

УДК 621.316.7

М. Й. Бурбело, д. т. н., проф.; А. В. Гадай, к. т. н.; П. В. Довгалюк

## ВИКОРИСТАННЯ СИНХРОННИХ ДВИГУНІВ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ КОЛИВАНЬ НАПРУГИ

*Досліджено можливість зменшення коливань напруги на затискачах синхронного двигуна в різкозмінних режимах роботи за різного навантаження та встановлено закономірності регулювання струму збудження двигуна для поліпшення якості напруги в мережі.*

**Ключові слова:** напруга, синхронні двигуни, компенсація реактивної потужності.

### Розгляд проблеми й постановка завдання

У випадку відхилень напруги від оптимального значення сумарні втрати, які визначаються технологічними та електромагнітними збитками, збільшуються [1]. Технологічні збитки враховують збитки від порушення технологічного процесу, погіршення якості продукції, зменшення продуктивності праці. Електромагнітним збиткам властиві збільшення втрат електроенергії, вихід із ладу електротехнічного обладнання, порушення роботи автоматики.

Пристрої автоматичного регулювання збудження (АРЗ) синхронних двигунів (СД) треба виготовляти так, щоб протягом кожного технологічного режиму напруга у вузлі навантаження підтримувати оптимальною. Існуючі АРЗ не дозволяють прогнозувати або керувати з випередженням режимами напруги й показниками якості електроенергії. За зміни навантаження та напруги двигуна неможливо встановити оптимальний струм збудження. Його необхідно автоматично регулювати залежно від конкретних умов, які характеризують електропостачальну систему й навантаження СД.

Вибір закону АРЗ має здійснюватись з урахуванням можливих змін рівня напруги та режиму роботи електроприводу. Наприклад, електропривід лебідки бурової установки повинен піднімати й опускати бурильну колону із заданою швидкістю за змінної маси колони. Для оптимального використання електроприводу [2] необхідно підтримувати постійну потужність в усьому діапазоні зміни маси бурильної колони під час піднімання й опускання. У випадку живлення бурової установки від системи електропостачання обмеженої потужності активна та реактивна потужності СД значно змінюються [3] і навантаження СД лебідки має ударний характер. Це призводить до відхилень і коливань напруги на вводі бурової установки і коливань СД. Унаслідок цього виникають аварії і передчасний вихід з ладу двигунів [4].

### Мета дослідження

Метою дослідження є визначення можливості використання СД для зменшення різких і глибоких знижень напруги за рахунок динамічної компенсації реактивної потужності.

### Обґрунтування результатів

Під час вивчення квазіусталених режимів СД використовують рівняння Парка – Горева в  $d$ - $q$ -координатах, записаних через діючі значення величин [5]. Систему рівнянь, що характеризує електромагнітні перехідні процеси СД подамо в матричному вигляді

$$\begin{bmatrix} L_d & 0 & M_{sf} & M_{sD} & 0 \\ 0 & L_q & 0 & 0 & M_{sQ} \\ 1,5M_{sf} & 0 & L_f & M_{fD} & 0 \\ 1,5M_{sD} & 0 & M_{fD} & L_D & 0 \\ 0 & 1,5M_{sQ} & 0 & 0 & L_Q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{dI_d}{dt} \\ \frac{dI_q}{dt} \\ \frac{dI_f}{dt} \\ \frac{dI_D}{dt} \\ \frac{dI_Q}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -U_d \\ -U_q \\ U_f \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R_s & \omega L_q & 0 & 0 & \omega M_{sQ} \\ -\omega L_d & R_s & -\omega M_{sf} & -\omega M_{sD} & 0 \\ 0 & 0 & R_f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & R_D & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & R_Q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_d \\ I_q \\ I_f \\ I_D \\ I_Q \end{bmatrix}, \quad (1)$$

де  $R_s, R_f, R_D, R_Q$  – активні опори відповідно обмотки статора, обмотки збудження та демпферних обмоток по осях  $D, Q$ ;  $L_d, L_q$  – індуктивності статорної обмотки відповідно по повздовжній і поперечній осях;  $M_{sf}, M_{sD}, M_{sQ}, M_{fD}$  – взаємоіндуктивності між відповідними обмотками СД;  $U_d, U_q, U_f$  – напруги відповідно обмотки статора по осях  $d, q$  та обмотки збудження.

Для розв’язання задачі чисельним методом Рунге – Кутта четвертого порядку систему рівнянь (1) необхідно записати в нормальній формі Коші та доповнити рівняннями, що характеризують електромеханічні процеси

$$\frac{d\omega_r}{dt} = \frac{-\frac{P(t)}{\omega_r} - M_n(t)}{J}; \quad \frac{d\theta}{dt} = \omega_r - \frac{\omega}{p_0}. \quad (2)$$

На бурових установках для приводу лебідки використовують СД типу СДЗБ-13 потужністю 450 – 630 кВт. Система збудження таких двигунів забезпечує можливість регулювання збудження, при цьому напруга й струм збудження можуть регулюватися з використанням різних законів та параметрів регулювання.

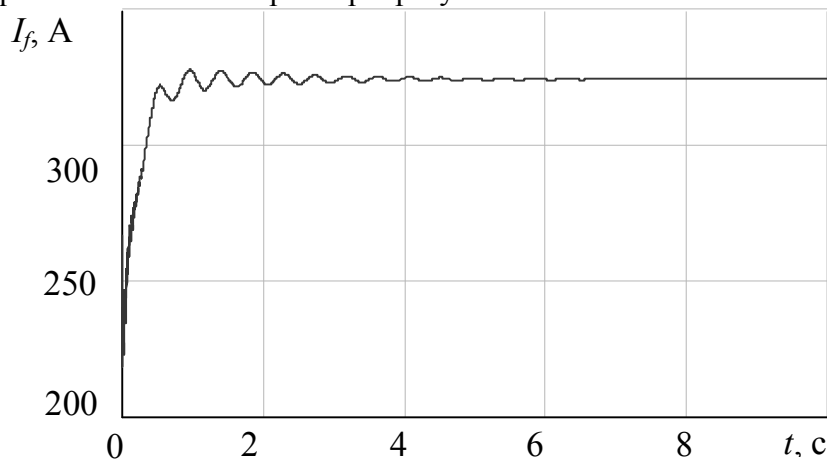


Рис. 1. Форсування струму збудження СД

У разі форсування струму збудження (рис. 1) СД мають здатність різкої зміни реактивної

потужності (рис. 2). У цьому випадку струм збудження форсується з 230 А до 325 А. За таких умов реактивна потужність завантаженого СД зменшується з 400 квар до нуля.

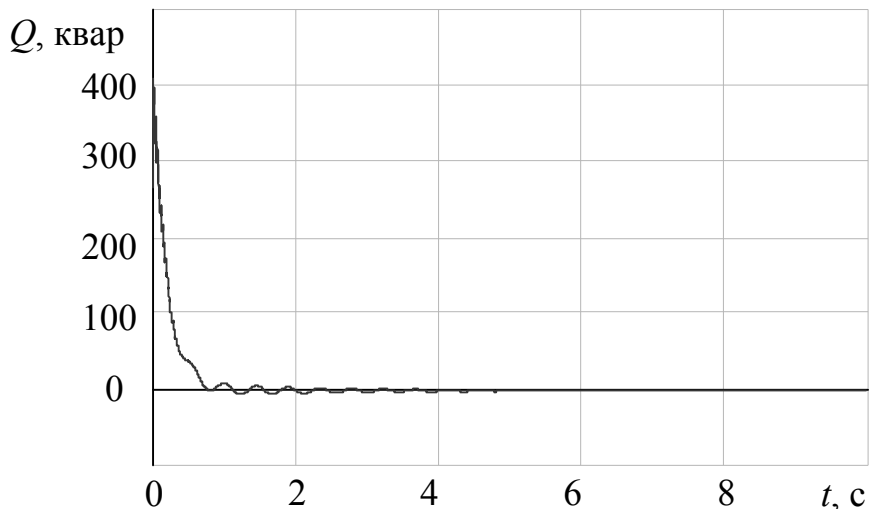


Рис. 2. Зменшення споживання реактивної потужності СД у разі форсування збудження

Під час форсування струму збудження СД кут вибігу, момент і активна потужність різко змінюються. За таких умов напруга має коливний характер (рис. 3). Це вимагає збільшення постійної часу пропорційно-інтегрального регулятора до значення, за якого залежність напруги стає плавною в часі (крива 1 на рис. 4). Причому для електропривода лебідки бурової установки за змінної маси бурової колони через неприпустимість різких змін моменту на валу необхідною є адаптація постійної часу регулятора залежно від навантаження: максимальне значення постійної часу повинно бути встановлено за малого навантаження, а зі збільшенням навантаження постійна часу повинна поступово зменшуватися. Це, зокрема, відображено кривою 2 на рис. 4, побудованою за умови зниження навантаження на валу машини на 15 % за тих же параметрів регулювання.

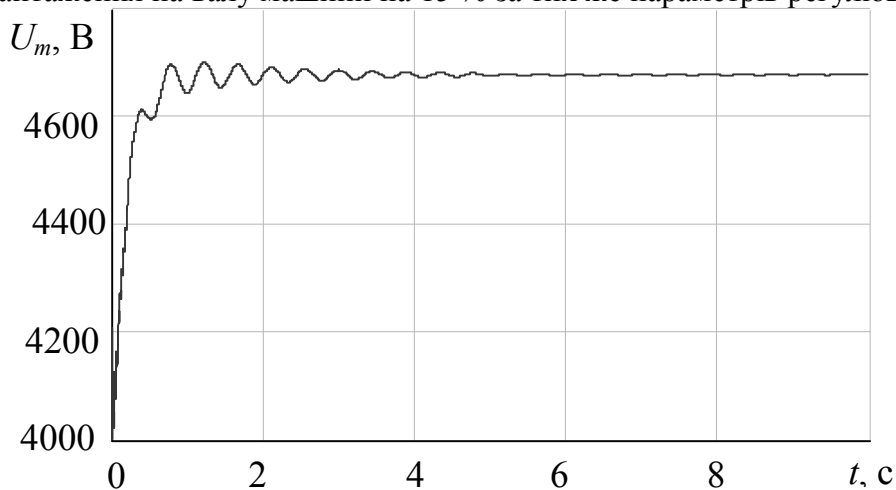


Рис. 3. Залежність амплітуди фазної напруги в разі форсування збудження СД

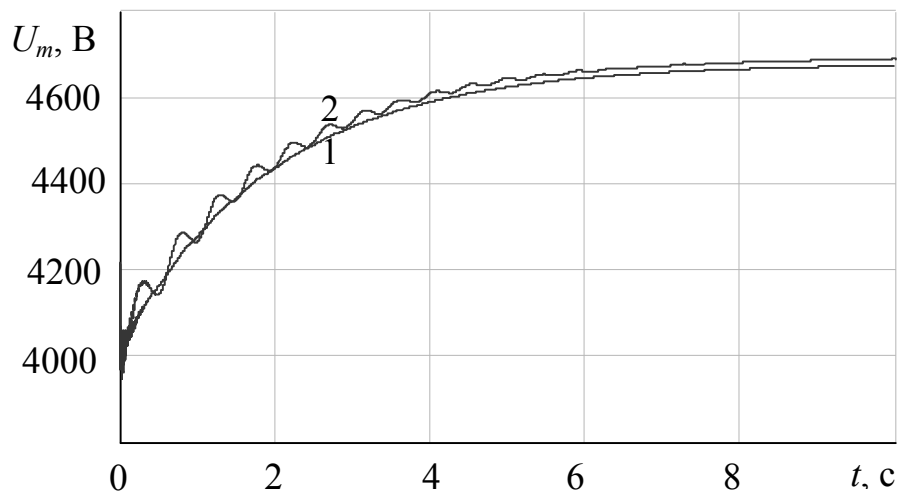


Рис. 4. Залежність амплітуди фазної напруги в разі збільшення постійної часу регулятора за різних навантажень СД

### Висновки

Отже, форсування збудження СД забезпечує можливість зменшення коливань напруги за рахунок динамічної компенсації реактивної потужності. Вибір постійної часу пропорційно-інтегрального регулятора СД залежить від маси бурової колони.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Суднова В. В. Качество электрической энергии / В. В. Суднова. – М. : ЗАО Энергосервис, 2000. – 80 с.
2. Моцохейн Б. И. Электропривод буровых лебедок. / Б. И. Моцохейн, Б. М. Парфенов. – М. : Недра, 1978. – 304 с.
3. Саяк И. И. Исследование автоматического регулятора возбуждения приводного синхронного двигателя буровой лебедки. / И. И. Саяк, Р. А. Селепина, Г. С. Корниевич, В. Н. Холин. – Машины и нефтяное оборудование. – 1975. – № 8. – С. 30 – 35.
4. Абрамович Б. Н. Бесщеточные синхронные двигатели с повышенными эксплуатационными характеристиками для главных приводов буровых установок. / Б. Н. Абрамович, А. Б. Купцов, И. Ф. Лозовой. – М. : ВНИИОЭНГ, Машины и нефтяное оборудование. – 1982. – № 1. – С. 26 – 28.
5. Костюк О. М. Колебания и устойчивость синхронных машин / О. М. Костюк, М. И. Соломаха. – К. : Наукова думка, 1991. – 200 с.

**Бурбело Михайло Йосипович** – професор кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту.

Вінницький національний технічний університет.

**Гадай Андрій Валентинович** – доцент кафедри електропостачання.

Луцький національний технічний університет.

**Довгалюк Петро Васильович** – студент інституту електроенергетики та електромеханіки.

Вінницький національний технічний університет.