

УДК 621.311.001.18

В. М. Авраменко, д-р техн. наук, проф.;

Т. М. Гурєва;

Н. Т. Юнєва, канд. техн. наук

## МОДИФІКАЦІЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАВАНТАЖЕННЯ В РОЗРАХУНКАХ СТІЙКОСТІ ЕНЕРГОСИСТЕМ ДЛЯ ВРАХУВАННЯ САМОЗАПУСКУ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ

З використанням кусково-лінійної апроксимації залежності параметрів заступної схеми асинхронного двигуна від ковзання виконано модифікацію динамічних характеристик навантаження у програмному комплексі розрахунку стійкості складних ЕЕС. Використання модифікованої моделі показано на прикладі аналізу стійкості автономної енергосистеми в умовах порушення стійкості асинхронних двигунів навантаження і повернення їх до нормального режиму (самозапуску) після тривалого КЗ і певних дій протиаварійної автоматики.

### Вступ

Динамічні характеристики навантаження (ДХН) є важливим елементом динамічної моделі енергосистеми для розрахунку її динамічної стійкості. В розрахунках стійкості складних енергосистем ДХН є характеристикою комплексного навантаження у вузлах розрахункової схеми і має у своєму складі поряд зі статичними навантаженням еквівалентний асинхронний двигун. Однак у деяких випадках (відокремлення потужної електростанції або дослідження невеликої автономної енергосистеми) є можливість і необхідність передбачати у схемі реальні асинхронні двигуни і враховувати для них режими з порушенням стійкості (гальмуванням та «перевертанням») з наступним самозапуском і відновленням нормального режиму.

### Моделювання асинхронних двигунів в широкому діапазоні зміни ковзання

В розрахунках динамічної стійкості енергосистем нехтують електромагнітними процесами в елементах електричної мережі і для асинхронних двигунів навантаження використовують заступні схеми усталеного режиму. Дуже часто точніша  $T$ -подібна схема іще спрощується і набуває вигляд  $\Gamma$ -подібної схеми, з реактивними опорами намагнічування  $X_{\mu}$  і розсіювання ротора  $X_k$  та активним опором  $r_2/s$ , де  $s$  — ковзання АД (рис. 1).

Режими асинхронних двигунів (АД) у широкому діапазоні зміни швидкості обертання (ковзання) приводять до витіснення струмів у роторі двигуна і, відповідно, до зміни параметрів заступної схеми АД. Зі збільшенням ковзання, іншими словами, частоти струмів у роторі, зростає активний опір  $r_2$  і зменшується індуктивний опір  $X_k$ . Аналіз цих залежностей [1] показує, що прийнятну для цієї задачі точність може дати кусково-лінійна апроксимація (рис. 2). Згідно з [1] можна прийняти  $S_1 = S_{кр}$ ,  $S_2 = 0,5 \dots 0,9$  (в залежності від типу АД).

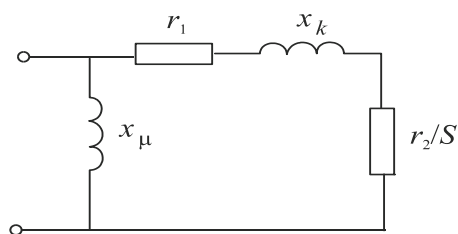
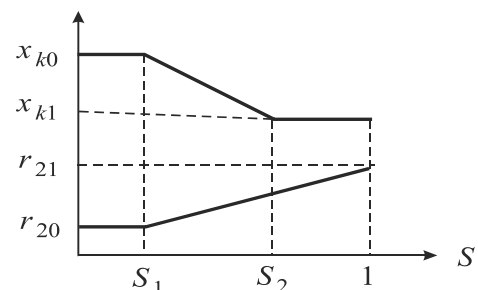
Рис. 1. Заступна  $\Gamma$ -подібна схема АД

Рис. 2. Залежність заступної схеми від ковзання параметрів

Використовуючи каталожні дані, можна обчислити (у відносних одиницях):

$$X_{k0} = \frac{1}{2m_{\max} \cos \phi_{\text{НОМ}}}; \quad X_{k1} = \frac{X_{\mu}}{I_n X_{\mu} - 1}; \quad r_{21} = \frac{1 - \sqrt{1 - 4X_{k1}^2 m_n^2 \cos^2 \phi_{\text{НОМ}}}}{2m_{\text{II}} \cos \phi_{\text{НОМ}}},$$

де  $m_{\max}$ ,  $m_n$  — кратності максимального і пускового моментів;  $I_{\text{II}}$  — пусковий струм (відн. од.).

Модель АД, яка використовує таку апроксимацію, вимагає розширення набору параметрів ДХН, який реалізований у програмному комплексі розрахунку стійкості складних ЕЕС додаванням  $I_{\text{II}}$ ,  $m_n$ , а також  $S_2$  — точки переходу на  $X_k = X_{k1} = \text{const}$ , враховуючи, що  $S_{kp} = r_{20}/X_{k0}$ , які вже наявні у наборі параметрів ДХН.

З використанням такої апроксимації у чисельному розрахунку електромеханічного перехідного процесу енергосистеми з урахуванням ДХН на кожному інтервалі часу визначаються параметри заступної схеми, які використовуються в рівняннях динаміки двигуна. Така модифікація виконана у програмному комплексі Інституту електродинаміки НАН України АВР-74 для розрахунків стійкості складних електроенергетичних систем [2].

Модифікована таким чином модель ДХН була використана для аналізу стійкості автономної енергосистеми, у складі якої працюють 6 синхронних генераторів і враховується динаміка 6 великих високовольтних (6 кВ) асинхронних двигунів (потужність від 1500 до 2400 кВт).

Аварійним збуренням було трифазне коротке замикання коло шин 35 кВ розподільного пристрою 35 кВ з відмовою вимикача і роботою пристрою резервування відмови вимикача (ПРВВ), який вимикає усі приєднання до місця КЗ. На рис. 3 показаний перехідний режим АД, близького до місця КЗ, який свідчить про порушення стійкості АД (ковзання після вимкнення КЗ  $\sim 0,25 > S_{kp}$ ). На рис. 4 показаний перехідний режим цього самого АД за цього ж збурення, але якщо два АД з шести вимикаються за  $t = 3,5$  с. Видно, що АД повертається до нормального режиму. З рис. 5 випливає, що при цьому зберігається стійкість паралельної роботи синхронних генераторів після кількох асинхронних обертів. Імпульси ( $\sim -360^\circ$ ) на верхньому графіку (взаємного кута генераторів) мають розрахунковий характер, вони виникають внаслідок зсуву у часі абсолютних кутів після їх приведення до діапазону  $\pm 180^\circ$ . Тривалість КЗ 0,44 с дорівнює сумі часу роботи ПРВВ 0,35 с і власного часу вимикання вимикача 0,09 с.

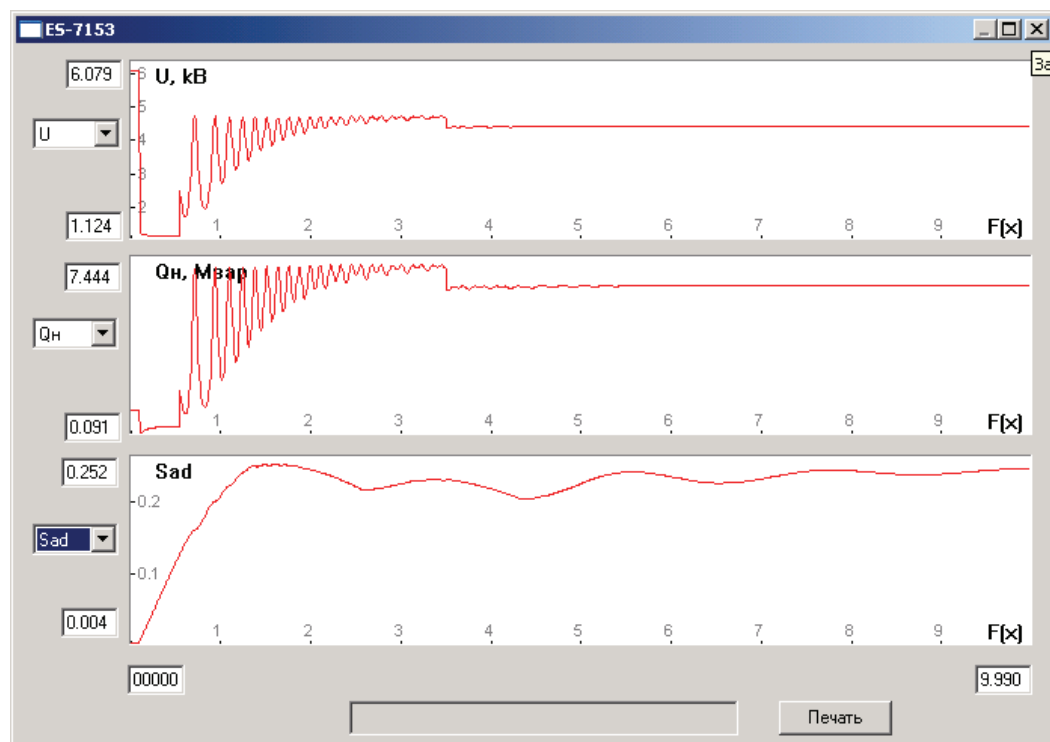


Рис. 3. Перехідний режим АД, без дій ПА

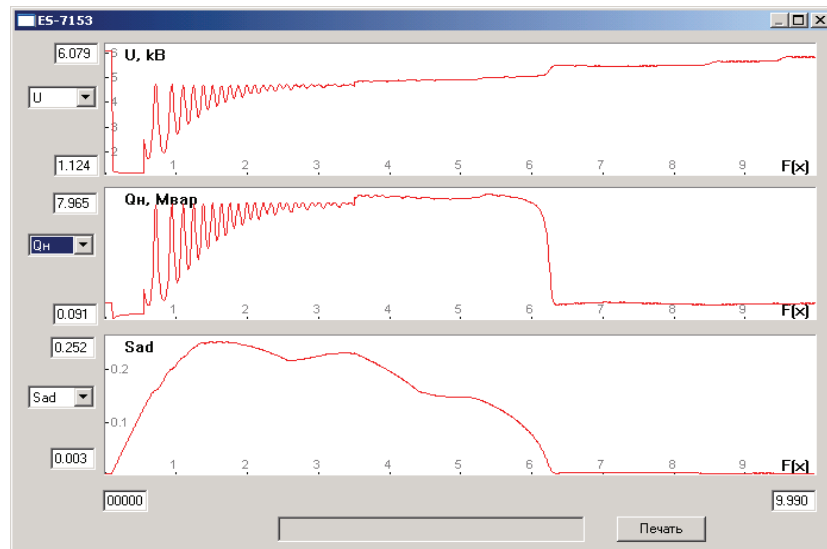


Рис. 4. Перехідний режим АД, з урахуванням вимикання двох АД з шести

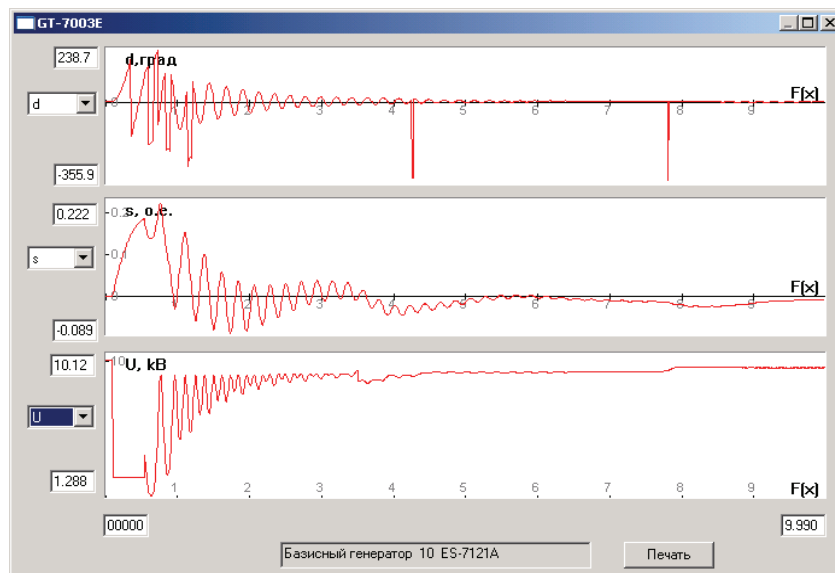


Рис. 5. Режим синхронного генератора з урахуванням дії ПА

### Висновки

Виконана модифікація моделі динамічної характеристики навантаження дозволяє виконувати розрахунки перехідних режимів, які супроводжуються порушенням стійкості асинхронних двигунів і поверненням їх до нормального режиму (самозапуском) після тривалого КЗ і певних дій протитаварійної автоматики.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гуревич Ю. Е. Устойчивость нагрузки электрических систем / Ю. Е. Гуревич, Л. Е. Либова, Э. А. Хачатрян. — М. : Энергоиздат. — 1981. — 209 с.
2. Авраменко В. М. Развитие методов моделирования ЕЭС для розв'язання задач автоматизованого диспетчерського керування енергосистемами / В. М. Авраменко // Праці Ін-ту електродинаміки НАН України : зб. наук. праць. — 2012. — Вип. 32. — С. 32—38.

Рекомендована кафедрою електричних станцій та систем

Стаття надійшла до редакції 15.10.2013  
Рекомендована до друку 1.11. 2013

*Авраменко Володимир Миколайович* — професор, *Гурсьва Тетяна Михайлівна* — провідний інженер,  
*Юнєсва Наталія Тахірджанівна* — науковий співробітник.  
Інститут електродинаміки НАН України, Київ