

## ВПЛИВ ДОСТОВІРНОСТІ ВХІДНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОДВИГУНА НА РОЗРАХУНОК СТІЙКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

Єгоров О. Б.<sup>1</sup>, Єгорова О. Ю.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова

<sup>2</sup>Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка

На основі математичного опису характерних кривих вибігу електроприводів з різними типами робочих механізмів, був модифікований метод самогальмування для експериментального визначення моменту інерції електроприводів.

**Постановка проблеми.** Загальне поняття стійкості вузла електричного навантаження можна характеризувати в такий спосіб: стійкість вузла електричного навантаження - здатність вертатися до вихідного робочого режиму після різного роду коливань. Під вузлом електричного навантаження розуміється секція шин розподільного пристрою й сукупність підключених до неї електроприймачів, об'єднаних у єдину електротехнічну систему. Є статична й динамічна стійкість вузла електричного навантаження.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Статична стійкість вузла електричного навантаження — здатність вертатися до вихідного режиму, що встановився, після малих необмежених за часом коливань [1]. При порушенні статичної стійкості у вузлах електричного навантаження системи електропостачання виникає явище зниження напруги, після закінчення коливань повернення системи у вихідний робочий режим не відбувається.

Динамічна стійкість вузла електричного навантаження - здатність вертатися до вихідного робочого режиму після більш великих коливань певної величини й тривалості [1].

Під коливаннями розуміються провали напруги. У роботі розглядаються симетричні провали напруги, найчастіше обумовлені найбільш важкими - трифазними короткими замиканнями. Область можливих параметрів коливання (глибина провалу або залишкова напруга й тривалість провалу) ділиться границею стійкості на області стійкості й нестійкості вузла електричного навантаження. Область стійкості це зона значень параметрів режиму вузла електричного навантаження, при якому стійкість його при даному коливанні забезпечена. У зазначеній області виділяють границі статичної й динамічної стійкості [2]. Стійкість вузлів навантаження з електричними двигунами визначається динамікою електромеханічних процесів електроприводів. Динаміка механічних процесів електроприводів залежить від моментів опорів відповідних робочих механізмів. Метою статті є аналіз пристрою захисного відключення, що містить диференційний трансформатор струму та створення алгоритму розрахунку мінімальної стандартної ємності конденсаторів цього пристрою при заданих параметрах мережі.

Відомі методи визначення моменту інерції обертової частини електропривода [3, 4]. Основними з них є: метод крутильних коливань; метод допоміжного маятника; метод самогальмування.

**Мета статті.** Таким чином для експериментального визначення показників інерційності електропривода доцільно модифікувати метод самогальмування, доповнивши його розрахунком характеру кривих вибігу залежно від типу робочого механізму електропривода.

**Основні матеріали дослідження.** Помилки у визначенні моментів інерції електроприводів можуть приводити до істотних помилок, у визначенні одного із двох основних параметрів стійкості - часу динамічної стійкості  $t_0$  (максимально допустимий час до порушення динамічної стійкості при провалі напруги джерела до нуля). Істотний вплив на параметри статичної й динамічної стійкості виявляє й завантаження електродвигунів. Проблема вірогідності визначення параметрів електроприводів, а отже й вірогідності результатів розрахунків стійкості, збільшується тим, що багатомашинні електротехнічні системи промислових комплексів включають багато десятків потужних електродвигунів на напругу вище 1 кВ і сотні електродвигунів на напругу нижче 1 кВ [5, 6].

Параметри стійкості електротехнічних систем значною мірою визначаються значеннями вихідних параметрів елементів систем електропостачання. Значний вплив на стійкість виявляють момент інерції електроприводів і завантаження електродвигунів. Так, динамічна стійкість вузлів електричного навантаження найбільше суттєво залежить від інерційних властивостей електроприводів. Наочний вплив інерційних властивостей електроприводів на стійкість вузлів як з однорідним, так і з неоднорідним навантаженням (тестові приклади) можна продемонструвати за допомогою графіків границь стійкості, представлених на рис. 1 і 2 відповідно.

У якості показника інерційності при розрахунках електромеханічних процесів використовують момент інерції електропривода  $J$  або механічну (електромеханічну) постійну  $\tau_j$ . Зазначені величини зв'язані між собою через паспортні дані двигуна відомим вираженням (1)

$$\tau_j = \tau_{j\text{ном}}/k_3 = \tau/k_3 M_{\text{ном}} \approx k/k_3 P_{\text{ном}}, \quad (1)$$

де  $\omega$  – синхронна частота обертання;

$M_{\text{ном}}$ ,  $P_{\text{ном}}$  – номінальний момент і потужність двигуна;

$k_3$  – коефіцієнт завантаження двигуна.

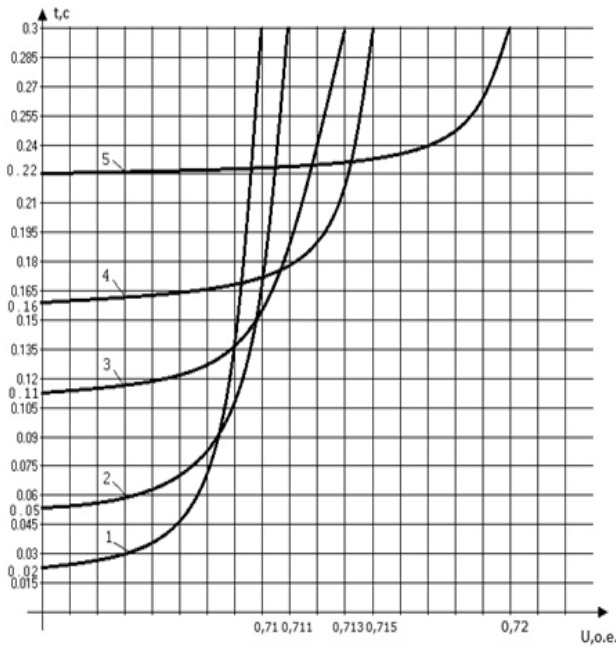


Рисунок 1 – Границі стійкості вузла з однорідним навантаженням: 1 –  $J=20$  кг\*м; 2 –  $J=50$  кг\*м; 3 –  $J=100$  кг\*м; 4 –  $J=150$  кг\*м; 5 –  $J=200$  кг\*м

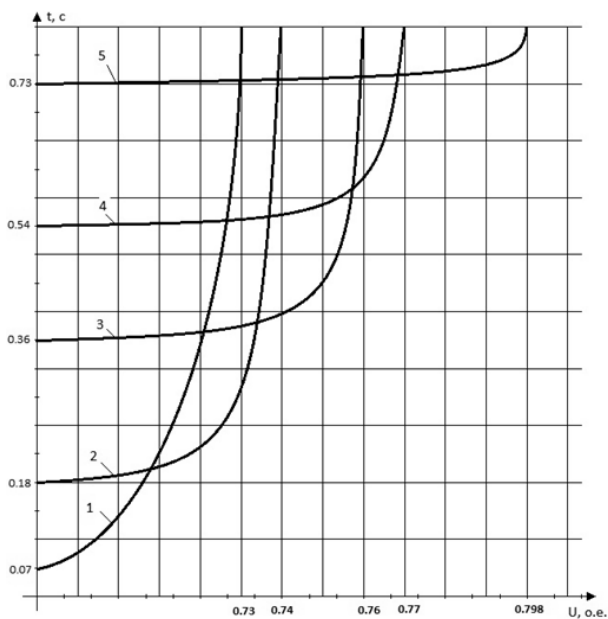


Рисунок 2 – Границі стійкості вузла з неоднорідним навантаженням: 1 –  $J=20$  кг\*м; 2 –  $J=50$  кг\*м; 3 –  $J=100$  кг\*м; 4 –  $J=150$  кг\*м; 5 –  $J=200$  кг\*м

Рівняння динаміки електропривода може бути виражене як через момент інерції, так і через механічну постійну (2)

$$Jd\omega = (m_d - m_c)M_{ном} \quad (2)$$

де  $\omega$  – кутова частота обертання;  
 $m_d, m_c$  – моменти двигуна й робочого механізму в в.о.;  
 $M_{ном}$  – номінальний момент двигуна в іменованих одиницях.

З урахуванням (1 і 2) і вираження  $\omega = \omega_1(l - s)$ , де  $s$  – ковзання привода, одержимо (3)

$$-\tau_{Jном} \frac{\tau}{dt} \quad (3)$$

або у відносних одиницях (з урахуванням  $\omega_1 = 1$ ) (4)

$$\tau_{Jном} \frac{\tau}{dt} \quad (4)$$

Досить точно визначити механічну постійну електропривода можна експериментальним шляхом – визначити досвідчену криву вибігу (графіка зміни швидкості електропривода після відключення двигуна від джерела живлення). Характер кривих вибігу залежить від виду характеристики моменту опору робочого механізму, що показано на рис. 3.

У відносних одиницях вираження для моменту опору робочих механізмів маємо вигляд (5)

$$m_c = m_0 + (m_3 - m_0)\omega^\gamma \quad (5)$$

де  $m_0, m_3$  – момент рушання й робочий момент відповідно.

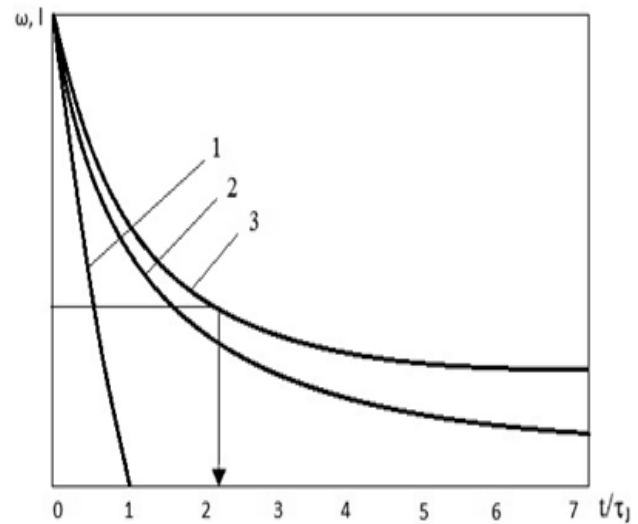


Рисунок 3 – Приклади кривих вибігу (1 – поршневий механізм, 2 – кранові механізми, 3 – відцентрові механізми)

У відносних одиницях можна вважати  $m_3 = k_3$ .

Для механізмів з постійним моментом опору (поршневий компресори, насоси й т.п.) рівняння (4) з обліком (45) і  $\gamma=0$  придбає вид (6)

$$\tau d\omega = m_3 \quad (6)$$

Його рішення має вигляд (7)

$$\omega_1 - \frac{m_3 t}{\tau_{Jном}} = 1 - t\tau_j \quad (7)$$

Звідси (8)

$$\tau_j = \tau(1 - \omega) \quad (8)$$

Аналогічно отримане:

для механізмів з лінійною характеристикою ( $\gamma_1$ ) (9)

$$\tau = -t \ln \omega, \quad (9)$$

для відцентрових механізмів ( $\gamma_2$ ) (10)

$$\tau_j = \tau / (1 - \omega). \quad (10)$$

Отримані вирази (8) - (10) дозволяють оцінити механічні постійні приводів, а отже й моменти інерції по кривих вибігу, які можуть бути визначені експериментальним шляхом. Проведені порівняння результатів за даними більш точних методів показує, що точність модифікованого методу визначення моменту інерції не перевищує встановленого межі в 15%.

При завантаженні двигуна по струму на 0,7 і більш  $\eta = \eta_{ном}$ , при завантаженні по струму нижче 0,7 рекомендується використовувати поправочний коефіцієнт:  $\eta = k\eta_{ном}$ . Рекомендовані значення поправочних коефіцієнтів дано в табл. 1.

Таблиця 1 – Рекомендовані значення поправочних коефіцієнтів

$I_i / I_{ном}$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.6	$\geq 0.7$
$k_\eta$	0.48	0.68	0.79	0.86	0.97	1.0
$k_{cos}$	0.57	0.75	0.84	0.91	0.99	1.0

Зважаючи на те, що загальне число двигунів на виробництвах велике, масове використання даного методу в промисловості неможливе. Тому для визначення коефіцієнта завантаження двигунів на напругу нижче 1 кВ, якщо відповідні живильні гнізда розподільних пристроїв безпосередньо не оснащені пристроями виміру потужності, доцільно використовувати метод визначення фактичного коефіцієнта завантаження через відповідний фіктивний коефіцієнт. Як зазначено вище, фіктивний коефіцієнт визначається відношенням вимірюваного струму, до номінального струму.

**Висновки.** Проведені дослідження дозволяють говорити про те, що завантаження електродвигунів суттєво впливає на стійкість вузлів електричного навантаження. При розрахунках параметрів стійкості, необхідно знати фактичне завантаження електродвигунів.

Коефіцієнт завантаження двигуна при розрахунках перехідних процесів повинен визначатися, як відношення моменту опору до номінального моменту двигуна. Визначення моменту опору в умовах експлуатації неможливо, тому фактичний коефіцієнт завантаження повинен визначатися, як відношення активної потужності двигуна до його номінальної потужності.

## Список використаних джерел

1. Ершов М. С. Методика определения границ устойчивости, показателей надежности и выбора параметров защит узлов электрической нагрузки систем электроснабжения / М. С. Ершов, А. В. Егоров, И. В. Белоусенко и др. – М.: Энергия, 2001 г.
2. Егоров О. Б. До питання розрахунку динамічних режимів електричної системи / О. Б. Егоров // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних сил. – 2010. – № 4. – С. 172-174.
3. Жерве Г. К. Промышленные испытания электрических машин / Г. К. Жерве. – Л.: Энергоатомиздат, 1984 г.
4. Михайлов О. П. Динамика электромеханического привода / О. П. Михайлов. – М.: Машиностроение, 1989 г.
5. Голодное Ю. М. Самозапуск электродвигателей. - 2-е изд., перераб. и доп / Ю. М. Голодное. – М.: Энергоатомиздат, 1985 г.
6. Егоров О. Б. Вибір місць встановлення пристроїв компенсації реактивної потужності в електричній мережі / О. Б. Егоров // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2016. – № 175. – С. 23-24.

## Аннотация

### ВЛИЯНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ ВХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ НА РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Егоров А. Б., Егорова О. Ю.

*На основе математического описания характерных кривых выбега электроприводов с различными типами рабочих механизмов, был модифицирован метод самоторможения для экспериментального определения момента инерции электроприводов.*

## Abstract

### THE EFFECT OF THE RELIABILITY OF THE INPUT PARAMETERS OF THE ELECTRIC MOTOR ON THE CALCULATION OF THE STABILITY OF ELECTRIC POWER SYSTEMS

O. Iegorov, O. Iegorova

*Based on the mathematical description of characteristic run-out curves for electric drives with various types of working mechanisms, the self-braking method was modified to experimentally determine the moment of inertia of electric drives.*