



УДК 621.317.791

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЕЛЕКТРОБУРА В СЕРЕДОВИЩІ ВІРТУАЛЬНОГО ПРОГРАМУВАННЯ LABVIEW

*І.Д. Галушак, к.т.н., М.Й. Федорів, к.т.н., І.М. Михайлів
(Івано-Франківський національний технічний університет
нафти і газу,
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, Україна 76019)*

Для збільшення видобутку нафти з малопродуктивних пластів доцільно споруджувати свердловини з використанням електробура, який дозволяє бурити горизонтально направлені та похило спрямовані відгалуження свердловини.

Однією із найскладніших проблем електробуріння є створення надійного струмопідводу. У даний час живлення струмів електродвигуна електробура (ЕЕБ) здійснюється за допомогою двожильної кабельної секції, яка розміщена всередині металевої бурильної труби, що використовується в якості третього провідника. Застосування струмопідводу за системою “два провідники – труба” дає змогу збільшити отвір для проходження промивної рідини, зменшити габаритні розміри контактних з’єднань, а також уникнути закручування кабелю в трубах. Однак при такій системі струмопідводу виникає несиметрія струмів ЕЕБ через неоднаковий опір фаз.

Несиметричні струми навантаження, які протікають в елементах системи електропостачання, викликають в них несиметричні падіння напруги. Тому на клеммах двигуна ЕБ з’являється несиметрична система напруг. Особливе значення для нього має напруга зворотної послідовності. Опір зворотної послідовності електродвигунів приблизно рівний опору загальмованого двигуна і, отже, в 5 – 8 раз менший опору прямої послідовності. Тому навіть невелика несиметрія напруг викликає значні струми зворотної послідовності, які накладаються на струми прямої послідовності і викликають додатковий нагрів статора і ротора.



Для проведення лабораторних досліджень енергоефективності функціонування електротехнічного комплексу для електробуріння (ЕТКЕ) в середовищі віртуального програмування LabVIEW створена комп'ютерна модель системи електропостачання ЕЛБ, яка дозволяє моделювати режими роботи ЕЛБ. В основі математичної моделі лежить Т-подібна схема заміщення асинхронного двигуна ЕЛБ, представленого комплексними опорами Z_1 , Z_m і $Z_2(s)$ відповідно. В коло статора введено комплексні опори бурового трансформатора ЗТР, жил кабелю ЗГ і бурильної труби ЗТ. Останні залежать від глибини буріння та від значення струму електродвигуна. Задаючись числовими значеннями опорів схеми заміщення СЕЕ, глибиною буріння L , номінальними струмом I_N і ковзанням s , знаходимо фазні напруги U_A , U_B , U_C на початку струмопідводу в номінальному режимі. Залишаючи бажані фазні напруги на початку струмопідводу та глибину буріння незмінними, розраховуємо механічну характеристику асинхронного двигуна ЕЛБ $M(s)$ та значення його фазних струмів I_A , I_B , I_C під час зміни ковзання s від 0 до 1 [1].

Вихідними даними, що вносяться на початку моделі є: параметри бурового трансформатора ТМТБ 630/10 та електродвигуна електробура Е215-8М-В5. До параметрів бурового трансформатора належать: номінальна вторинна напруга бурового трансформатора ТМТБ 630/10-73У1, які залежать від глибини буріння, і для електробура Е215-8М-В5 становить: 1700 В для глибина 0...1000 м, 1750 В для глибина 1000...2000 м, 1850 В для глибина 2000...3000 м, 1900 В для глибина понад 3000 м - $U_{ном.тр} = 1700 \div 1900$ В; номінальний вторинний струм бурового трансформатора ТМТБ 630/10-73У1 - $I_{ном.тр} = 155$ А; напруга короткого замикання ВН-СН бурового трансформатора ТМТБ 630/10-73У - $U_k = 10,7\%$; втрати потужності бурового трансформатора ТМТБ 630/10-73У1 - $\Delta P_k = 10700$ Вт. До параметрів електродвигуна ЕЛБ належать: номінальна напруга електродвигуна електробура Е215-8М-В5 - $U_{ном.еб} = 1550$ В; номінальний струм фази статора електродвигуна електробура Е215-8М-В5 - $I_{ном,еб} = 131$ А; активний опір фази статора електродвигуна електробура Е215-8М-В5 - $r_{1d} = 0,419$ Ом; індуктивний опір фази ротора електродвигуна електробура Е215-8М-В5 - $x_{1d} = 0,635$ Ом; приведений активний опір фази ротора електродвигуна електробура Е215-8М-В5 - $r_2 = 0,691$ Ом; приведений індуктивний опір фази ротора електродвигуна



електробура E215-8M-B5 - $x_2 = x_{1d} = 0,635 \text{ Ом}$; активний опір фази намагнічувального контуру електродвигуна електробура E215-8M-B5 - $r_m = 0,671 \text{ Ом}$; індуктивний опір фази намагнічувального контуру електродвигуна електробура E215-8M-B5 - $x_m = 7,715 \text{ Ом}$; синхронна частота обертання ротора електродвигуна електробура E215-8M-B5 - $n_1 = 750 \text{ об/хв}$; номінальна частота обертання ротора електродвигуна електробура E215-8M-B5 - $n_2 = 655 \text{ об/хв}$.

Математична модель дозволяє визначити: опори схем заміщення електродвигуна електробура E215-8M-B5 залежно від ковзання; параметри струмопідводу; опори схем заміщення бурового трансформатора ТМТБ 630/10-73У1; опори схеми заміщення струмопідводу залежно від глибини буріння; лінійні напруги на початку струмопідводу залежно від ковзання; фазні струми та напруг на затискачах електродвигуна електробура E215-8M-B5; механічні характеристики електродвигуна електробура E215-8M-B5; енергетичні втрати електродвигуна електробура E215-8M-B5.

Для визначення опорів схеми заміщення електродвигуна електробура E215-8M-B5 залежно від ковзання потрібно визначити: комплексний опір намагнічувального контуру, [Ом]:

$$Z_m = r_m + x_m \cdot i, \quad (1)$$

де r_m - активний опір фази намагнічувального контуру електродвигуна електробура E215-8M-B5; x_m - індуктивний опір фази намагнічувального контуру електродвигуна електробура E215-8M-B5.

Комплексний опір фази статора, [Ом]:

$$Z_1 = r_{1d} + x_{1d} \cdot i, \quad (2)$$

де r_{1d} - активний опір фази статора електродвигуна електробура E215-8M-B5; x_{1d} - індуктивний опір фази ротора електродвигуна електробура E215-8M-B5.

Комплексний опір фази ротора, [Ом]:

$$Z_2(s) = x_2 \cdot i + r_2 \cdot \frac{1-s}{s}, \quad (3)$$

де r_2 - приведений активний опір фази ротора електродвигуна електробура E215-8M-B5; x_2 - приведений індуктивний опір фази ротора електродвигуна електробура E215-8M-B5.

Комплексний опір фази електродвигуна, [Ом]:

$$Z(s) = Z_1 + \frac{Z_m \cdot Z_2(s)}{Z_m + Z_2(s)}. \quad (4)$$

Струм електродвигуна, [А]:



$$I(s) = \frac{U_{ном.еб}}{\sqrt{3} \cdot Z(s)} \quad (5)$$

де $U_{ном.еб}$ - номінальна напруга електродвигуна електробура E215-8M-B5.

Момент у фазі А (аналогічно знаходимо моменти в фазі В та С), [кг·м]:

$$Ma(s) = \frac{(UA(s))^2 \cdot r2}{\frac{2\pi \cdot n1}{60} \cdot s \cdot 9,807 \left(\left(r1d + \left| \frac{Zm + Z1}{Zm} \right| \cdot \frac{r2}{s} \right)^2 + \left(x1d + \left| \frac{Zm + Z1}{Zm} \right| \cdot x2 \right)^2 \right)} \quad (6)$$

Момент електродвигуна, [кг·м]:

$$M(s) = Ma(s) + Mb(s) + Mc(s) \quad (7)$$

Потужність, що споживається електробуром знаходять шляхом обчислення втрат в струмопідводі та електробурі. Зміни в процесі буріння осьового навантаження і моментомостності прохідних порід обумовлюють коливання навантаження електробура. Тому потужність, що розвивається двигуном, відрізняється від номінальної, для якої в технічних характеристиках двигуна дається певне значення коефіцієнта корисної дії.

Програмне забезпечення розроблене у середовищі графічного програмування LabVIEW [2]. Спочатку здійснюється запис початкових вимірних величин у файл, після чого запускається програма математичної опрацювання .

1. Галушак І.Д., Федорів М. Й., Гладь І.В. Модернізація системи електропостачання електробура на основі її математичної моделі. ези III Міжнародної науково-практичної конференції “Проблеми економії енергії”, м. Львів, 2001. – С . 164-165.

2. математична модель системи електропостачання електробура в середовищі програмування labview / М.Й.Федорів, А.І. Поточний // Збірник наукових праць I Всеукраїнськанауково-технічна конференція викладачів, аспірантів і студентів: 18-19 жовтня 2012 р., м. Донецьк: «ДВНЗ» ДонНТУ, 2012. – 71-72 с.