# СИНХРОН МАШИНАЛАРНИ MATLAB SIMULINK ДАСТУРИДА ИШГА ТУШИШ ЖАРАЁНИНИ ТАҲЛИЛ ҚИЛИШ

**О.Э. Зайниева**

***Қарши давлат техника университети, "ЭТ ва ИЭТ" кафедраси доценти.***

**Ж.Р. Муродуллаев[2]**

***Қарши давлат техника университети, 2-босқич магистранти.***

**Аннотация** Ушбу мақолада синхрон машиналарнинг MATLAB Simulink муҳитида ишга тушиш жараёнини моделлаштириш ва таҳлил қилиш масалалари кўриб чиқилган. Синхрон двигателларни ишга тушириш пайтида юзага келадиган ўтиш жараёнлари, айланиш тезлиги, электромагнит момент, статор ва ротор токларининг ўзгариши ҳамда қўзғатиш тизимининг таъсири Simulink моделлари асосида тадқиқ этилган. Моделлаштириш жараёнида синхрон машинанинг математик модели, унинг электр ва механик қисмлари, юклама таъсири ҳамда турли ишга тушириш усуллари (асинхрон ишга тушириш, ташқи қўзғатиш орқали ишга тушириш) таҳлил қилинган. Олинган натижалар синхрон машиналарнинг ишончли ва самарали ишга тушиш режимларини танлашда муҳим аҳамият касб этиши аниқланган.

**Калит сўзлар:** Синхрон машина, MATLAB, Simulink, ишга тушириш жараёни, математик модел, электромагнит момент, қўзғатиш тизими, ўтиш жараёнлари, электр двигател, моделлаштириш.

**Аннотация**. В данной статье рассматриваются вопросы моделирования и анализа процесса пуска синхронных машин в среде MATLAB Simulink. На основе моделей Simulink исследованы переходные процессы, возникающие при пуске синхронных двигателей, изменение скорости вращения, электромагнитного момента, токов статора и ротора, а также влияние системы возбуждения. В процессе моделирования проанализирована математическая модель синхронной машины, её электрическая и механическая части, влияние нагрузки и различные способы пуска (асинхронный пуск, пуск с внешним возбуждением). Установлено, что полученные результаты имеют важное значение при выборе надёжных и эффективных режимов пуска синхронных машин.

**Ключевые слова:** Синхронная машина, MATLAB, Simulink, процесс пуска, математическая модель, электромагнитный момент, система возбуждения, переходные процессы, электрический двигатель, моделирование.

**Abstract.** This paper considers the issues of modeling and analyzing the starting process of synchronous machines in the MATLAB Simulink environment. Based on Simulink models, transient processes occurring during the starting of synchronous motors, changes in rotational speed, electromagnetic torque, stator

and rotor currents, as well as the influence of the excitation system are investigated. During the modeling process, the mathematical model of the synchronous machine, its electrical and mechanical parts, load influence, and various starting methods (asynchronous starting, starting with external excitation) are analyzed. The obtained results are shown to be of significant importance in selecting reliable and efficient starting modes of synchronous machines.

**Keywords:** Synchronous machine, MATLAB, Simulink, starting process, mathematical model, electromagnetic torque, excitation system, transient processes, electric motor, modeling.

**Кириш**

Маълумки, анъанавий СКнинг дифференциал тенгламалари ночизиқли ва шу сабабли уларни ечишда маълум қийинчиликлар юзага келади [1].

Синхрон компенсаторнинг дифференциал тенгламаларини тузишда ва уларни ечишда қуйидаги чекинишларни ҳисобга олинади [2]:

1) синхрон компенсатор пўлат ўзагининг магнит сингдирувчанлиги чексизликга тенг ва тўйинмаган;

2) статор ва роторнинг магнит майдони хаво орлиғи бўйлаб синусоидал тарқалади;

3) фаза чулғамлари симметрик;

4) тинчлантирувчи (демпфер) чулғам стерженлари ротор ўқига нисбатан симметрик жойлашган [3].

Машинанинг бўйлама ва кўндаланг ўқларда бошқа катталикларини ҳам ифодалаш мумкин. $d$ ва $q$ ўқларни қўллаб машина барча катталикларини иккита ташкил этувчилар билан ифодалаш орқали тўла алгебраик дифференциал тенгламаларини ифодалаймиз [4, 5].

Бунда Парк-Горев тенгламасидан фойдаланиб қуйидагича ёзамиз:



ISSN 3030-3907

$$\left.\begin{aligned} U_{sd} &= i_{sd}r_s + \frac{d\psi_d}{dt} - \omega_s\psi_q \\ U_{sq} &= i_{sq}r_s + \frac{d\psi_q}{dt} + \omega_s\psi_d \\ U_f &= \frac{d\psi_f}{dt} + r_f i_f \\ 0 &= \frac{d\psi_{Dd}}{dt} + r_{Dd}i_{Dd} \\ 0 &= \frac{d\psi_{Dq}}{dt} + r_{Dq}i_{Dq} \\ M_Э &= \frac{3}{2}\left(\psi_d i_{sq} - \psi_q i_{sd}\right) \\ J\omega_s \frac{ds_M}{dt} &= M_{МЭХ} - M_Э \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

(1) да тизими ҳаракат тенгламаси ёки механик мувозанат тенгламаси қуйидагича аниқланади [6]:

$$M_T = M + Jd\Omega/dt,$$

(2) да $M_T -$ ташқи айлантирувчи момент синхрон компенсатор учун нолга тенг, шу сабабли (2) – формула қуйидаги кўринишда бўлади

$$0 = M + Jd\Omega/dt,$$

бу ерда $M -$ электромагнит момент; $J -$ ротор массаларининг айлантирувчи инерция моменти; $\Omega -$ роторнинг бурчак тезлиги.

Ҳаракатланиш тенгламасини нисбий бирликларда ёзиш учун, унинг иккала қисмини $M_\delta -$ базис моментга бўлиш керак. У ҳолда ҳаракатланиш тенгламасини қуйидагича ёзиб қўямиз [7]:

$$0 = M + T_J d\omega/dt,$$

Бу ерда $M, \omega -$ лар нисбий бирликларда, айланувчи массаларнинг инерция доимийси $T_J = J \cdot \omega^2/p^2 p_\delta -$ секундларда кўрсатилган [8].

***Электромагнит момент.*** Маълумки, машинанинг оқим илашимликлари ва токлари орқали электромагнит момент қуйидаги ифода билан аниқланади [7, 9]:

$$M = \psi_{a\alpha} \cdot i_{\alpha\beta} - \psi_{a\beta} \cdot i_{a\alpha}$$

Бу ифода бир неча мураккаб бўлмаган ўзгартиришлардан кейин [10]: кўринишга эга бўлади

$$M = i_d \cdot \psi_q - \cdot i_q \cdot \psi_d$$

Юқоридаги (1) - (5) гача бўлган тенгламалар синхрон компенсаторнинг ишга тушириш жараёнининг математик ифодасини ташкил этади. (1) – (5) тенгламалар тизимидан фойдаланиб, анъанавий СКни асинхрон усулда ишга

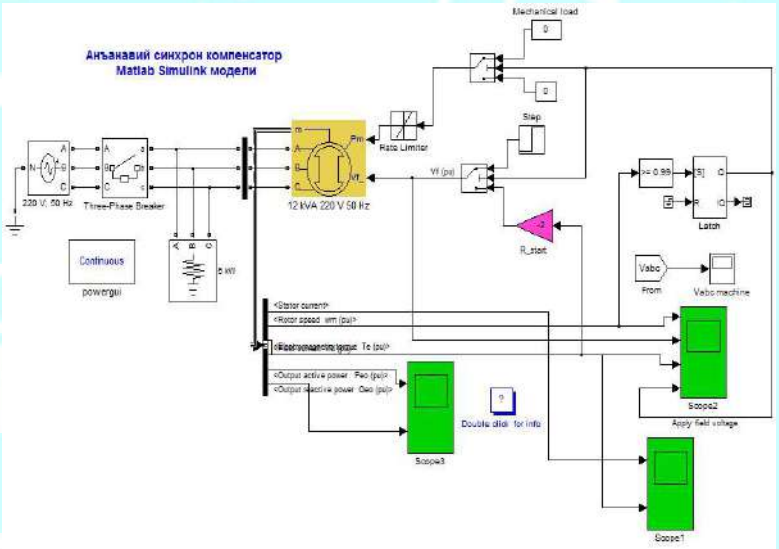

ISSN 3030-3907

тушириш жараёнини тадқиқ қилиш MatLab Simulink дастуридаги модели тузилган (1-расм).

1-расмда анъанавий синхрон компенсаторни ишга тушириш жараёнини MatLab Simulink дастуридаги модели асосий икки қисмдан иборат бўлиб, улар электр ва механик қисмлардир. Ушбу моделдаги электр қисми синхрон компенсаторнинг статор ва ротор занжиридаги электромагнит жараёнларни ҳисоблайди, механик қисми эса роторнинг механик ҳаракатини ҳисоблайди [11].

Юқоридаги тенгламалар тизимини ечиш учун Matlab Simulink моделини қуйидагича тузамиз.

Қуйидаги синхрон компенсатор дифференциал тенгламалар тизимига этибор берсак, тенгламалар тизими асосий икки қисмдан иборат бўлиб, у электр катталиклар қисми ва механик катталиклар қисмдан ташкил топган.




**1-расм. Анъанавий синхрон компенсаторни ишга тушириш жараёнини MatLab Simulink дастуридаги модели**

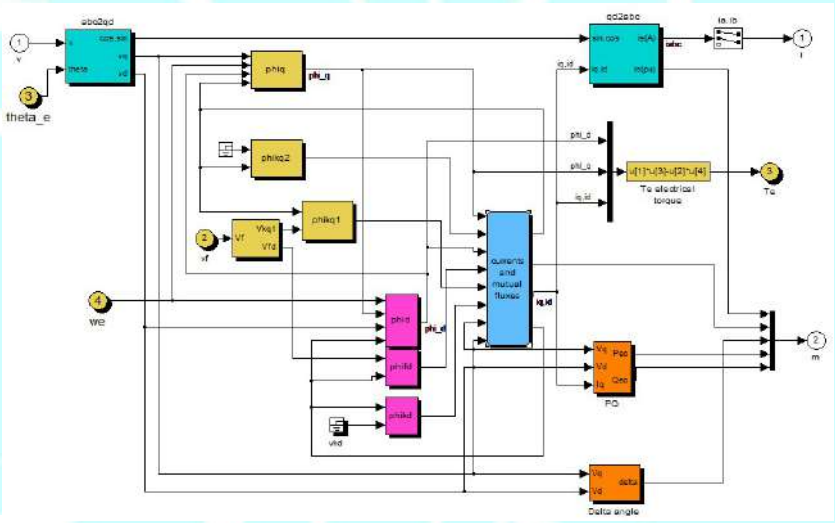
(1) дифференциал тенгламалар тизимининг аввалги 5 та ташкил этувчиси электромагнит жараёнларни ифодаловчи дифференциал тенгламалардир ва тенгламалар тизимининг охирги 6-7 чи ташкил этувчиси синхрон компенсатор роторининг механик ҳаракат тенгламаси ҳисобланади [3].

Шунинг учун Matlab Simulink моделини яратишда иккита асосий қисмни кўриб чиқамиз. Синхрон компенсаторнинг электр қисми Matlab Simulink моделини яратишда (1) тенгламалар тизими токлар ва оқим илашимликлари учун қуйидаги нимтизимни тузамиз. Юқоридаги нимтизим бир нечта қисмлардан ташкил топган бўлади.

(A, B, C) фаза координата тизимини (d, q) координата тизимига ўтказувчи нимтизим; (d, q) координата тизимини (A, B, C) фаза координата тизимига ўтказувчи нимтизим; (d, q) ўқлари бўйича оқим илашимликлари,

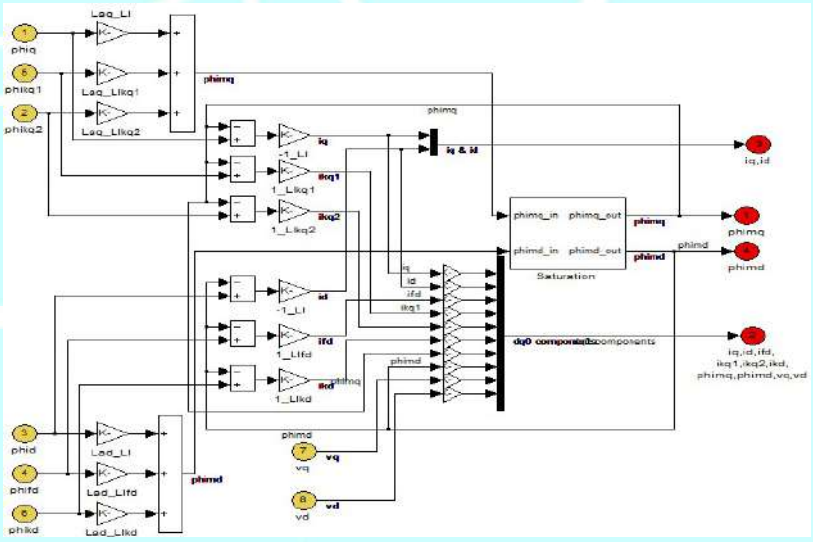

ISSN 3030-3907

демпфер катталиклар ҳамда токларни ҳисобловчи нимтизимлар; актив ва реактив қувватларни ҳисобловчи нимтизимдан иборат [3].




**2-расм. Анъанавий синхрон компенсаторнинг электр қисми учун Matlab Simulink нимтизими**

Синхрон компенсаторнинг юқоридаги (1) тенгламалар тизими учун d ва q ўқлари бўйича токлари ва оқим илашимликларини ҳисобловчи қуйидаги нимтизимни тузамиз.

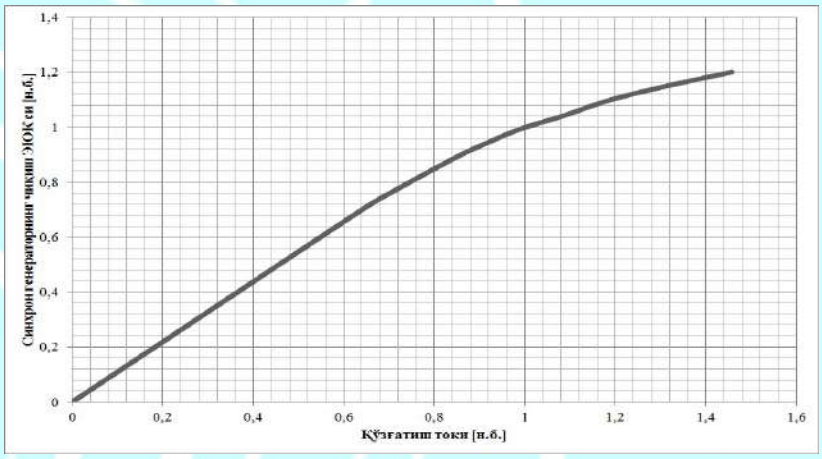


**3-расм. Синхрон компенсаторнинг d ва q ўқлари бўйича, токлари ва оқим илашимликларини ҳисобловчи нимтизим**

Ушбу нимтизимда синхрон компенсатор магнит ўзагининг тўйинишини ҳисобга олувчи нимтизим мавжуд. Ушбу нимтизим ёрдамида синхрон компенсаторнинг юксиз ишлаш характеристикасини полином апрокцимациялаш ёрдамида барча ўткинчи жараёнларни ҳисоблашда магнит ўзак тўйинишини ҳисобга олишнинг имконияти мавжуд.

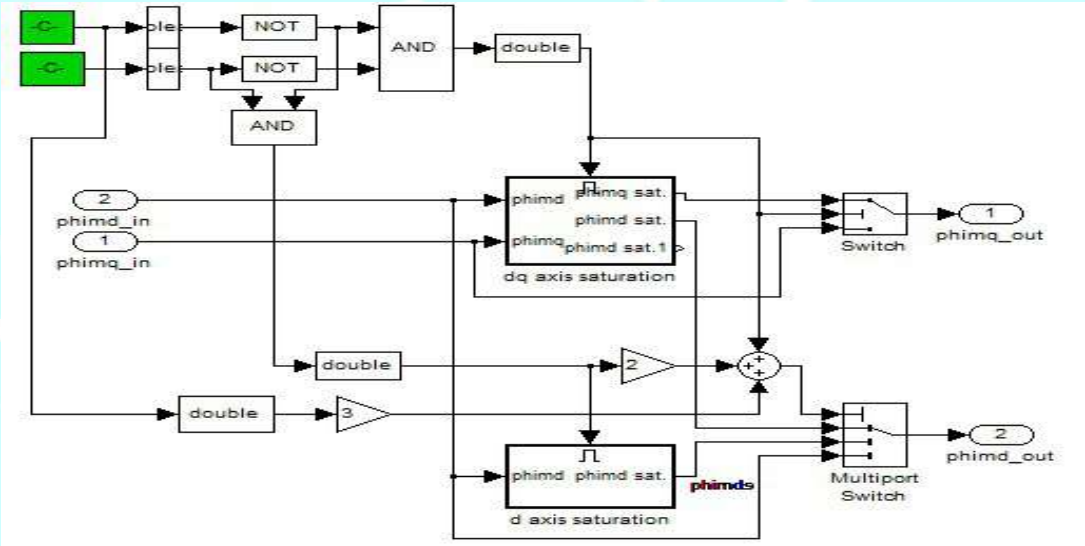

ISSN 3030-3907

| $i_{f*}$ | $U_*$ |
|---|---|
| 0 | 0 |
| 0,6404 | 0,7 |
| 0,7127 | 0,7698 |
| 0,8441 | 0,8872 |
| 0,9214 | 0,9466 |
| 0,9956 | 0,9969 |
| 1,082 | 1,0495 |
| 1,19 | 1,1 |
| 1,316 | 1,151 |
| 1,457 | 1,201 |



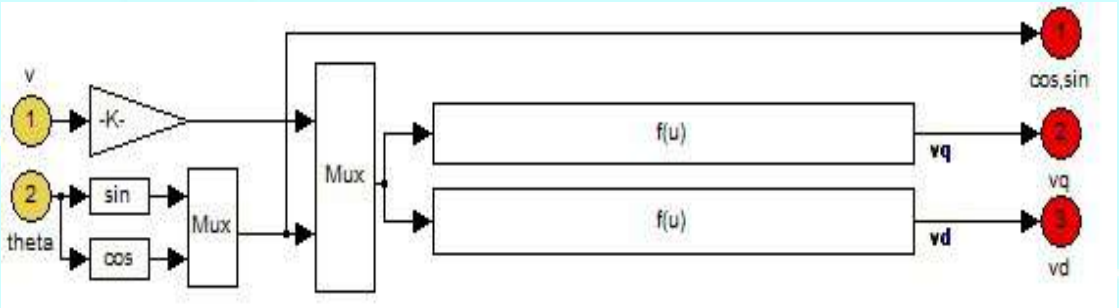

**4-расм. Синхрон компенсаторнинг салт ишлаш тавсифи**

Синхрон компенсатор магнит ўзагининг тўйинишини ҳисобга олувчи нимтизимга синхрон компенсаторнинг қуйидаги салт ишлаш характеристикаси параметрлари киритилган бўлиб, ўткинчи жараёнларни моделлаштиришда магнит ўзакнинг тўйинишини ҳисобга олади.




**5-расм. Синхрон компенсатор магнит ўзагининг тўйинишини ҳисобга олувчи нимтизим**

(A, B, C) фаза координата тизимини (d, q) координата тизимига ўтказувчи нимтизим қуйидагича бўлади:

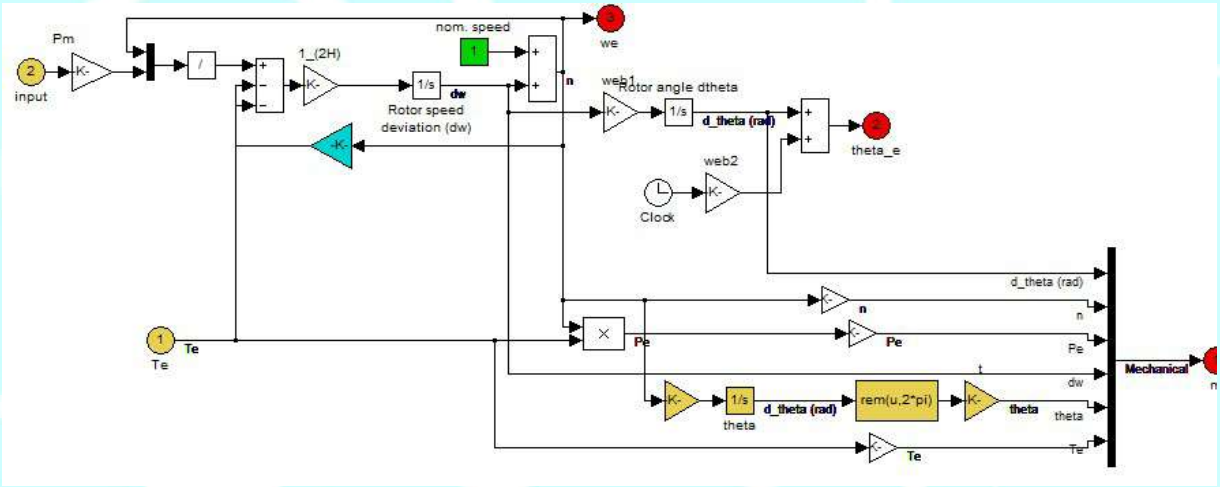





ISSN 3030-3907

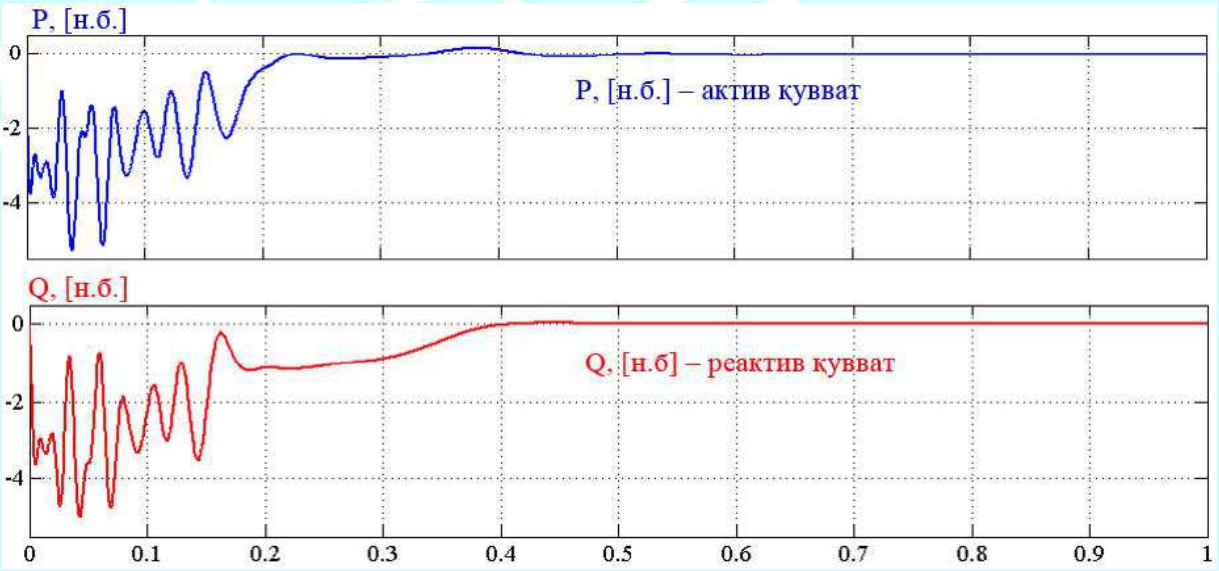
6-расм. (A, B, C) фаза координата тизимини (d, q) координата тизимига ўтказувчи нимтизим

1) дифференциал тенгламалар тизимининг (1) охирги 7 чи ташкил этувчиси синхрон компенсатор роторининг механик ҳаракат тенгламаси бўлиб унинг Matlab Simulink модели қуйидагича яратилади:




7-расм. Роторининг механик ҳаракати модели

Қуйида қуввати 15 кВА, айланиш тезлиги 1500 айл/мин бўлган анъанавий синхрон компенсаторнинг MatLab Simulink дастурида ишга тушириш натижалари келтирилган.




**8-расм. Анъанавий синхрон компенсаторнинг MatLab Simulink дастурида ишга тушириш жараёнидаги актив ва реактив энергияси ўзгариш графиги**

8-расмда анъанавий синхрон компенсаторнинг MatLab Simulink дастурида олинган ишга тушириш жараёнидаги актив ва реактив энергиялари ўзгариши графиклари келтирилган бўлиб, бунда синхрон компенсатор 0,42 секундда ишга тушганини кўришимиз мумкин.

**ХУЛОСА**



ISSN 3030-3907

MATLAB Simulink муҳитида синхрон машиналарнинг ишга тушиш жараёнини таҳлил қилиш ушбу машиналарнинг динамик хусусиятларини чуқур ўрганиш имконини беради. Моделлаштириш натижалари шуни кўрсатадики, ишга тушириш усули ва қўзғатиш тизимининг тўғри танланиши синхрон машинанинг барқарор ишлашини таъминлайди ҳамда ток зарбалари ва механик юкланишларни камайтиради. Simulink асосида олинган таҳлил натижалари амалий лойиҳалаш ишларида, энергетик тизимларда синхрон двигателлардан самарали фойдаланиш ва уларнинг ишончлилигини ошириш учун муҳим илмий-амалий асос бўлиб хизмат қилади.

## ФОЙДАЛАНИЛГАН АДАБИЁТЛАР РЎЙХАТИ.

1. Акимов Н.А., Антонов М.В. Испытания, эксплуатация и ремонт электрических машин. - М.: Академия, 2003. -384 с.
2. Алексеев Б.А. Использование генераторов на электростанциях для выдачи и поглощения реактивной мощности. Энергоэксперт, № 5, 2008, с. 88.
3. Аллаев К.Р. Режимы электрических систем с асинхронными турбогенераторами. Т. ТГТУ, 2005. 286 с.
4. Аллаев К.Р. Электромеханик ўткинчи жараёнлар. Ўқув қўлланма. -Т.: “Молия” нашриёти, 2007. 272 б.
5. Аллаев К.Р. Энергетика мира и Узбекистана. Аналитический обзор. - Т.: Издательство “Молия” Банковско-финансовой академии, 2007. 388 с.
6. Аллаев К.Р., Мирзабаев А.М. Малые колебания электрических систем. Матричный подход. - Т.: “Молия” нашриёти, 2007. 272с.
7. Аманулла А.Х. Синхронный компенсатор в режиме глубокого потребления реактивной мощности. Диссертация. 2002 йил. С-125.
8. Антонюк О. В. [и др.] Проектируемые и выпускаемые в ОАО "Силовые машины" асинхронизированные турбогенераторы // Электротехника. - 2010. - № 2. - С. 23-29.
9. Аристов А.В., Бурулько Л. К., Паю Л.А. Математическое моделирование в электромеханике. Учебное пособие, -Томск: Изд. ТПУ, 2005. 155 с.
10. Армеев Д.В., Чехонадских А.В., Нестеренко Г.Б. Ресурсы стабилизации напряжения синхронного генератора АРВ сильного действия // Вестник ИГЭУ. 2017. № 1. С. 24-32.
11. Армеев Д.В., Чехонадских А.В., Нестеренко Г.Б.. Переходные процессы синхронного генератора с ПИДД2 АРВ на границе устойчивости // Новое в российской электроэнергетике, 2017. № 12. С. 33-43.


ISSN 3030-3907