

УДК 621.313.33

## АНАЛІЗ ДИНАМІЧНОЇ СТІЙКОСТІ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПРИ ВІДХИЛЕННІ НАПРУГИ

Лисиченко М.Л., д.т.н.,

Гузенко В.В., аспірант.\*

*Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенка*

Тел. (057)712-50-56

**Анотація** – визначені показники динамічної стійкості та обґрунтовані динамічні перехідні властивості асинхронного двигуна, які впливають на стійкість системи електропривод-робоча машина (ЕП-РМ), на прикладі насосної станції Краснопавлівського водоканалу.

**Ключові слова** – динамічна стійкість, аварійний режим, робоча точка, електропривод.

*Постановка проблеми.* Електропривод, як основний силовий споживач у міському, так і у сільському господарстві, базується на раціональному суміщенні електромеханічних властивостей двигуна та робочої машини (РМ). Відомо, що асинхронні двигуни (АД) бувають різних модифікацій і їх механічні властивості мають відмінності. Тому, що в залежності від двигунів загального призначення, виготовлені з нормальною характеристикою, існують модифікації з підвищеним пусковим моментом і ковзанням [1].

В сучасному агропромисловому комплексі асинхронний електропривод застосовується: в технологічних процесах в переробці зерна, на підйомно-транспортних установках, в вентиляційних установках, в насосних станціях та ін. [2].

Як показує аналіз сучасної науково-технічної літератури, механізми, які приводяться в рух асинхронним двигуном з різними модифікаціями, можуть працювати продуктивно і економічно тільки тоді, коли властивості двигуна задовольняють вимогам механізму [2]. Тому, знання електромеханічних властивостей асинхронного двигуна необхідно для проектування і експлуатації електроприводу машин і механізмів.

Із всіх приймачів електричної енергії асинхронні двигуни найбільш чутливі до викривлення синусоїди підведеної напруги. Так, якщо

---

\* Науковий керівник – д.т.н. Лисиченко М.Л.

© д.т.н. Лисиченко М.Л., аспірант Гузенко В.В.

у вентиляційних установках зміна параметрів мережі і не завдасть великих шкідливих наслідків [3], то на деяких робочих машинах слід вдосконалити методики її аналізу. Враховуючи, що насосні станції Краснопавлівського водосховища – це комплекс однотипних механізмів, які працюють на загальну магістраль, то число механізмів, які одночасно включаються на спільну роботу, в першу чергу, залежить від необхідної продуктивності станції. При появі викривлення або при зниженні живлячої напруги змінюються, як електромеханічні, так і механічні властивості двигуна. Тому, проведення аналізу динамічної стійкості системи ЕП-РМ є важливою задачею перед впровадженням в дію АД.

*Аналіз останніх досліджень.* Відомі теоретичні і експериментальні дослідження поведінки двигунів при зміні напруги живлення, головним чином роботи: І.І. Мартиненко, М.М. Якіменка, О.А. Некрасова, Г.Г. Рекуса, О.Л. Церазова, а також ряд більш ранніх робіт дозволяють припустити, що при змінених параметрах напруги можна очікувати появи в двигунах електроприводів помітних додаткових втрат активної потужності і відповідно погіршення їх теплового режиму в порівнянні із роботою при тому ж механічному навантаженні. Можна також очікувати періодичного виходу з ладу двигуна по причині теплового пошкодження ізоляції.

Для оцінки властивостей двигуна дуже часто виникала задача, яка потребує необхідного математичного вирішення за номінальними параметрами. Завдяки існуванню сучасного комп'ютерного забезпечення значно полегшується робота дослідника, наприклад, більшість математичних задач вже мають в загальному вигляді рішення або розрахунок в програмному пакеті Fortran. Більшість таких бібліотек є фактичним досягненням певних вчених, вони доступні у вихідних кодах, гарно документовані, налагоджені та ефективні, але змінювати, а тим більше, переписувати їх на інших мовах програмування складно, незважаючи на те, що регулярно проводяться спроби автоматичного конвертування Fortran-коду на сучасні мови програмування.

*Формулювання мети статті.* Визначити показники динамічної стійкості, обґрунтувати властивості та “поведінку” асинхронного електропривода, які нерозривно пов'язані з необхідністю оцінки ковзання в нормальних і аномальних режимах живлення при квадратично-залежній механічній характеристиці робочої машини.

*Основна частина.* Відомо, що будувати механічні характеристики асинхронних двигунів можна використовуючи різні методики та програмні пакети, але складність в деяких методиках існує.

Для вирішення поставленої задачі за основу рекомендується взяти програмний пакет VisualBasic, алгоритм якої був розроблений на кафедрі Автоматизованих електромеханічних систем ХНТУСГ ім. П. Василенка. На рис. 1 показаний інтерфейс програмного пакету для оцінки механічних та динамічних властивостей двигунів та їх систем.

Комунальне підприємство Краснопавлівський водоканал у Харківській області має складні гідро-технологічні комплекси. Для головного глибинного насосу першого підйому в процесі технічної експлуатації виникає необхідність дослідити його стійкість при можливій зміні параметрів мережі.

У використаній програмі задаються вихідні номінальні дані асинхронного двигуна та необхідні параметри виконавчого органу робочої машини, отримуємо наступні характеристики (рис. 1).

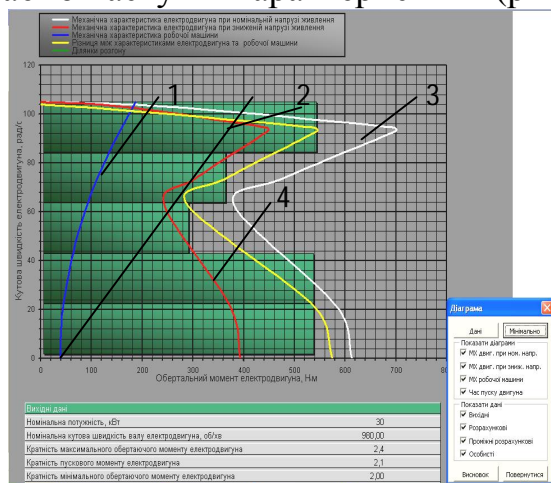


Рис. 1. Механічні характеристики системи ЕП-РМ з визначенням часу пуску двигуна: 1 – квадратично-залежна характеристика робочої машини; 2 – лінійно-залежна характеристика робочої машини; 3 – характеристика АД; 4 – динамічна характеристика системи ЕП-РМ глибинного насосу.

Ковзання у сталому режимі відповідає точці перетину механічних характеристик асинхронного двигуна і робочої машини [5]. З рис. 1 видно, що для різних видів механічних характеристик робочих машин степінь зміни ковзання, при напрузі живлення відмінній по величині від номінального, буде різною. Різні типи механічних характеристик робочих машин (криві 1 і 2 на рис. 1) перетинаються з характеристикою двигуна при  $U_1=U_N$  (крива 3), визначають робочі точки з різними значеннями ковзання  $S_2$  і  $S_3$ .

Для того, щоб знайти величину ковзання для робочої ділянки (ковзання менше критичного) механічної характеристики двигуна скористаємось і рівнянням механічної характеристики робочої машини

$$M_{pm} = M_{co} + (M_{c.ном} - M_{co}) \cdot \left( \frac{\omega}{\omega_{ном}} \right)^x, \quad (1)$$

де  $M_{co}$  і  $M_{c.ном}$  – відповідно пусковий та номінальний моменти робочої машини;  $\omega$  і  $\omega_{ном}$  – поточне і номінальне значення частоти обертання приводного вала робочої машини;  $x$  – показник степеня, характеризує тип механічної характеристики робочої машини.

Оскільки величина обертового моменту асинхронного двигуна пропорційна квадрату прикладеної напруги ( $M_1 \equiv U_1^2$ ), то спрощена формула Клоса в загальному вигляді буде виглядати наступним чином

$$M_{дв} = \frac{2M_{max} \cdot S_{кр} \cdot S}{S_{кр}^2 + S^2} \cdot \left(\frac{U_1}{U_n}\right)^2, \quad (2)$$

де  $M_{max}$  та  $S_{кр}$  – максимальний момент и критичне ковзання двигуна.

У виразі (2) частота обертання двигуна виражена внаслідок ковзання, представлена заміною у виразі (1)  $\omega$  і  $\omega_{ном}$  на ковзання. Для цього скористаємося наступною формулою:

$$\omega = \omega_o(1 - s), \quad (3)$$

де  $\omega_o$  – синхронна частота обертання поля статора.

В результаті вираз (1) набуває вигляду

$$M_{рм} = M_{co} + (M_{с.ном} - M_{co}) \cdot \left(\frac{1 - S}{1 - S_{ном.рм}}\right)^x, \quad (4)$$

де  $S_{ном.рм}$  – ковзання двигуна, що відповідає номінальній частоті обертання вала робочої машини.

Прирівнявши вирази (2) і (3) отримаємо, що

$$\frac{2M_{max} \cdot S_{кр} \cdot S}{S_{кр}^2 + S^2} \cdot \left(\frac{U_1}{U_n}\right)^2 - M_{с.о} - (M_{с.ном} - M_{с.о}) \cdot \left(\frac{1 - S}{1 - S_{ном.рм}}\right)^x = 0. \quad (5)$$

Розв'язання отриманого рівняння відносно ковзання  $S$ , дасть значення ковзання в робочій точці необхідній для розрахунку струмів спожитих двигуном і втрат в ньому. Для розв'язання цього рівняння існує декілька способів: метод ітерацій, метод хорд, метод дотичних.

Як показує аналіз, на основі сучасної науково-технічної літератури, що необхідно визначити шуканий корінь рівняння на інтервалі ковзання  $S \in (0; S_{кр})$ , оскільки режими, робоча точка, яких визначає ковзання, що перевищує критичне значення, відповідає аварійним режимам і потребує негайного виключення двигуна. В процесі експлуатації є вірогідність виникнення ситуації, коли механічні характеристики робочої машини і двигуна не має спільної точки в межах першого (двигунного) квадранта характеристики, режим відповідає короткому замиканню двигуна і потребує негайного відключення двигуна від мережі живлення.

З аналізу рівняння (4) видно, що в функції  $M=f(S)$  шукане значення ковзання буде відповідати точці перетину вісі ковзання.

При  $S_{ном.рм} < S_{кр}$  і  $M_{с.ном} < \left(\frac{U_1}{U_n}\right)^2 M_{max}$ , функція залежності  $M=f(S)$

на кінцях проміжку  $S \in (0; S_{кр})$  має протилежні знаки і відповідно в даному проекті існує, як мінімум, один корінь рівняння (4). В процесі дослідження були отримані позитивні результати, які підтверджують, що більша частина видів робочих машин можуть мати одну робочу точку в до критичних режимах роботи АД. Винятком можуть стати

робочі машини, які мають механічну характеристику з показником  $x = -1$ , які на насосних станціях відсутні.

*Висновки.* Дослідження на основі сучасної науково-технічної літератури показали, знаходження кореня рівняння (4) необхідно проводити, наближаючись до нього за допомогою хорд зі сторони точки  $S=S_{\text{Скр}}$ , а дотичні проводити з боку точки  $S=0$ . Розглянутий метод дає зразу надлишкове (приблизно за допомогою хорд) і недостатнє (приблизно за допомогою дотичних) шукане значення  $S$ , що дозволяє безпосередньо оцінювати степінь точності в процесі розрахунків.

#### Література

1. *Гаврилюк І.А.* Курс лекцій з електроприводу сільськогосподарських машин, агрегатів та потокових ліній / *І.А. Гаврилюк, Ю.М. Хандола*. – Харків: СПДФО Черв'як, 2008. – С.121-152.
2. Електропривод / *О.С.Марченко, Ю.М.Лавріненко, П.І. Савченко, Є.Л. Жулай*; за ред. *О.С. Марченка*. – К.: Урожай, 1995. – 208 с.
3. *Вишне夫斯基 С.Н.* Характеристики двигателів в електроприводі / *С.Н. Вишне夫斯基*. – М.: Энергия, 1977.–432 с.
4. *Кобозев В.А.* Основы энергосбережения в асинхронном электроприводе / *В.А.Кобозев*. – Ставрополь: Высш. шк., 1999.–106 с.

## АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРИ ОТКЛОНЕНИИ НАПРЯЖЕНИЯ

Лисиченко Н.Л., Гузенко В.В.

#### Аннотация

**Определены показатели динамической устойчивости и обоснованы динамические переходные свойства асинхронного двигателя, которые влияют на устойчивость системы электропривод рабочей машина, на примере насосной станции Краснопавловского водоканала.**

## ANALYSIS OF DYNAMIC STABILITY INDUCTION MOTOR DRIVES VOLTAGE DEVIATES

M.Lysychenko, V.Guzenko

#### Summary

**Identify indicators of the stability and justified transitional dynamic properties of an induction motor, which affect the stability of electro-drive-working machine for example, the pumping station Krasnopavlovskogo water utility.**