

УДК 621.314

Н.В. Єрмілова, С.І. Калов

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава

ПОРІВНЯННЯ ТА ВИБІР ВИСОКОВОЛЬТНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЧАСТОТИ ДЛЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ БУРОВИХ УСТАНОВОК

Проаналізовані структури і конструктивні особливості сучасних високовольтних перетворювачів частоти. Приведений короткий аналіз схем і елементів перетворювачів частоти: багатофазних трансформаторів, силових комірток, фільтрів. Побудована та досліджена MatLab-модель електроприводу бурової лебідки. Зроблений аналіз перспектив розвитку високовольтних перетворювачів частоти та їх застосування в потужних електроприводах бурових установок.

Ключові слова: високовольтний перетворювач частоти, бурова установка, регульований електропривод, силова коміртка, трансформатор, асинхронний двигун.

Вступ

Постановка проблеми. Сучасна концепція максимальної автоматизації бурових установок дозволяє здійснювати більшість робочих операцій процесу буріння, включаючи спуско-підйомні операції колон бурових й насосно-компресорних труб, з найкращими експлуатаційними показниками. Автоматизація процесів дозволяє покращити графік безперервного видобутку нафти, а це, в свою чергу, зменшує збитковість всього процесу. Останнім часом в нафтовидобувній промисловості постає проблема вдосконалення технологічних процесів і підвищення надійності і довговічності устаткування нафтовидобувних промислів і магістральних газопроводів з метою зниження на цій основі собівартості видобутку нафти і газу і зниження відпускних цін на органічне паливо, як засобу зниження енергоємності валового національного продукту. На нафтовидобувних промислах здебільшого використовуються нерегульовані електродвигуни з постійною частотою обертання, які не виключають шкідливих динамічних впливів на обладнання в процесі роботи і в перехідних режимах, що призводить до необхідності частішої заміни найбільш навантажених вузлів і виходу обладнання з ладу.

Прямий пуск високовольтних асинхронних і синхронних електродвигунів з напругою живлення 6 або 10кВ супроводжується стрибком пускового струму, що досягає 6 - 8 кратного значення по відношенню до номінального струму двигуна. Великі пускові струми, споживані електродвигунами в момент їх пуску, та пов'язані з цим глибокі провали напруги, дуже ускладнюють, а в ряді випадків й унеможливають пуск в роботу таких двигунів в разі їх електропостачання від газотурбінних, дизельних чи інших електростанцій з обмеженою потужністю.

Сьогодні безперервно зростає число підприємств, що розглядають застосування електроприводів з регульованою частотою обертання як ключ до енергозбереження, підвищення конкурентоспро-

можності і рентабельності виробництва, поліпшення екологічної обстановки.

Вимоги правильного вибору електрообладнання для нафтовидобутку, автоматизація його роботи, зниження витрат на експлуатацію та ремонт обладнання є дуже актуальними. Це відноситься і до вибору та експлуатації перетворювачів частоти в регульованому електроприводі бурових установок.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В даний час в світі застосовується цілий ряд схемних рішень високовольтних перетворювачів частоти (ВПЧ) для потужних електродвигунів. У літературних джерелах широко аналізується продукція таких фірм, як ABB, Siemens, Allen-Bradley, Toshiba, Mitsubishi, Robicon, Ansaldo, Alstom, ESTEL, GE, Hyundai та інших. Слід зазначити, що всі схеми перевірені часом і, таким чином, можуть використовуватися для приводу механізмів в нафтогазовій промисловості. Усі компанії використовують, в основному, загальний, доступний всім набір компонентів і матеріалів, застосовуючи приблизно схожі технічні рішення [1-3]. Це стосується, перш за все, прийомів забезпечення електромагнітної сумісності, принципів автоматичного управління. Відмінності складаються, в основному, в тих чи інших вдалих топологічних і конструктивних рішеннях, дизайні, опціях та програмному забезпеченні. В даний час коло раціональних технічних рішень для різних схем і видів ВПЧ з автономними інверторами струму (AIC) і напруги (AИ) в цілому визначився, але процес їх вдосконалення безперервно триває в зв'язку з появою нових силових напівпровідникових елементів.

Мета роботи – дослідження різних типів сучасних високовольтних перетворювачів частоти, розгляд й порівняння їх характеристик та визначення перетворювачів з найкращими показниками для потужних електроприводів бурових насосів і бурових лебідок, які зможуть забезпечити збільшення продуктивності обладнання, зниження споживання електроенергії та зменшення капітальних витрат при бурінні.

Матеріал і результати дослідження

Застосування регульованого електроприводу в нафтовидобувній промисловості забезпечує:

- частотний пуск і останов високовольтних двигунів без великих кидків пускових струмів;
- економію до 30-40% електроенергії, споживаної двигунами;
- необхідні швидкісні характеристики приводу бурових лебідок у всіх чотирьох квадрантах механічної характеристики;
- регулювання частоти обертання від 0,1 до 120 Гц в замкненому і розімкненому контурі;
- зниження аварійності обладнання і зменшення витрат на ремонт і обслуговування, а також скорочення аварійних простоїв виробництва;
- створення замкнених систем асинхронного електроприводу з можливістю точні підтримки заданих технологічних параметрів.

Вентильні високовольтні перетворювачі частоти призначені для частотного пуску і регулювання швидкості обертання високовольтних електродвигунів, потужністю 250 - 5000 кВт. Вони перетворюють електричну енергію трифазної мережі змінного струму промислової частоти напругою 3, 6 або 10 кВ в трифазну напругу з параметрами частоти і напруги, що змінюються за законом частотного регулювання. Існує чотири основні схеми побудови перетворювачів: прямого перетворення, з низьковольтною ланкою, багаторівневі та каскадні.

Електропривод прямого перетворення ПЧСВ застосовується, якщо напруга мережі живлення і номінальна напруга двигуна відповідають напрузі перетворювача частоти. Він включає в себе послідовно з'єднані високовольтний випрямляч з системою керування, інвертор і дросель згладження в ланці постійного струму. Навантаженням інвертора є привідний електродвигун [2]. Для симетрування силової схеми перетворювача дроселі згладження виконуються з розщепленою обмоткою (з двома напівобмотками). Обмотки дроселя включаються послідовно в обидва полюси ланки постійного струму. Можливе застосування і двох незалежних дроселів. Силові схеми керованого випрямляча та інвертора будуються на базі трифазних мостів. Силові вентилі, які характеризуються розкидом заряду відновлення, шунтуються ланцюгами динамічного розподілу напруги із послідовним включенням вентилів при комутації.

Перетворювачі частоти з низьковольтною ланкою ПЧСН аналогічні за принципом дії, функціональними можливостями, призначенням і областю застосування високовольтним перетворювачам прямого перетворення. Перетворювачі з низьковольтною ланкою є альтернативою прямих перетворювачів для досить вузького діапазону електроприводів з синхронними двигунами потужністю від 320 до 1600 кВт. Для цього діапазону потужностей виявилось вигідно знизити робочі напруги перетворю-

вача. І хоча зниження робочої напруги вимагає установки понижувального трансформатора на вході і підвищувального трансформатора на виході перетворювача, загальний економічний ефект очевидний. Так, наприклад, для синхронного двигуна потужністю 1600 кВт ціна одного кВт потужності при закупці комплектного ПЧ прямого перетворення становить 106 \$, а при застосуванні комплектного ПЧ з низьковольтною ланкою - 64 \$. Такий економічний ефект можна пояснити такими причинами:

а) зниження робочої напруги перетворювача дозволяє встановити лише по одному вентилю в плечах випрямляча й інвертора;

б) при робочій напрузі 6 кВ всі ізоляційні відстані в шафі перетворювача повинні бути збільшені у відповідності з діючими вимогам. Тому габарити щита високовольтного перетворювача (в основному, за рахунок площі) буде в 2,5...3 рази більше, ніж низьковольтного;

в) в високовольтному перетворювачі відсутні вхідний й вихідний трансформатори, але необхідні вхідний струмообмежуючий реактор і високовольтний дросель, що згладжує пульсації. Габарити даних пристроїв відповідають габаритам трансформаторів потужністю 450-700 кВА.

Вказані обставини ускладнюють експлуатацію високовольтних перетворювачів частоти.

В ПЧСН напруга мережі 6 кВ подається на понижувальний трансформатор, який перетворює її в трифазну напругу 0,4 или 0,66 кВ. Ця напруга подається на низьковольтний перетворювач частоти, де перетворюється в трифазну напругу зі змінною частотою і амплітудою. Форма, частота й амплітуда вихідного струму визначається алгоритмами пристрою керування. Далі сигнал фільтрується і надходить до підвищувального трансформатора для отримання високої (6кВ) напруги.

Перетворювач, побудований по даній двотрансформаторній схемі, дозволяє використовувати для регулювання частоти відносно дешевий низьковольтний перетворювач. Тому перетворювачі ПЧСН часто застосовують в діапазоні потужностей до 1,5 МВт.

Основними недоліками двотрансформаторних перетворювачів є високі масогабаритні характеристики, а також менші, в порівнянні з іншими схемами, ККД (93 - 96%) і надійність. Ці перетворювачі мають обмежений діапазон регулювання частоти обертання двигуна як зверху, так і знизу від номінального значення [3].

Багаторівневі перетворювачі частоти відрізняються від вищерозглянутих тим, що в них велика кількість послідовно включених вентилів використовується для формування вихідної напруги зі зменшеними кроками по напрузі. Це забезпечує кращу форму кривої вихідної напруги, а також зменшує стрибки напруги, що покращує режим роботи навантаження і знижує рівень електромагнітних завад, які випромінюються перетворювачем. Такі перетворю-

вачі частоти будуються за схемою автономного інвертора напруги на IGBT- транзисторах. Існує два класи схем багаторівневих перетворювачів: з прив'язкою середньої точки через розділові діоди і з плаваючими конденсаторами.

Для зменшення вищих гармонік в перетворювачах обох типів використовується багаторівнева широтно - імпульсна модуляція. Закони модуляції складні і реалізуються на базі мікроконтролерів. Вони повинні враховувати, в тому числі, і зміни напруги на конденсаторах при протіканні через них струму навантаження. Найбільш перспективною топологією перетворювача частоти для потужних високовольтних пристроїв є топологія багаторівневого інвертора напруги з каскадним з'єднанням інверторних комірок в кожній фазі.

Каскадні перетворювачі також забезпечують багаторівневе формування вихідної напруги. Вони будуються на базі H - мостових комірок. На відміну від розглянутих вище багаторівневих перетворювачів, кожна комірка повинна живитися від ізолюваного джерела постійної напруги. Тому на вході кожної комірки передбачений індивідуальний трифазний мостовий випрямляч, який, в свою чергу, живиться від окремої вторинної обмотки багатообмоточного трансформатора. На випадок аварії однієї з комірок у кожній із них передбачений обхідний контактор. При виникненні аварії він закорочує вихід комірки, виключаючи її з послідовного ланцюга, а виправлені комірки можуть продовжувати роботу.

Високовольтні транзисторні перетворювачі частоти призначені для регулювання частоти обертання асинхронних і синхронних електродвигунів з номінальною напругою 3, 6 або 10 кВ потужністю до 5 МВт. Кількість мостів в фазі залежить від напруги мережі живлення і класу напруги застосованих транзисторних модулів. Погоджувальні трансформатори будуються за спеціальною схемою з декількома вторинними (гальванічно не пов'язаними) обмотками. У більшості випадків перетворювачі поєднуються із загальнопромисловими двигунами без установки спеціальних вихідних фільтрів. Система управління дозволяє реалізувати різні закони регулювання частоти вихідної напруги в широкому діапазоні (від 0,1-120 Гц), а також векторне управління. Завдяки використанню багатообмотувальних входних трансформаторів і структури силової схеми з великим числом комірок, струм споживаний перетворювачем частоти, має практично синусоїдальну форму, що забезпечує відповідність показників якості мережі. При цьому коефіцієнт потужності перевищує 95% у всьому швидкісному діапазоні без використання зовнішніх конденсаторів для його підвищення. При роботі з низькою швидкістю приводи є найбільш ефективними, тому що на всьому швидкісному діапазоні підтримується стабільно високий коефіцієнт електричної потужності з використанням стандартних асинхронних двигунів.

Силова схема каскадного багаторівневого інвертора зазвичай містить від трьох до десяти інверторних комірок, які ввімкнені послідовно у кожну фазу [4]. Досліджувана схема містить 15 симетричних інверторних комірок (рис. 1), по п'ять послідовно з'єднаних комірок в кожній фазі.

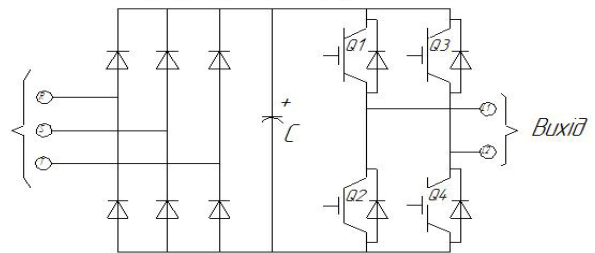


Рис. 1. Комірка багаторівневого інвертора

Таке підключення забезпечує на затискачах електродвигуна лінійну напругу близько 6000 В, яка зазвичай використовується для приводу бурових насосів та лебідок. Інверторні комірки живляться кожна від окремої вторинної обмотки входного багатообмотувального трансформатора, з'єднаної в зигзаг з метою забезпечення необхідного фазового зсуву для формування рівнів вихідної напруги. Вхідний трансформатор багаторівневого інвертора напруги первинною обмоткою підключається до трифазної мережі змінної напруги 10 кВ промислової частоти 50 Гц. Діюча напруга кожної комірки визначається за співвідношенням:

$$U_{2n} = \frac{U_{л}}{k \cdot \sqrt{3}},$$

де k – кількість комірок у фазі.

Фазна напруга під час навантаження формується шляхом підсумовування напруг послідовно з'єднаних інверторних комірок. Кут зсуву вектора вторинної напруги n -ої обмотки визначається за наступним виразом:

$$\phi = 60 \frac{n_1}{k}, \quad \text{де } n_1 = 1, 2, 3, \dots, (k-1)/2.$$

Було проведено моделювання багаторівневого інвертора напруги в системі MATLAB для електроприводу бурової лебідки потужністю двигуна 630 кВт (рис. 2).

MatLab - модель включає наступні елементи:

- трифазне джерело синусоїдальної напруги, що імітує трифазну промислову мережу на напругу 6 кВ, частотою 50 Гц при повній потужності трифазного короткого замикання 300 МВА (Three-Phase Power Grid);
- багатообмотковий трансформатор (Multi Winding Transformer);
- інверторні комірки H-bridge (A1-A5, B1-B5, C1-C5);
- блок, що моделює резистивний опір протяжної кабельної лінії від перетворювача до затискачів електродвигуна (Three-Phase Cable Resistance);

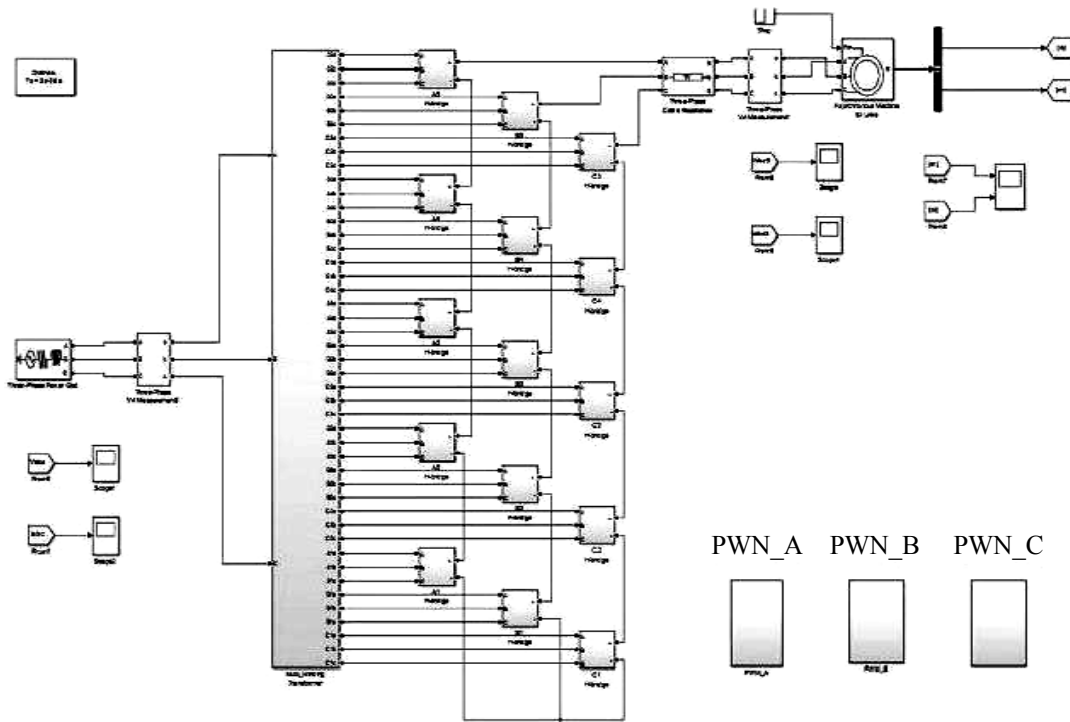


Рис. 2. MatLab-модель електроприводу на базі багаторівневого інвертора напруги

- трифазний асинхронний електродвигун потужністю 630 кВт напругою 6000 В (Asynchronous Machine);
- три блоки формування ШІМ для інверторних комірок відповідних фаз (PWM_A, PWM_B, PWM_C).

Багатообмотковий трансформатор побудований за допомогою з'єднання стандартних блоків Zigzag Fase - Shifting Transformer із завданням необхідного фазового зсуву кожної вторинної обмотки.

MatLab - модель системи управління складається з блоку завдання швидкості і блоку управління інвертором. Використовується принцип векторного управління. Система блоку розрахунку сигналів управління інвертором складається з регулятора швидкості, регулятора поточечплення ротора і блоку обчислення завдання фазних напруг.

Регулятор швидкості являє собою ПІ - регулятор, на входи якого поступають сигнали завдання швидкості і сигнал зворотного зв'язку по швидкості ротора електродвигуна. Значення струмів по поздовжній і поперечній осях I_d і I_q отримуємо за допомогою блоку *abc_to_dq Transformation*, на вхід якого подаються сигнали зворотного зв'язку по фазним струмам статора і розраховані значення синуса і косинуса кута положення вектора потокозчеплення ротора. Кут положення вектора потокозчеплення ротора знаходиться за виразами:

$$i_q = \frac{2}{3} \cdot \left[i_a \cdot \cos \theta + i_b \cdot \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) + i_c \cdot \cos\left(\theta - \frac{4\pi}{3}\right) \right],$$

$$i_d = \frac{2}{3} \cdot \left[i_a \cdot \sin \theta + i_b \cdot \sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) + i_c \cdot \sin\left(\theta - \frac{4\pi}{3}\right) \right].$$

$$\theta = \int_0^T (\omega_r + \omega_m) dt,$$

де $\omega_r = L_m^* \cdot I_q / (T \cdot \Psi_r)$ – швидкість обертання ротору; ω_m – механічна швидкість ротору, а струми завдання розраховуються за виразами:

$$I_q^* = \frac{\Psi_r}{L_m^*}, \quad I_d^* = \frac{(L_m^* + L_2) \cdot \Psi_r}{L_m^* \cdot T_B^*}.$$

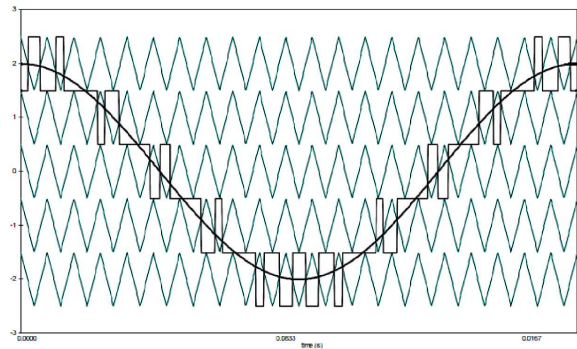


Рис. 3. Принцип формування імпульсів управління транзисторами однієї фази

Розраховані струми керування I_{d_reg}, I_{q_reg} отримуються у відповідних блоках, які являються дискретними ПІ-регуляторами. Сигнали управління інвертором розраховуються виконанням зворотного переходу від системи координат dq в abc:

$$u_{a_reg} = I_{d_reg} \cdot \sin \theta + I_{q_reg} \cdot \cos \theta,$$

$$u_{b_reg} = 0,5 \cdot \left[(\sqrt{3} \cdot \sin \theta - \cos \theta) \cdot I_{q_reg} - (\sin \theta - \sqrt{3} \cos \theta) \cdot I_{d_reg} \right],$$

$$u_{c_reg} = -u_{a_reg} - u_{b_reg}.$$

Блоки формування і розподілу імпульсів управління (PWM_A, PWM_B, PWM_C) представляють собою ШІМ генератори, що передають імпульси управління транзисторам Н-мостових комірок відповідного рівня. Формування імпульсів управління транзисторами кожної фази відбувається порівнянням п'яти рівнів пилоподібної опорної напруги і однієї синусоїдальної обвідної заданої частоти, як показано на рис. 3.

Синтезована Malab - модель лебідки дозволяє в реальному часі проводити дослідження статичних і динамічних режимів її роботи, а також перехідних процесів, що відбуваються в системі. На рис. 4, 5 представлені осцилограми електромагнітного моменту на валу двигуна і швидкості обертання ротора при розгоні електродвигуна до номінальної швидкості і набірні статичного навантаження.

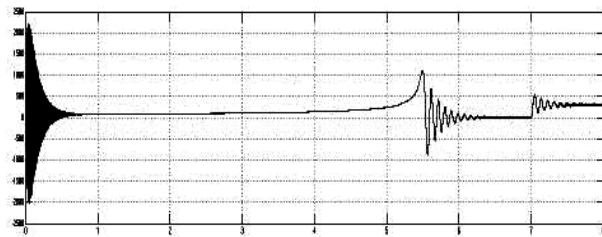


Рис. 4. Осцилограми електромагнітного моменту електродвигуна при пуску, розгоні до номінальної швидкості і набірні статичного навантаження

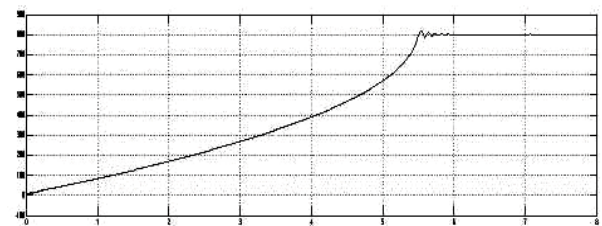


Рис. 5. Осцилограми швидкості обертання валу електродвигуна при пуску, розгоні до номінальної швидкості і набірні статичного навантаження

На рис. 6, 7 показані осцилограми напруги і струму на виході багаторівневого інвертора напруги. На стадії робочого проектування електроприводних бурових установок необхідно приділяти увагу побудові комп'ютерної моделі, що розробляється, і аналізу можливих сталей і перехідних режимів роботи агрегатів.

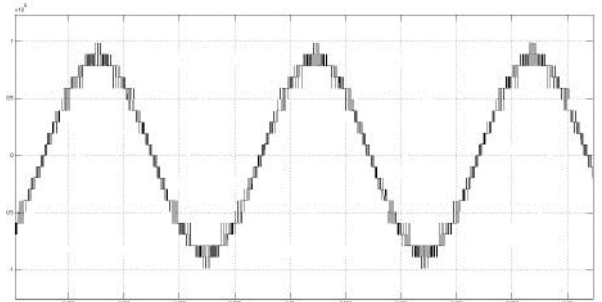


Рис. 6. Осцилограми напруги на виході багаторівневого інвертора напруги

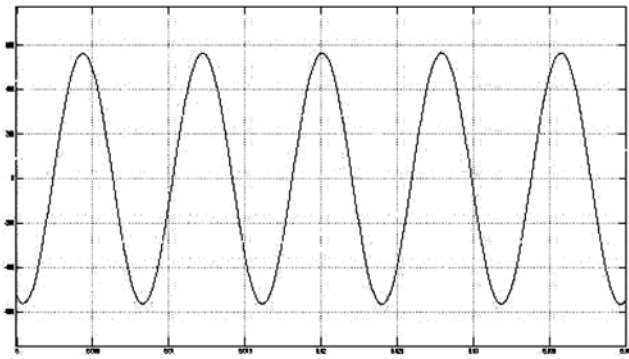


Рис. 7. Осцилограми струму на виході багаторівневого інвертора напруги

Дана модель може бути використана для аналізу режимів роботи на стадії розробки проектно-документації.

Представлені результати дослідження частотно-регульованого електроприводу спуско-підйомного агрегату на базі багаторівневого інвертора напруги. Розглянуто вплив перетворювача частоти на живильну мережу і електродвигун.

Результати моделювання показали високу ефективність застосування багаторівневої топології побудови силової частини високовольтного інвертора для електроприводних бурових установок.

Можна зазначити, що для збереження електроенергії, досягнення плавності пуску та роботи під час спуско-підйомних операцій доцільно використовувати багаторівневий, або каскадний інвертор напруги. Також з досягненням плавності старту обертання барабану майже на 25...30 % зменшується зношення деталей механічної частини лебідки.

З наявних в серійному виробництві найбільш підходящими, на наш погляд, для приводу бурових установок є перетворювачі частоти Yaskawa серії FSDrive-MV1S. Вони відомі як суперенергозберігаючі високовольтні перетворювачі загального призначення, які призначені для керування асинхронними двигунами потужністю від 132 до 5000 кВт з напругою живлення 3-11 кВ. Перетворювачі FSDrive-MV1S підходять для застосувань як зі змінним (насоси, вентилятори, підйомне обладнання), так і з постійним моментом на валу двигунів (екструдери, міксери, обертові печі). Багаторівневий вихідний сигнал перетворювачів дозволяє отримати синусоїдальну форму вихідної напруги без застосування додаткових фільтрів. Таким чином, ККД перетворювачів FSDrive-MV1S досягає 97%.

Завдяки використанню багатообмотувальних вхідних трансформаторів і структури силової схеми з великим числом комірок, струм споживаний перетворювачем частоти має практично синусоїдальну форму, що забезпечує відповідність показників якості мережі. При цьому коефіцієнт потужності перевищує 95% у всьому швидкісному діапазоні без використання зовнішніх конденсаторів для його під-

вищення. При роботі з низькою швидкістю приводи є найбільш ефективними, тому що на всьому швидкісному діапазоні підтримується стабільно високий коефіцієнт електричної потужності з використанням стандартних асинхронних двигунів.

Основними перевагами каскадної багаторівневої системи є:

- висока якість вихідної напруги і струму;
- багаторівнева схема формування вихідної напруги забезпечує синусоїдальну форму вихідного струму при практично повній відсутності вищих гармонік;
- висока якість споживаного з мережі струму і, відповідно, гарна електромагнітна сумісність з системою електропостачання;
- інтегрований силовий багатообмотувальний трансформатор в складі єдиного щита і новітня схема побудови перетворювальної частини забезпечують синусоїдальність споживаного струму і практично повну відсутність впливу на мережу живлення вищих гармонік; високий коефіцієнт потужності і високий ККД;
- підвищена надійність роботи, так як навіть у разі відмови декількох силових комірок продовжиться регулювання електродвигуна зі зниженням вихідної потужності до планового ремонту перетворювача;
- відсутність необхідності установки вихідних фільтрів електродвигуна для поліпшення форми вихідного струму;
- потужність від сотень кВт до десятків МВт;
- діапазон вихідних напруг від 2 кВ до 14,5 кВ;
- вихідна частота до 250 Гц.

Висновки

Отже, багаторівневий інвертор напруги на сьогоднішній день є найбільш перспективною тополо-

гією побудови силових частин високовольтних перетворювачів частоти для регульованого електроприводу бурових установок.

Список літератури

1. Гузев Б.В., Хакимьянов М.И. *Современные промышленные высоковольтные преобразователи частоты для регулирования асинхронных и синхронных двигателей* // *Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело»*, 2011, № 3 <http://www.ogbus.ru>
2. Преобразователь частоты синхронный высоковольтный серии ПЧСВ. *Руководство по эксплуатации [Электронный ресурс]* // Инженерная компания "ТЕХНОРОС": [сайт]. URL: <http://www.technoros.spb.ru/vvpc-pcsv.html> (дата обращения 10.11.2016).
3. Преобразователи частоты тиристорные серии ПЧИТ: *Руководство по эксплуатации [Электронный ресурс]* // Инженерная компания "ТЕХНОРОС": [сайт]. URL: <http://www.technoros.spb.ru/vvpc-pcit.html> (дата обращения 12.11.2016).
4. Л.С. Ломакина, Д.Г. Садилов, В.Г.Титов. *Энергосберегающий регулируемый электропривод газоперекачивающего агрегата* // *Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева* . 2014. № 5(107).
5. Колпаков А. Алгоритмы управления многоуровневыми преобразователями / А. Колпаков, Е. Карташев // *Силовая электроника*. 2009. №2. С. 57–65.
6. Садилов, Д.Г. Выбор перспективной топологии построения преобразователя частоты для высоковольтного электродвигателя электроприводного газоперекачивающего агрегата // *Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона»*, 2014. №1.
7. Лазарев Г.Б. *Высоковольтные преобразователи для частотно-регулируемого электропривода. Построение различных систем* // *Новости электротехники*. 2005. № 2 (32). С. 30-36.

Надійшла до редколегії 14.04.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.В. Шульга, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава.

СРАВНЕНИЕ И ВЫБОР ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ БУРОВЫХ УСТАНОВОК

Н.В. Ермилова, С.И. Калов

Проанализированы структуры и конструктивные особенности современных высоковольтных преобразователей частоты. Приведен краткий анализ схем и элементов преобразователей частоты: многофазных трансформаторов, силовых ячеек, фильтров. Построена и исследована MatLab-модель электропривода буровой лебедки. Сделан анализ перспектив развития высоковольтных преобразователей частоты и их применения в мощных электроприводах буровых установок.

Ключевые слова: высоковольтный преобразователь частоты, буровая установка, регулируемый электропривод, силовая ячейка, трансформатор, асинхронный двигатель.

COMPARISON AND SELECTION OF HIGH-FREQUENCY CONVERTERS FOR ELECTRIC DRIVE OF DRILLING RIGS

N.V. Yermilova, S.I. Kalov

We analyzed the structure and design features of modern high-frequency converters. A brief analysis of the circuit elements and frequency converters: multi-phase transformers, power cells, filters. Constructed and investigated MatLab-model electric drawworks. The analysis of the prospects for the development of high-voltage frequency converters and their use in high-power electric drives of drilling rigs.

Keywords: high-voltage frequency converter, drilling rig, regulated electric drive, power cell, transformer, induction motor.