифференциальных уравнений. Перепишем первое уравнение системы (1) в следующем виде:

$$U_d = (x_\sigma + x_{ad})P_{i_d} + P_{i_f}x_{ad} + P_{i_d}x_{ad} - \omega\psi_a - r_{i_d} \quad (2)$$

Запись уравнения (2) в дискретной форме зависит от метода численного интегрирования. Так, при использовании метода Эйлера можно записать:

$$U_q = \Delta i_d \frac{x_\sigma}{\Delta t} + (\Delta i_d + \Delta i_f + \Delta i_{1d}) \frac{x_{ad}}{\Delta t} - \omega \psi_d - r i_d \quad (3)$$

для $n+1$ шага интегрирования уравнение (2.3) можно записать:

$$U_{dn+1} = (i_{dn+1} - i_{dn}) \frac{x_{\sigma}}{M} + (i_{dn+1} + i_{fn+1} + i_{1dn+1}) \frac{x_{ad}}{M} - (i_{dn} + i_{fn} + i_{1dn}) \frac{x_{ad}}{M} - \omega \psi_{qn+1} - r i_{dn+1} \quad (4)$$

$$U_{dn+1} = -R_{\sigma} i_{dn+1} + E_{\sigma dn} - E_{\sigma dn+1} + e_{\sigma dn+1} - r i_{dn+1} + e_{dn+1} \quad (5)$$

$$R_{\sigma} = \frac{X_{\sigma}}{\Delta t} ; E_{\sigma dn} = R_{\sigma} \cdot i_{dn} ; R_{ad} = \frac{X_{ad}}{\Delta t} ;$$

$$E_{adn} = R_{ad}(i_{dn} + i_{fn} + i_{ldn}) ; E_{adn+1} = R_{ad}(i_{dn+1} + i_{fn+1} + i_{ldn+1}) ; e_{dn+1} = -\omega \cdot \psi_{qn+1}$$

Таким образом, уравнение (5) полностью отражает первое уравнение системы (1) в дискретной форме записи.

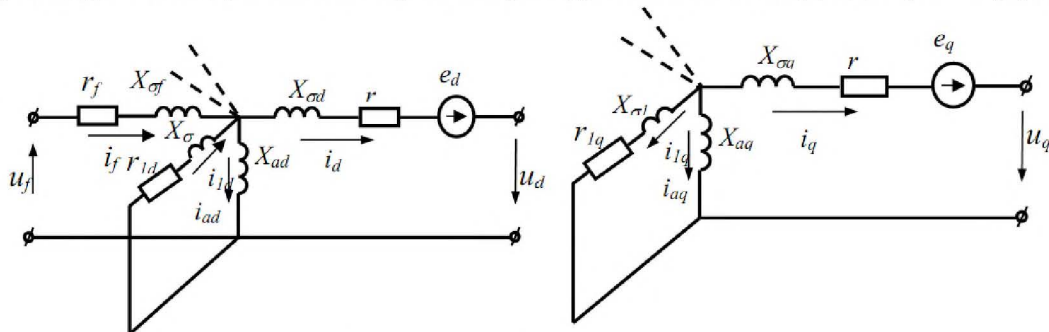


Рис.1. Схемы замещения машины по осям d и q

В уравнение (5) при применении метода трапеций параметры схемы замещения запишутся в следующем виде:

где $R_{\sigma} = \frac{2X_{\sigma}}{\Delta t} ; E_{\sigma dn} = R_{\sigma} \cdot i_{dn} ; R_{ad} = \frac{2X_{ad}}{\Delta t} ; E_{adn} = R_{ad}(i_{dn} + i_{fn} + i_{ldn}) .$

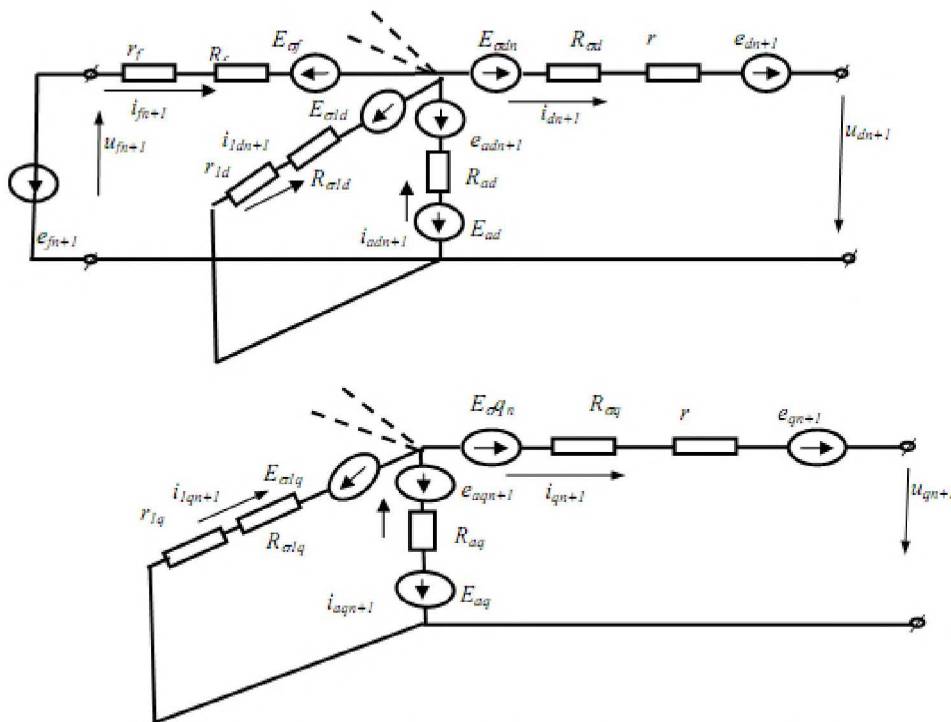


Рис.2. Резистивные схемы замещения машины по осям d и q

Аналогично получены уравнения для демпферных контуров и ОВ:

$$U_{fn+1} = R_{\sigma f} i_{fn+1} - E_{\sigma fn} + E_{adn} + e_{adn+1} + r_f i_{fn+1} \quad (6)$$

$$0 = -R_{\sigma 1d} i_{ldn+1} + E_{\sigma 1d} - E_{adn} + e_{adn+1} - r_{1d} i_{ldn+1} \quad (7)$$

Полученным уравнениям (5, 6, 7) соответствует дискретная или резистивная модель СМ по оси d (рис.2).

Резистивная модель СМ по оси q получается таким же образом:

$$U_{qn+1} = -R_{\sigma} i_{qn+1} + E_{\sigma qn} - E_{aqn} + e_{aqn+1} - r i_{qn+1} + e_{qn+1} \quad (8)$$

$$0 = -R_{\sigma 1q} i_{1qn+1} + E_{\sigma 1q} - E_{aqn} + e_{aqn+1} - r_{1q} i_{1qn+1} \quad (9)$$

Уравнения (5 – 9) перепишем в матричной форме:

$$\begin{bmatrix} U_{dn} \\ U_{fn} \\ 0 \\ U_{qn} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_{\sigma dn} \\ E_{\sigma fn} \\ E_{\sigma 1dn} \\ E_{\sigma qn} \\ E_{\sigma 1qn} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} E_{adn} \\ E_{adn} \\ E_{adn} \\ E_{aqn} \\ E_{aqn} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_{adn} \\ e_{adn} \\ e_{adn} \\ e_{aqn} \\ e_{aqn} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_{dn} \\ 0 \\ 0 \\ e_{qn} \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R_{\sigma} + r & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -(R_{\sigma f} + r_f) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & R_{\sigma 1d} + r_{1d} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & R_{\sigma} + r & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & R_{\sigma 1q} + r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{dn+1} \\ i_{fn+1} \\ i_{1dn+1} \\ i_{qn+1} \\ i_{1qn+1} \end{bmatrix} \quad (10)$$

Или в сокращенной матричной форме:

$$[U] = [E_{\sigma}] - [E_{ad}] + [e] + [R][i_{n+1}] \quad (11)$$

Откуда можно определить значение токов в конце интервала:

$$[i_{n+1}] = [R]^{-1} \cdot ([U] - [E_{\sigma}] + [E_{ad}] - [e]) \quad (12)$$

Уравнение (10 – 12) полностью описывают переходный процесс в СМ.

Таким образом, при известных токах можно преобразовать полученные ранее резистивные модели СМ по осям d и q к следующему виду:

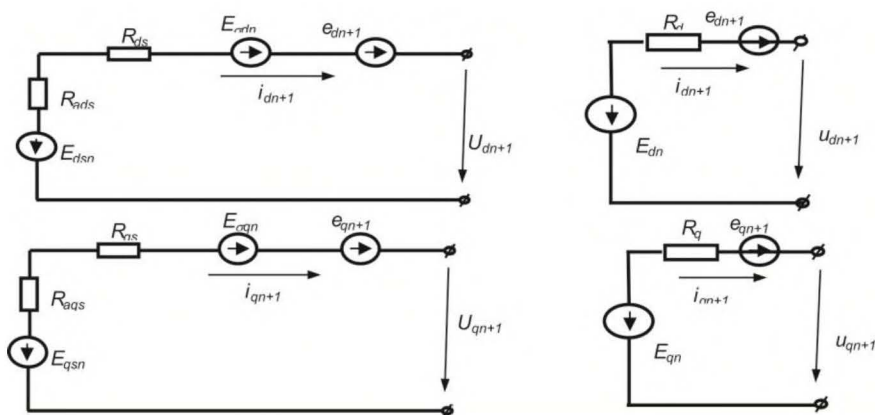


Рис. 3. Преобразованные резистивные модели синхронной машины

Параметры преобразованной схемы по продольной оси определяются как:

$$E_{dsn} = \frac{E_{\sigma fn} Y_{f\sigma} + E_{\sigma 1dn} Y_{\sigma 1d\sigma} + E_{adn} Y_{ad}}{Y_{f\sigma} + Y_{\sigma 1d\sigma} + Y_{ad}} ; \quad R_{ads} = \frac{1}{Y_{f\sigma}} + \frac{1}{Y_{\sigma 1d\sigma}} + \frac{1}{Y_{ad}} ; \quad R_{ds} = r + R_{\sigma d}$$

По поперечной оси аналогично получим:

$$E_{qsn} = \frac{E_{\sigma 1qn} Y_{\sigma 1q\sigma} + E_{aqn} Y_{aq}}{Y_{\sigma 1q\sigma} + Y_{aq}} ; \quad R_{ags} = \frac{1}{Y_{\sigma 1q\sigma}} + \frac{1}{Y_{aq}} ; \quad R_{qs} = r + R_{\sigma q}$$

На рис.4 представлена полная резистивная схема замещения машины с выделенной ветвью возбуждения, т.е. при учете регулирования возбуждением необходимо выделить ветвь контура возбуждения с напряжением на ее зажимах $U_{f,n+1}$:

$$E_{dsn} = \frac{E_{\sigma 1dn} Y_{\sigma 1d\sigma} + E_{adn} Y_{ad}}{Y_{\sigma 1d\sigma} + Y_{ad}} ; \quad R_{ads} = \frac{1}{Y_{\sigma 1d\sigma}} + \frac{1}{Y_{ad}}$$

Для поперечной оси схема замещения остается прежней.

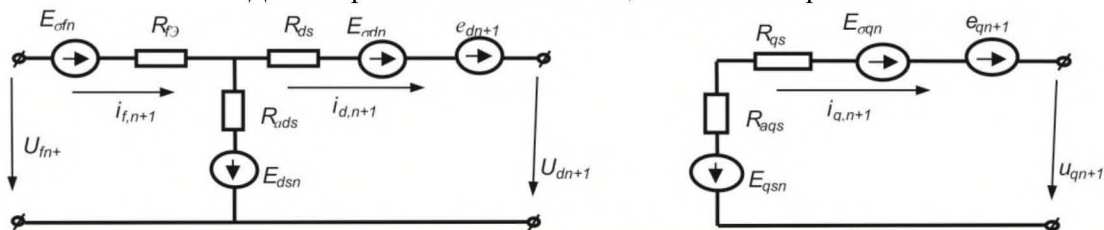


Рис.4. Макромодель электрической машины с выделенной ветвью возбуждения

Окончательно уравнение для одной синхронной машины имеет вид:

$$U_{dn+1} = e_{dn+1} + E_{\sigma dn} - E_{dsn} + R_d i_{dn+1} ; \quad U_{fn+1} = E_{\sigma fn} + R_{f\sigma} i_{fn+1} ; \quad U_{qn+1} = e_{qn+1} + E_{\sigma qn} - E_{qsn} - R_q i_{qn+1}$$

На основе полученной резистивной модели одиночной синхронной машины можно записать уравнения переходных процессов в системе группы из k машин, работающих параллельно на общие шины:

$$\begin{aligned} -i_{dn+1}^1 + \sum_{k=2}^N (i_{dn+1}^k \cdot \cos \delta_{n+1}^k + i_{qn+1}^k \cdot \sin \delta_{n+1}^k) &= 0, \\ -i_{qn+1}^1 + \sum_{k=2}^N (-i_{dn+1}^k \cdot \sin \delta_{n+1}^k + i_{qn+1}^k \cdot \cos \delta_{n+1}^k) &= 0, \\ U_{qn+1}^1 &= U_{dn+1}^k \cdot \cos \delta_{n+1}^k + U_{qn+1}^k \cdot \cos \delta_{n+1}^k, \\ U_{dn+1}^1 &= -U_{dn+1}^k \cdot \sin \delta_{n+1}^k + U_{qn+1}^k \cdot \cos \delta_{n+1}^k, \\ \delta_{n+1}^k &= \delta_n^k - [(\omega_{n+1}^k - \omega_{n+1}^1) + (\omega_n^k - \omega_n^1)] \frac{\Delta t}{2}, \end{aligned} \quad (13)$$

где 1 - верхний индекс обозначает номер генератора; $n+1$ - нижний индекс $(n+1)$ шаг интегрирования; δ^k - взаимный угол между соответствующими d, q - осями k -го и первого генераторов; $N = 1 + N_T$; N_T - число генераторов в узле; Δt - шаг численного интегрирования.

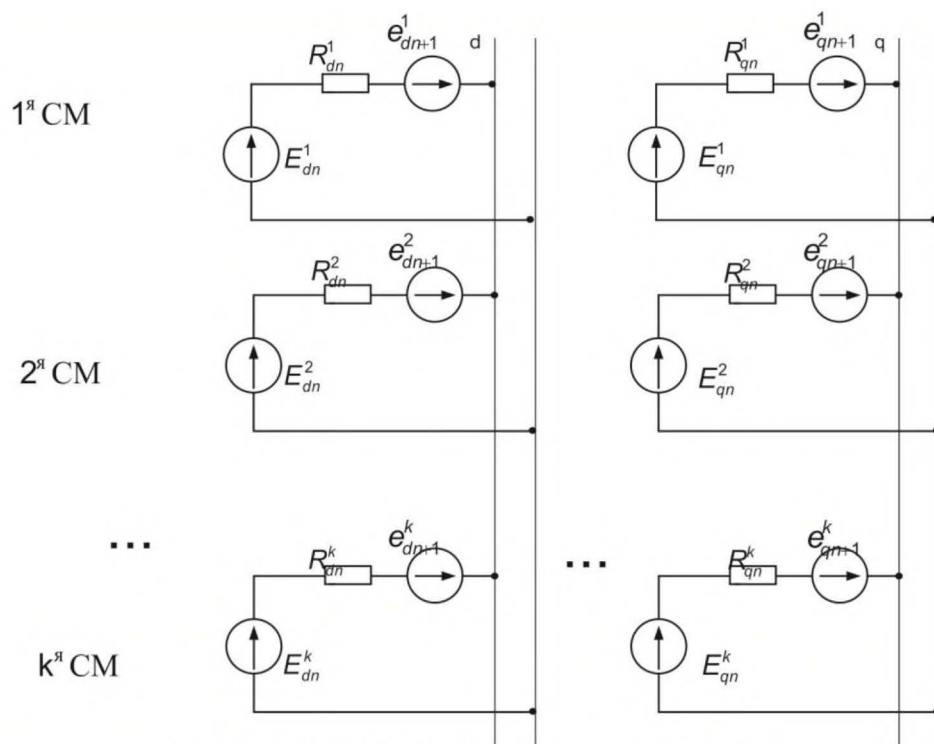


Рис.5 Резистивные модели группы из k машин

Порядок полученной системы (10) разностных уравнений составляет $5N_T$. Это показывает, что с добавлением одной машины количество уравнений будет увеличиваться на пять. Преимущество разработанной резистивной модели синхронной машины в том, что она позволяет выполнить схемное эквивалентирование группы из k машин (рис.5), освобождая от аналитических операций с системами уравнений. Схему рис.5 можно представить в следующем виде (рис.6):

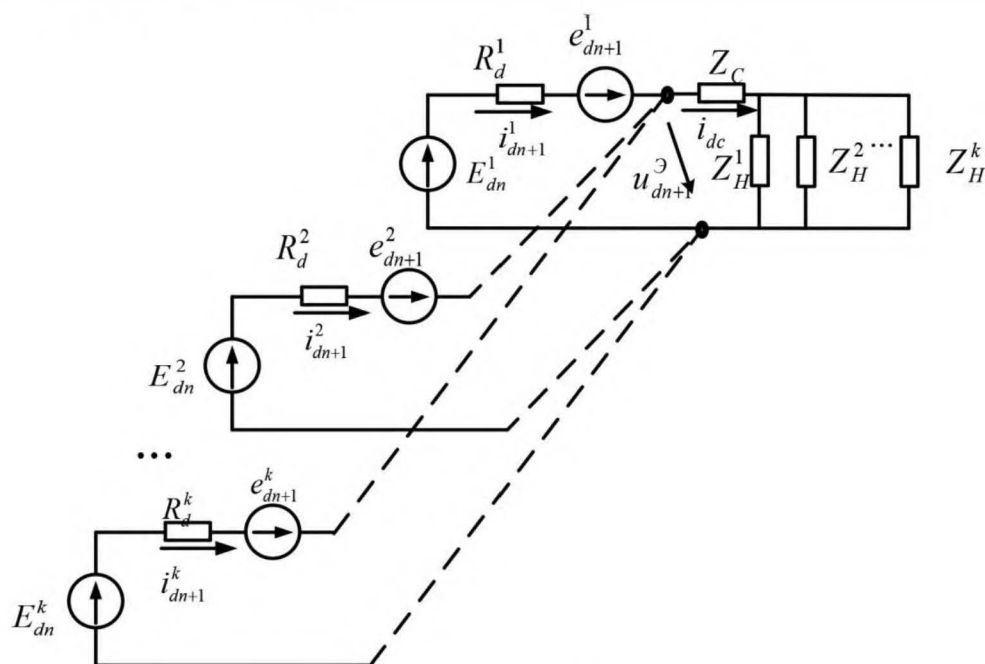
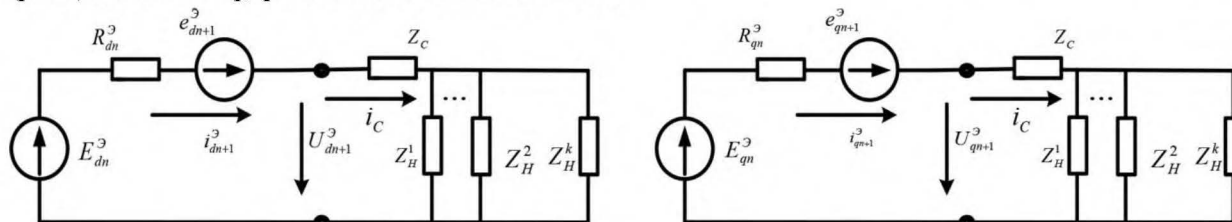


Рис.6. Резистивная модель группы из k машин, работающих на внешнюю сеть по оси d
 где Z_C – сопротивление внешней сети,
 Z_H – сопротивление внешней сети.

На базе резистивных моделей группы из k машин можно получить эквивалентную резистивную модель СМ (рис.7) по осям d и q , работающих на внешнюю сеть:



7. Эквивалентная резистивная модель группы машин

Учитывая, что узлы d , q являются общими для всех машин генераторного узла, запишем выражения для параметров эквивалентной резистивной модели группы машин:

$$u_{dn+1}^{\vartheta} = u_{dn+1}^1 = \dots = u_{dn+1}^k; \quad u_{qn+1}^{\vartheta} = u_{qn+1}^1 = \dots = u_{qn+1}^k; \quad i_d^{\vartheta} = \sum_{k=1}^{N_z} i_d^k; \quad i_q^{\vartheta} = \sum_{k=1}^{N_z} i_q^k;$$

$$Y_{d\vartheta} = \frac{1}{R_d^1} + \frac{1}{R_d^2} + \dots + \frac{1}{R_d^k}; \quad R_{d\vartheta} = \frac{1}{Y_{d\vartheta}}; \quad R_{q\vartheta} = \frac{1}{Y_{q\vartheta}}; \quad Y_{q\vartheta} = \frac{1}{R_q^1} + \frac{1}{R_q^2} + \dots + \frac{1}{R_q^k};$$

Таким образом, получена эквивалентная резистивная модель группы параллельно работающих машин, которая предполагает итерационное уточнение своих параметров в пределах каждого шага численного интегрирования.

Список литературы

1. Горев А.А. Переходные процессы синхронной машины. - М., ГЭИ, 1950
2. Ульянов С.А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах: учебник для электроэнергетических и энергетических вузов и факультетов. - М.: Энергия, 1970.
3. Математические модели элементов электроэнергетических систем в расчетах установившихся режимов и переходных процессов: учебное пособие / Р.А. Вайнштейн, Н.В. Коломиец, В.В. Шестакова. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010.

References

1. Gorev A.A. Transition processes of the synchronous car. - M, GEI, 1950
2. Ulyanov S. A. Electromagnetic transition processes in electric systems: the textbook for electrical power and power higher education institutions and faculties. - M.: Energy, 1970.

3. Mathematical models of elements of electrical power systems in calculations of the set modes and transition processes: manual / R. A. Weinstein, N. V. Kolomiets, V. V. Shestakova. – Tomsk: Publishing house of Tomsk polytechnical university, 2010.

УДК 621.311:621

ТРАНСФОРМАТОРДУ ЛИНИЯДА КӨЗӨМӨЛДӨӨ ЖАНА БУЗУЛУШТАРЫНА ДИАГНОЗ КОЮУУ СИСТЕМАСЫНЫН ТҮЗҮЛҮШҮН ЖАНА ВИЗУАЛИЗАЦИЯЛООНУН ЖАНЫЧА ЫКМАЛАРЫН ИЗИЛДӨӨ

Нургазы Жумалы, к.т.н., (КНП Синьцзянь университети электротехникалык институту, e-mail: ktunr@rambler.ru

Борукеев Туйгунбек Сабатарович, ст. преподаватель, КГТУ им. И.Раззакова, Кыргызстан, 720044, г.Бишкек, пр.Мира 66, e-mail: Tuigun_ktu@rambler.ru

Макаланын максаты: Бул макалада трансформатордун суутучу майынан ажыралып чыккан газдарды анализдөө негизинде, трансформаторду линияда күзөтүү жана диагноз коюуу системасынын түзүлүшү, чечүүгө тийиштүү маселелер, диагноз коюунун жаныча жолдору көрсөтүлүп, бузулуштарды линияда көрүнүктүү көрсөтүүнүн жоболору изилденген. Жогору чыңалуудагы трансформаторга жаныча диагноз коюуу ыкмасы сунушталып, тажрыйба аркылуу аны иш жүзүндө колдонууга болотургандыгы далилдоо.

Ачыкычтуу сөздөр: Трансформатор, линияда күзөтүү, интеллектуалдык диагноз коюу, көрүнүктүү кылуу, эксперттик система.

THE STUDY OF THE STRUCTURE AND VISUALIZATION NEW METHODS OF THE ON-LINE MONITORING AND FAULT DIAGNOSIS SYSTEM OF POWER TRANSFORMER

Nuerhazi Zhumali. Xinjiang university, College of Electrical Engineering, PHD (Engineering), China, 830046, e-mail: ktunr@rambler.ru

Borukeev Tuigunbek Sabatarovich, KSTU named, after I.Razzakov, Kyrgyzstan, 720044, Bishkek city, Mira avenue 66, e-mail: Tuigun_ktu@rambler.ru

The purpose of this article is on introducing the principle of transformer on-line monitoring and diagnosis technology of DGA the basis, it summarized present research situation and existing problems of on-line monitoring and diagnosing system. And also introduced and analyzed the structure of chromatographic on-line system, intellectual diagnostic system and new method of visualization. The results indicate that the method which for the on-line monitoring and diagnosis system of power transformer is reasonable and feasible.

Keywords : Transformer; on-line monitoring; Intelligent diagnosis; Visualization; Expert System

Кириш сөз. Жогору чыңалуудагы агым өзгөрткүчтөрдүн туура чендуу (нормал) иштешине кепилдик берүү үчүн, сөзсүз аны линияда көзөмөлдөө жана ар турдүү бузулуштарына интеллектуалдык диагноз коюу системин колдонуу зарыл. Бул болсо заманбап интеллектуалдык көмөк чордонго коюулган зарыл талаптардын бири. Агым өзгөрткүчтүн суутучу майынан ажырап чыккан газдарды анализдөө (*Dissolved Gas Analysis, DGA*), агым өзгөрткүчтүн изоляция абалын баалоо жана анын бузулушун анализдөөнүн негизи болуп эсептелет.

Кезекте агым өзгөрткүчтү линияда күзөтүү жана бузулуштарына диагноз коюууда көбүнчө төмөндөгүдөй өлчөө ыкмалары колдонулат: (1) агым өзгөрткүчтүн майынан ажыралып чыккан газдардын курамын ченеп диагноз коюу; (2) агым өзгөрткүчтөгү жүктүү абалда электр чыңалуусун бөлүп улоо жандыргычынын (выключателянин) OLTC (*On-Load Tap Charger*) ордун көзөмөлдөө; (3) агым өзгөрткүчтөгү агын кое берүү Partial Discharge, PD абалын билүү, ал эми жүктүн жалпы агынын ченөө, короткон кубаттуулугун, иштөө убуктысын ж.б. билүү; (4) агым өзгөрткүчтүн электротехникалык болот өзөгүнүн жерге туташкан агынын ченөө; (5) агым өзгөрткүчтөрдү суутучу майынын температурасын ченөө; (6) майга агын кошулуп кетүүсүн, оромдун (катушканын) формасында өзгөрүү болуусун көзөмөлдөө ж.б. Мындагы ар-бир ченөө жана көзөмөлдөөлөр өз алдынча системдери аркылуу иш жүзүнө ашат. Агын кое берүү (электрическая утечка) аркылуу, агым өзгөрткүчтүн изоляциясынын эскирүү жагдайын билүүгө болот, мындай абал болгондо агым өзгөрткүч биртике ысыйт жэ өзгөчө газдар пайда болот. Эн негизги чечүүчү маселе кантип PD сигналын айланадагы күчтүү электр-магниттик талаадан айрып чыгаруу, ошондой эле бузулуштарды жоюу маселеси. PD ни ченөөдө импульстук агын (импульстук агын СТ1-СТ3 сенсору аркылуу ченелет) бириктирүү ыкмасы жана ультра үндүү сигналды (ультра үндүү сенсор АТ1-АТ2 аркылуу ченелет) ыкмасы өз -ара бириктирген