

## РЕЗОНАНСНІ ПРОЦЕСИ В ПУСКОВИХ РЕЖИМАХ СИНХРОННИХ ДВИГУНІВ З КОНДЕНСАТОРАМИ В КОЛІ ОБМОТКИ ЗБУДЖЕННЯ

*Розглядається проблема появи резонансу під час асинхронного пуску явнополюсних синхронних двигунів, в яких для підвищення електромагнітного моменту в коло обмотки збудження увімкнено конденсатори. Для розрахунку пускових статичних характеристик та дослідження впливу величини ємності конденсаторів на перебіг пуску двигуна, зокрема появу резонансу, використовується математична модель синхронного двигуна явнополюсної конструкції високою рівня адекватності, в якій враховується насичення магнітопроводу. Асинхронний режим описується системою диференціальних рівнянь електричної рівноваги, записаної в ортогональних координатних осях з урахуванням наявності конденсаторів в обмотці збудження. Електромагнітні параметри контурів визначаються на основі розрахунку розгалуженої заступної схеми магнітного кола двигуна. В основу розробленого алгоритму покладено заснований на апроксимації кубічними сплайнами проєкційний метод розв'язування крайових задач розрахунку ustalених періодичних режимів і диференціальний метод розрахунку статичних характеристик. Бібл. 8, рис. 2.*

**Ключові слова:** явнополюсний синхронний двигун, конденсатори, обмотка збудження, резонанс, статичні характеристики.

*Рассматривается проблема возникновения резонанса во время асинхронного пуска явнополюсных синхронных двигателей, в которых для повышения электромагнитного момента в цепь обмотки возбуждения включены конденсаторы. Для расчета пусковых статических характеристик и исследования влияния величины емкости конденсаторов на протекание пуска двигателя, в частности появления резонанса, используется математическая модель синхронного двигателя явнополюсной конструкции высокого уровня адекватности, в которой учитывается насыщение магнитопровода. Асинхронный режим описывается системой дифференциальных уравнений электрического равновесия, составленной в ортогональных координатных осях с учетом наличия конденсаторов в обмотке возбуждения. Электромагнитные параметры контуров определяются путем расчета разветвленной схемы замещения магнитной цепи двигателя. В основу разработанного алгоритма положен основанный на аппроксимации кубическими сплайнами проекционный метод решения краевых задач расчета установившихся периодических режимов и дифференциальный метод расчета статических характеристик. Библ. 8, рис. 2.*

**Ключевые слова:** явнополюсний синхронний двигател, конденсаторы, обмотка возбуждения, резонанс, статические характеристики.

**Вступ.** Незважаючи на вищу від асинхронних двигунів вартість і складність у виготовленні, синхронні двигуни застосовуються в електроприводах великої потужності, особливо там, де потрібні невисокі швидкості обертання. Проблема пуску синхронних двигунів, які працюють в потужних електроприводах, є однією з основних. Суть її полягає в забезпеченні необхідного пускового моменту, який зумовлений умовами роботи приводу. Вони виготовляються здебільшого з явновираженими полюсами, на яких розміщена обмотка збудження. Для виходу на синхронний режим ротор двигуна необхідно розігнати до близької до синхронної швидкості обертання, після чого подати в обмотку збудження постійний струм, ротор стане електромагнітом і увійде в синхронізм.

Серед відомих способів пуску найчастіше використовується асинхронний пуск, як простий і надійний, який здійснюється шляхом безпосереднього вмикання в мережу з номінальною напругою. Для асинхронного пуску в кожний полюс явнополюсного синхронного двигуна (ЯСД) вставляють мідні або латунні стержні, які з торців з'єднують короткозамикаючими кільцями. В результаті отримуємо пускову обмотку, яка є аналогом короткозамкненої обмотки ротора асинхронного двигуна, і дає змогу здійснити розгін двигуна до підсинхронної швидкості. Ця обмотка одночасно виконує роль демпфера і гасить випадкові коливання. Оскільки в міжполюсному проміжку стержні відсутні, то вона несиметрична, внаслідок чого розподіл магнітної індукції у повітряному про-

міжку відрізняється від синусоїдного, а електромагнітний момент в ustalеному асинхронному режимі має постійну та змінну складові. Крім того, на процеси в ЯСД впливає насичення магнітопроводу.

Під час асинхронного пуску обмотку збудження зазвичай закорочують на резистивний опір значенням 5-10 Ом, і вона практично не бере участі у створенні електромагнітного моменту. Поза тим, у разі пуску ЯСД під навантаженням електромагнітний момент, який створює пускова обмотка ротора в асинхронному режимі, недостатній для успішного запуску, тому використовують різні засоби, спрямовані на його підвищення. Одним із шляхів вирішення проблеми є використання обмотки збудження. Проте вона має значну індуктивність, а тому змінний струм, який в ній протікає в пусковому режимі, має індуктивний характер і не може створити суттєвого додаткового моменту. Компенсувати індуктивний опір обмотки збудження можна вмиканням послідовно конденсаторів [6, 7], однак пуск ЯСД з конденсаторами в обмотці збудження потребує всебічного дослідження, оскільки невдалий вибір значення їх ємності може призвести до зниження пускового електромагнітного моменту [2, 5]. Крім того, наявність конденсаторів в обмотці збудження може призвести до виникнення явища резонансу напруг, що є небезпечним як для обмотки збудження, так і для двигуна в цілому з причини зумовлених резонансом недопустимо великих струмів та електромагнітного моменту. Отже проблема

дослідження процесів, які виникають в синхронних електроприводах у разі вмикання в обмотку збудження конденсаторів, має важливе практичне значення.

Спосіб підвищення пускового електромагнітного моменту шляхом вмикання в обмотку збудження ЯСД конденсаторів відомий в літературі давно, однак проблема математичного моделювання процесів, якими супроводжується їх асинхронний пуск, залишається не вирішеною до цих пір. В основному це зумовлено тим, що дослідження процесів, які протікають при такому способі пуску, проводились на спрощених математичних моделях, в основу яких покладено класичні заступні схеми двигуна [6, 7], що апіорі потребує експериментальної перевірки. Проте, експерименти на ЯСД великої потужності надто коштовні, а деякі з них з технічних причин неможливо здійснити. Уточнення розрахунків на основі використання ланцюгових багатоконтурних заступних схем [1] не є універсальним, оскільки прив'язаний до конкретного електроприводу, а тому не вирішує проблеми адекватності результатів розрахунку. Отже методи аналізу, які мають в своїй основі як класичні, так і удосконалені заступні схеми АД не забезпечують достовірності визначення параметрів в динамічних режимах, а похибки у параметрах можуть призвести до неправильних результатів.

Як відомо, умова резонансу визначається параметрами електричного кола, зокрема обмотки збудження, яка працює не ізольовано, а в системі складних електромагнітних зв'язків з іншими контурами двигуна, які здійснюють взаємні переміщення. Тому проблема вибору ємності пускових конденсаторів для вмикання в обмотку збудження потребує розрахунку цих параметрів з високою достовірністю, що можна здійснити лише з використанням розвинутих математичних моделей ЯСД, які забезпечують високу достовірність результатів математичного експерименту, незалежно від типу двигуна, його габаритів та параметрів.

**Метою роботи** є розроблення математичної моделі, яка дає можливість виявляти і досліджувати резонансні режими під час пуску ЯСД з конденсаторами в контурі обмотки збудження.

**Алгоритм розв'язування задачі.** Розглянемо ЯСД, обмотка статора якого живиться від трифазної мережі, на роторі розміщена пускова обмотка та обмотка збудження, яка на час асинхронного пуску закорочена на конденсатори. Процеси розглядаються в координатних осях  $d, q$ , причому реальна обмотка ротора еквівалентується двома контурами за загальноприйнятою методикою. В результаті електрична схема ЯСД має три контури ( $d, f, D$ ) по поздовжній осі і два ( $q, Q$ ) – по поперечній, між якими внаслідок наведення магнітопроводу існують взаємоіндуктивні зв'язки.

Електромагнітні процеси в ЯСД у разі замикання однофазної обмотки збудження на конденсатори ємністю  $C$  описуються нелінійною системою диференціальних рівнянь (ДР) електромагнітної рівноваги контурів, яка описує асинхронний режим в осях  $d, q$

$$\begin{aligned} \frac{d\psi_d}{dt} &= -\omega_0(1-s)\psi_d - r_i i_d + u_d; \\ \frac{d\psi_D}{dt} &= -r_D i_D; \\ \frac{d\psi_Q}{dt} &= -r_Q i_Q; \\ \frac{d\psi_f}{dt} &= -r_f i_f + u_k; \\ \frac{du_k}{dt} &= \frac{i_f}{C}, \end{aligned} \quad (1)$$

де індексами  $D$  та  $Q$  позначено величини, що стосуються еквівалентних контурів пускової обмотки;  $\psi_d, \psi_q, \psi_D, \psi_Q, \psi_f, i_d, i_q, i_D, i_Q, i_f$  – потокозчеплення та струми еквівалентних контурів;  $s = (\omega_0 - \omega) / \omega_0$ ;  $\omega_0, \omega$  – частота напруги живлення обмотки статора та кутова частота ( $c^{-1}$ ) обертання ротора;  $u_d = U_m \sin \theta$ ,  $u_q = U_m \cos \theta$ ,  $\theta$  – кут вибігу ротора,  $U_m$  – амплітудне значення фазної напруги статора,  $u_k$  – напруга на конденсаторі в колі обмотки збудження.

Внаслідок періодичної зміни кута  $\theta$  в усталеному асинхронному режимі ЯСД з ковзанням ротора  $s = s_0$  потокозчеплення, струми, напруга на конденсаторах обмотки збудження змінюються за періодичним законом з періодом

$$T_a = 2\pi / (s\omega_0).$$

Отже задача розрахунку стаціонарного режиму при постійному ковзанні полягає у визначенні цих періодичних залежностей. Як відомо [3, 8], її можна розв'язати з мінімальним обсягом обчислень шляхом розв'язування крайової задачі з періодичними крайовими умовами.

З метою скорочення викладення алгоритму розрахунку періодичних залежностей координат режиму на періоді  $T_a$  запишемо систему ДР (1), одним векторним рівнянням

$$\frac{d\vec{y}}{dx} = \vec{z}(\vec{x}, \vec{y}, \vec{u}), \quad (2)$$

де відповідні вектори мають такий зміст:

$$\vec{y} = \begin{pmatrix} \psi_d \\ \psi_q \\ \psi_D \\ \psi_Q \\ \psi_f \\ u_k \end{pmatrix}; \quad \vec{x} = \begin{pmatrix} i_d \\ i_q \\ i_D \\ i_Q \\ i_f \\ u_k \end{pmatrix}; \quad \vec{u} = \begin{pmatrix} u_d \\ u_q \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix};$$

$$\vec{z} = \begin{pmatrix} u_d + \omega_0(1-s)\psi_q - r_i i_d \\ u_q - \omega_0(1-s)\psi_d - r_i i_q \\ -r_D i_D \\ -r_Q i_Q \\ u_k - r_f i_f \\ i_f / C \end{pmatrix}.$$

Здійснивши апроксимацію координат рівняння (2), яким описується усталений асинхронний режим ЯСД, на сітці  $n+1$  вузлів періоду  $T_a$  сплайнами третього порядку у відповідності з викладеним в [3]

з кроком  $h = T_a/n = 2\pi/(s\omega_0 n)$ , отримаємо алгебричний аналог ДР (2)  $m = 6$ -го порядку у вигляді нелінійного алгебричного рівняння  $nm$ -го порядку

$$H\vec{Y} - D\vec{Z} = 0, \quad (3)$$

де  $\vec{Y} = (y_1, \dots, y_n)^*$ ;  $\vec{Z} = (z_1, \dots, z_n)^*$ ;  $H, D$  – матриці переходу від неперервної зміни координат до їх дискретних (вузлових) значень, елементи яких визначаються апроксимацією періодичних залежностей координат кубічними сплайнами [3].

Алгебричне рівняння (3) є дискретним аналогом нелінійної системи ДР (2). Її розв'язком є значення вектора

$$\vec{X} = (x_1, \dots, x_n)^*,$$

$$\vec{x} = (i_{dj}, i_{qj}, i_{Dj}, i_{Qj}, i_{fj}, u_{kj})^* \quad j = 1, \dots, n.$$

До системи (3) входять значення координат, які відповідають фіксованим значенням часової координати  $t$  у вузлах періоду, залежності між якими в кожний момент часу нелінійні. Для розв'язування нелінійної алгебричної системи (3) застосовується метод продовження по параметру в поєднанні з ітераційним методом Ньютона. Вимушуючою силою (збудженням) в рівнянні (3) є вектор  $\vec{U} = (u_1, \dots, u_n)^*$  дискретних значень прикладених напруг, де

$$\vec{u}_j = (\sqrt{2}U \sin \theta_j, \sqrt{2}U \cos \theta_j, 0, 0, 0, 0)^*,$$

нарощуючи який від нуля до заданого значення, отримуємо значення векторів  $\vec{Y}$  та  $\vec{X}$ , які відповідають заданому значенню ковзання  $s = s_0$ .

Дослідження впливу величини  $C$  ємності конденсаторів на усталений асинхронний режим здійснюється диференціальним методом. Для цього систему (3) диференціюємо по  $C$ . У результаті отримаємо ДР аргументу  $C$  вигляду

$$W \frac{\partial \vec{X}}{\partial C} = D\vec{U}, \quad (4)$$

де  $W$  – матриця Якобі системи (3).

Для отримання багатовимірної статичної характеристики як залежності вузлових значень координат

режиму роботи ЯСД від  $C$  необхідно систему ДР (4) проінтегрувати числовим методом [3, 8]. На кожному крокові інтегрування вектор похідних  $\partial \vec{X} / \partial C$  визначається шляхом розв'язування рівняння (4), що дає змогу звести її числовим методом до форми Коші. Елементами блоків матриці Якобі є диференціальні індуктивні опори контурів двигуна, які визначаються шляхом розрахунку магнітного кола ЯСД згідно з прийнятою моделлю [8]. Основою їх розрахунку є визначення кривої магнітного поля в повітряному проміжку двигуна методами теорії кіл, що дає змогу визначити потокозчеплення контурів, які входять до вектора нев'язок і залежать від сукупності струмів усіх контурів двигуна.

Приклади виконаних за викладеним вище алгоритмом результатів розрахунку періодичних процесів в усталеному асинхронному режимі та пускових статичних характеристик за умови закорочення обмотки збудження на конденсатори для двигуна СДНЗ-2-19-49-24 ( $P = 1600$  кВт,  $U_l = 600$  В,  $I = 180$  А;  $I_z = 230$  А;  $2p=24$ ) наведені на рис. 1, *a, b* та 2, *a-f*.

Із зображених на рис. 1 залежностей електромагнітного моменту та діючого значення струму статора від величини ємності конденсатора в обмотці збудження ЯСД при ковзанні  $s = 1$  видно, що при  $C = 50$  мкФ виникає резонансний режим, в результаті чого момент стає від'ємним, струм набуває недопустимо великого значення і пуск двигуна стає неможливим. Поза тим, ЯСД має задовільні пускові властивості при значенні ємності конденсаторів  $C = 45$  мкФ. Кратність рушійного електромагнітного моменту стосовно номінального значення за такої ємності складає  $M^* = 3,48$ . На рис. 2 наведені періодичні залежності електромагнітного моменту, напруги на конденсаторі та струму збудження при двох значеннях ємності конденсаторів:  $C = 45$  мкФ і  $C = 50$  мкФ, з яких видно, що у разі резонансу ( $C = 50$  мкФ) напруга на конденсаторі та струм збудження багатократно перевищують номінальні значення. Крім того, струм обмотки збудження за відсутності резонансу має різко виражену третю гармоніку, яка відсутня в резонансному режимі.

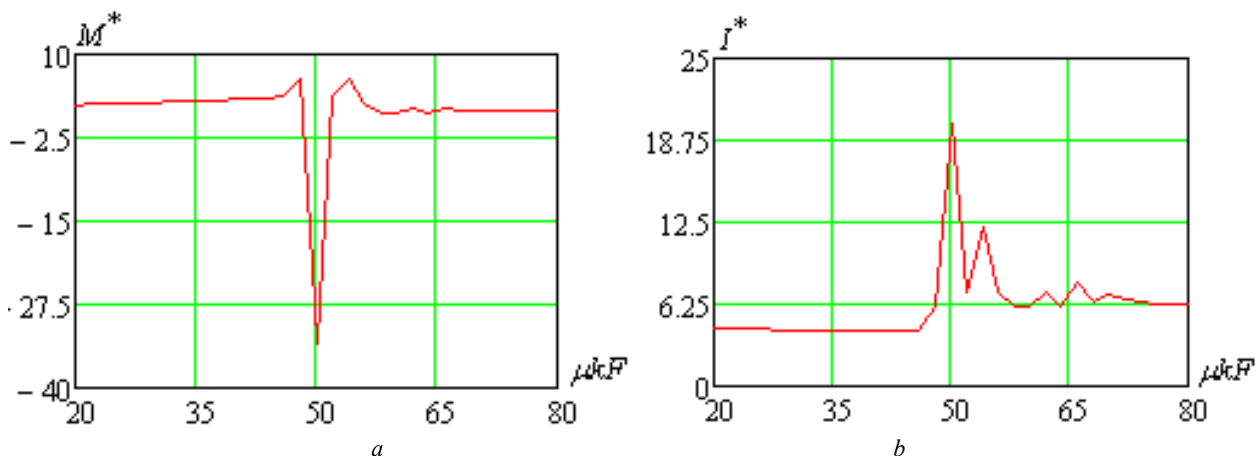


Рис. 1. Залежності рушійного ( $s=1$ ) електромагнітного моменту (*a*) та діючого значення струму якоря (*b*) від величини ємності конденсатора в обмотці збудження двигуна: *a*)  $C = 50$  мкФ, *b*)  $C = 45$  мкФ

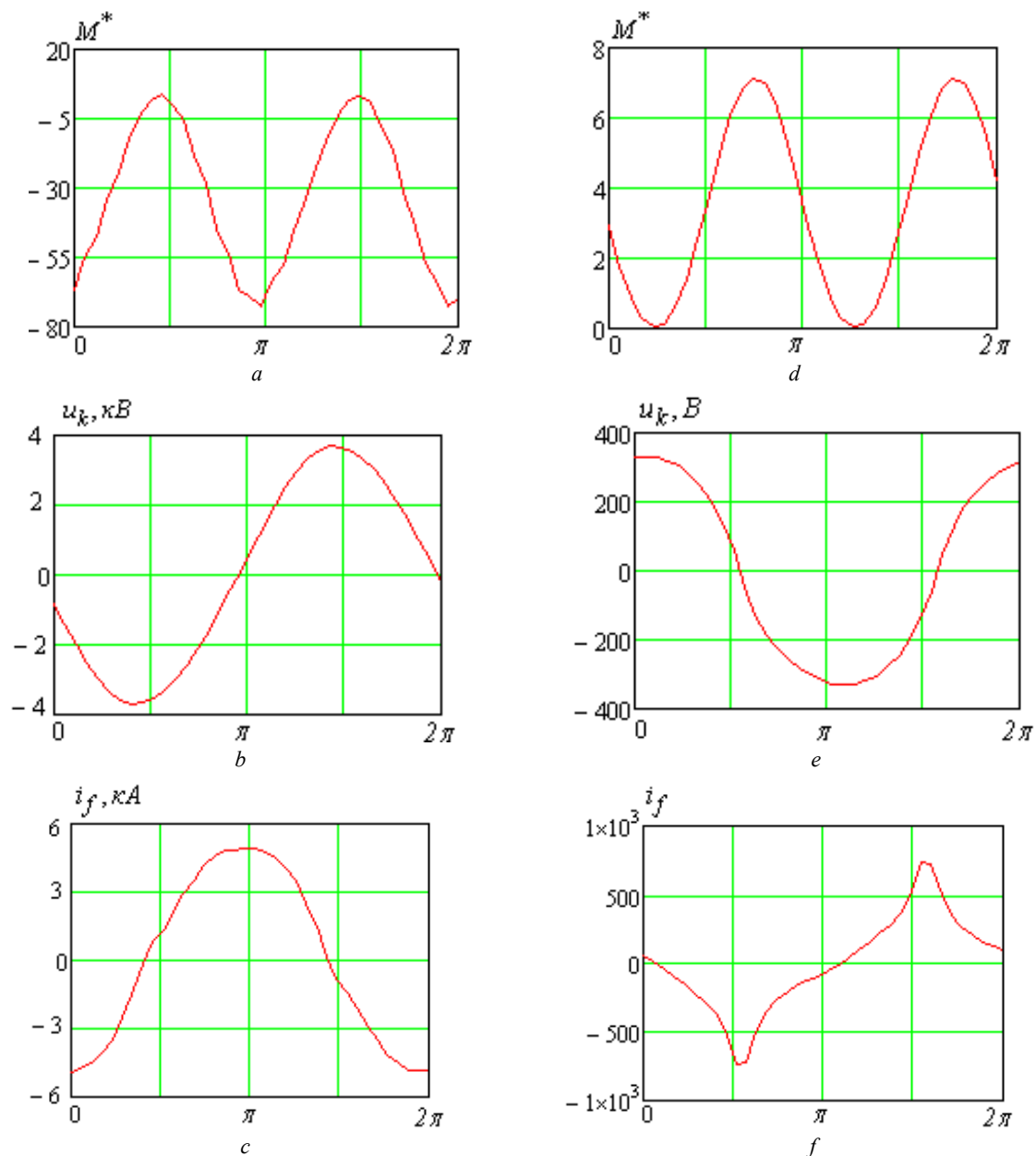


Рис. 2. Періодичні залежності електромагнітного моменту, напруги на конденсаторі та струму збудження при ковзанні  $s = 1$  і двох значеннях ємності конденсатора в обмотці збудження  $C = 50$  мкФ (a-c) та  $C = 45$  мкФ (d-f)

### Висновки.

1. За допомогою вмикання конденсаторів в обмотку збудження можна значно підвищити рушійний електромагнітний момент ЯСД. Однак вибір необхідного для покращення пускових властивостей ЯСД значення ємності конденсаторів потребує перевірки поведінки двигуна в пускових режимах, оскільки при цьому може викати резонанс в обмотці збудження, який призводить до непомірного зростання струмів усіх контурів і від'ємного значення пускового моменту, який за абсолютним значенням набагато перевищує номінальне значення, і пуск двигуна стає неможливим.

2. Дослідити роботу ЯСД з конденсаторами в обмотці збудження в асинхронному режимі з високою адекватністю можна лише на основі повної системи ДР, яка описує динамічний режим роботи. Це дає можливість здійснити багатоваріантний аналіз роботи

електроприводу в пускових режимах методами математичного моделювання.

3. Запропонований алгоритм і складена на його основі програма розрахунку ustalених режимів і статичних асинхронних характеристик ЯСД в пусковому режимі, дають змогу досліджувати динаміку процесів пуску двигуна з різними значеннями ємності конденсаторів і виявляти можливість виникнення явища резонансу з метою їх запобігання. В основу алгоритму розрахунку покладена математична модель двигуна високого рівня адекватності, в якій враховується нелінійність електромагнітних зв'язків між контурами ЯСД, розподілений уздовж розтки статора характер магнітної індукції в повітряному проміжку.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бородай В.А. Рациональні параметри і пускові властивості синхронних двигунів з важкими умовами пуску: авто-

реф. дис... канд. техн. наук: 05.09.01 «Електричні машини і апарати». – Львів, 2009. – 19 с.

2. Мальяр В.С., Мадай В.С., Добушовська І.А. Залежність пускового моменту синхронного двигуна від типу та величини опору в обмотці збудження // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – 2012. – №3(19). – С. 99-101.

3. Мальяр В.С., Мальяр А.В. Математическое моделирование периодических режимов работы электротехнических устройств // Электронное моделирование. – 2005. – Т.27. – №3. – С. 39-53.

4. Мальяр В.С., Мальяр А.В., Добушовська І.А. Моделирование асинхронных режимов синхронного двигателя с конденсаторами в цепи обмотки возбуждения // Электротехника и электромеханика. – 2012. – №5. – С. 31-33. doi: 10.20998/2074-272X.2012.5.06.

5. Мальяр В.С., Мальяр А.В., Добушовська І.А. Статичні характеристики синхронного двигуна з конденсаторами в колі збудження // Технічна електродинаміка. – 2012. – №1. – С. 57-62.

6. Пивняк Г.Г., Кириченко В.И., Бородай В.А. О новом направлении усовершенствования крупных синхронных электродвигателей // Технічна електродинаміка. Темат. вип. «Проблеми сучасної електротехніки». – 2002. – Ч.2. – С. 62-65.

7. Пивняк Г.Г., Кириченко В.И., Бородай В.А., Петров А.Г. Выбор и компоновка внешних конденсаторов синхронных двигателей с обмоткой возбуждения специальной конструкции // Материалы международной научно-технической конференции «Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика», (Харьков, 2002). – Х.: НТУ «ХПИ», 2002. – С. 171-173.

8. Фильц Р.В., Лябук Н.Н. Математическое моделирование явнополюсных синхронных машин. – Львов: Світ, 1991, – 176 с.

#### REFERENCES

1. Boroday V.A. *Racional'ni parametry i puskovi vlastyivosti synhronnykh dyvguniv z vazhkyu umovamy pusk.* Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk [Rational parameters and starting properties of synchronous motors with heavy start conditions. Abstracts of cand. tech. sci. diss.]. Lviv, 2009. 19 p. (Ukr).
2. Malyar V.S., Mada V.S., Dobushovska I.A. The dependence of a synchronous motor starting torque on the type and value of the resistance in its excitation winding. *Electromechanical and energy saving systems*, 2012, no.3(19), pp. 99-101. (Ukr).
3. Malyar V.S., Malyar A.V. Mathematical modeling of periodic modes of operation of electrical devices. *Electronic Modeling*, 2005, vol.27, no.3, pp. 39-53. (Rus).
4. Malyar V.S., Malyar A.V., Dobushovska I.A. Simulation of asynchronous modes of synchronous motors with capacitors in the excitation circuit. *Electrical engineering & electromechanics*, 2012, no.5, pp. 31-33. (Ukr). doi: 10.20998/2074-272X.2012.5.06.
5. Malyar V.S., Malyar A.V., Dobushovska I.A. Static characteristics of synchronous motor with capacitors in excitation circuit. *Tekhnichna elektrodynamika*, 2012, no.1, pp. 57-62. (Ukr).
6. Pivnyak G.G., Kirichenko V.I., Borodaj V.A. About new direction in improvement large synchronous electric motors. *Technical electrodynamics. Thematic issue «Problems of modern electrical engineering»*. 2002, chapter 2, pp. 62-65. (Rus).
7. Pivnyak G.G., Kyrychenko V.Y., Borodaj V.A., Petrov A.G. Selection and arrangement of external capacitors of synchronous motors with excitation winding of special design. *Materialy mezhd. nauchn.-tekhn. konf. «Problemy avtomatizirovannogo elektroprivoda. Teoriia i praktika»* [Proceedings of the Int. Sci.-Techn. Conf. «Problems of automated electric drive. Theory and practice»]. Kharkov, 2002, pp. 171-173. (Rus).
8. Filc R.V., Ljabuk N.N. *Matematicheskoe modelirovanie iavnopoliusnykh sinkhronnykh mashin* [Mathematical simulation

of explicitly polarized synchronous machines]. Lvov, Svit Publ., 1991. 176 p. (Rus).

Надійшла (received) 25.05.2017

Мальяр Василь Сафронович<sup>1</sup>, д.т.н., проф.,  
Мадай Володимир Степанович<sup>1</sup>, к.т.н., доц.,  
Кенс Ігор Романович<sup>2</sup>, к.т.н., доц.,  
<sup>1</sup> Національний університет «Львівська політехніка»,  
79013, Львів, вул. С. Бандери, 12,  
тел/phone +380 32 2582119,  
e-mail: mvs@polynet.lviv.ua, volodymyr.s.madai@lpnu.ua  
<sup>2</sup> Національний лісотехнічний університет України,  
79057, Львів, вул. ген. Чупринки, 103,  
e-mail: ikens@mail.ru

V.S. Malyar<sup>1</sup>, V.S. Mada V<sup>1</sup>, I.R. Kens<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Lviv Polytechnic National University,  
12, S. Bandera Str., Lviv, 79013, Ukraine.

<sup>2</sup> Ukrainian National Forestry University,  
103, Gen. Tchuprynky Str., Lviv, 79057, Ukraine.

#### Resonant processes in starting modes of synchronous motors with capacitors in the excitation windings circuit.

**Purpose.** Development of a mathematical model that enables to detect resonance modes during asynchronous startup of salient-pole synchronous motors, in which capacitors are switched on to increase the electromagnetic moment in the circuit of the excitation winding. **Methodology.** The asynchronous mode is described by a system of differential equations of the electric equilibrium of motor circuits written in orthogonal coordinate axes. The basis of the developed algorithm is the mathematical model of the high-level adequacy motor and the projection method for solving the boundary value problem for the equations of the electric equilibrium of the circuits written in orthogonal coordinate axes, taking into account the presence of capacitors in the excitation winding. The coefficients of differential equations are the differential inductances of the motor circuits, which are determined on the basis of the calculation of its magnetic circuit. As a result of the asymmetry of the rotor windings in the asynchronous mode, the current coupling and currents change according to the periodic law. The problem of its definition is solved as a boundary one. **Results.** A mathematical model for studying the asynchronous characteristics of synchronous motors with capacitors in an excitation winding is developed, by means of which it is possible to investigate the influence of the size of the capacity on the motor's starting properties and the resonance processes which may arise in this case. **Scientific novelty.** The developed method of mathematical modeling is based on a fundamentally new mathematical basis for the calculation of stationary dynamic modes of nonlinear electromagnetic circuits, which enables to obtain periodic coordinate dependencies, without resorting to the calculation of the transients. The basis of the developed algorithm is based on the approximation of state variables by cubic splines, the projection method of decomposition for the boundary value problems of the calculation of the established periodic modes and the differential method of calculating static characteristics. **Practical value.** Using the developed algorithm of calculation it is possible to determine the required capacitances of the capacitors in the excitation winding to start the synchronous motor and to investigate the possibility of occurrence of the resonance at startup with the selected capacitance value of the capacitors by calculating the static characteristics as a sequence of asynchronous modes. References 8, figures 2.

**Key words:** salient-pole synchronous motor, capacitors, excitation winding, resonance, static characteristics.