



УДК 681.527:2:622.24

**AUTOMATIC FREQUENCY REGULATION OF THE SPEED OF THE
ASYNCHRONOUS MOTOR OF THE ELECTRIC DRILL
АВТОМАТИЧНЕ ЧАСТОТНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ АСИНХРОННОГО
ДВИГУНА ЕЛЕКТРОБУРА**

Shavranskyi M.V. / Шавранський М.В.

ORCID: 0000-0001-6636-1069

Kuchmystenko O.V. / Кучмистенко О.В.

ORCID: 0000-0002-0457-7611

Mateik H. / Матеїк Г.Д.

0000-0003-0286-389X

Zvarych H. / Зварич Г.Г.

ORCID: 0000-0002-7866-542X

*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,**Ivano-Frankivsk, Karpatskaya, 15,76019**Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,**Івано-Франківськ, вул.Карпатська,15,76019*

Анотація. У роботі розглядається структурна схема частотного регулювання швидкості зануреного приводу електробура, яка, на відміну від існуючих, передбачає застосування інвертора струму і живлення його за системою "один провід - труба". Наведені переваги запропонованого методу частотного регулювання швидкості асинхронного двигуна електробура.

Ключові слова: електробур, частотне регулювання, асинхронний двигун, оптимальна швидкість.

Вступ

Синтез ефективних систем автоматичного частотного регулювання швидкості асинхронних двигунів електробурів є актуальною науково-практичною задачею, у зв'язку з інтенсивним впровадженням в нафтогазовидобувній галузі комп'ютерно-інтегрованих технологій буріння похило-спрямованих свердловин.

Проте, аналіз літературних джерел [1÷5 та ін.] показує недостатній об'єм проведених досліджень в напрямку створення ефективних методів і систем автоматизованого частотного регулювання швидкості асинхронних двигунів електробурів.

Тому метою даної статті є розроблення функціональної і структурної схем системи автоматичного частотного регулювання швидкості асинхронного двигуна електробура, використання якої дає змогу здійснювати процес поглиблення похило-спрямованих свердловин з оптимальними параметрами режиму буріння, зокрема з оптимальною швидкістю двигуна електробура.

Основний текст

Створення оптимальної системи частотного регулювання для двигуна електробура пов'язано з задовільненням основних умов технології буріння свердловин глибиною до 5-7 тис.м. Вимоги до цих систем із врахуванням розробок відомих світових фірм можна сформулювати наступним чином:



- перетворювач частоти повинен мати систему керування, що забезпечує роздільне регулювання частоти та напруги для стійкої роботи двигуна по всій глибині свердловини з врахуванням фізико-механічних властивостей гірських порід та довжини струмопроводу;
- система керування перетворюючою установкою повинна автоматично забезпечувати необхідну швидкість обертання долота і кратність найбільшого моменту двигуна, тобто потрібну перевантажувальну здатність машини на глибині свердловини до 5 - 7 тис. м ;
- тиристорний перетворювач частоти має володіти надійним захистом всієї системи, включаючи струмопровід.

Результати аналізу показали, що розробити і створити керований занурений двигун електробуру при живленні його від частотного перетворювача можна за двома напрямками [2] :

- встановленням на поверхні наземного перетворювача частоти, побудованого на тиристорах, і живленням занурювального двигуна по системі струмопроводу "два проводи - труба";
- встановленням на поверхні керованого випрямляча на тиристорах і зануреного інвертора з регулюванням вихідної напруги і частоти. При цьому живлення зануреного електродвигуна напругою 1500-2000 В можна здійснити, використовуючи струмопровід "один провід - труба".

Вперше питанню створення зануреного автономного інвертора була присвячена робота Г.В.Аранчія та ін [2]. Автори розглядають загальні питання створення оптимальної системи живлення двигуна електробура і висувують основні вимоги до такої системи: необхідність передачі потужності з поверхні до електробуру по системі "один провід - труба" і забезпечення можливості регулювання частоти в межах від 50 до 15 Гц для серійних електробурів.

Існують різні типові схеми автономних інверторів за способом генерування реактивної енергії та принципу комутації струмів у вентилях і фазах. Нами проведено аналіз наступних схем : схеми паралельного інвертора; автономного інвертора за схемою двійна зірка з зрівнюючою котушкою і комутуючими конденсаторами; схеми автономних інверторів з відсікаючими вентилями і з додатковими керуючими вентилями.

На основі результатів глибокого аналізу і експериментальних досліджень рекомендована для живлення занурених двигунів електробурів схема автономного інвертора в зануреному виконанні з некерованими відсікаючими вентилями (рисунок 1).

Схема має досить просту будову, нескладну систему керування вентилями та ряд інших переваг. При розробці системи автоматичного керування швидкістю двигуна електробура необхідно враховувати механічну характеристику долота і можливі динамічні зусилля, що виникають в процесі розбурювання гірської породи при заглибленні свердловини.

При дослідженні тиристорного перетворювача частоти для керування електробуром і виявлення показників якості системи автоматичного регулювання швидкістю асинхронного зануреного двигуна в найбільш тяжких умовах роботи досліди проводилися на електроприводі з тяговим навантаженням



[2,4]. Така система близька до режимів роботи електробуру і має більшу надійність при усіх можливих статичних і динамічних режимах буріння.

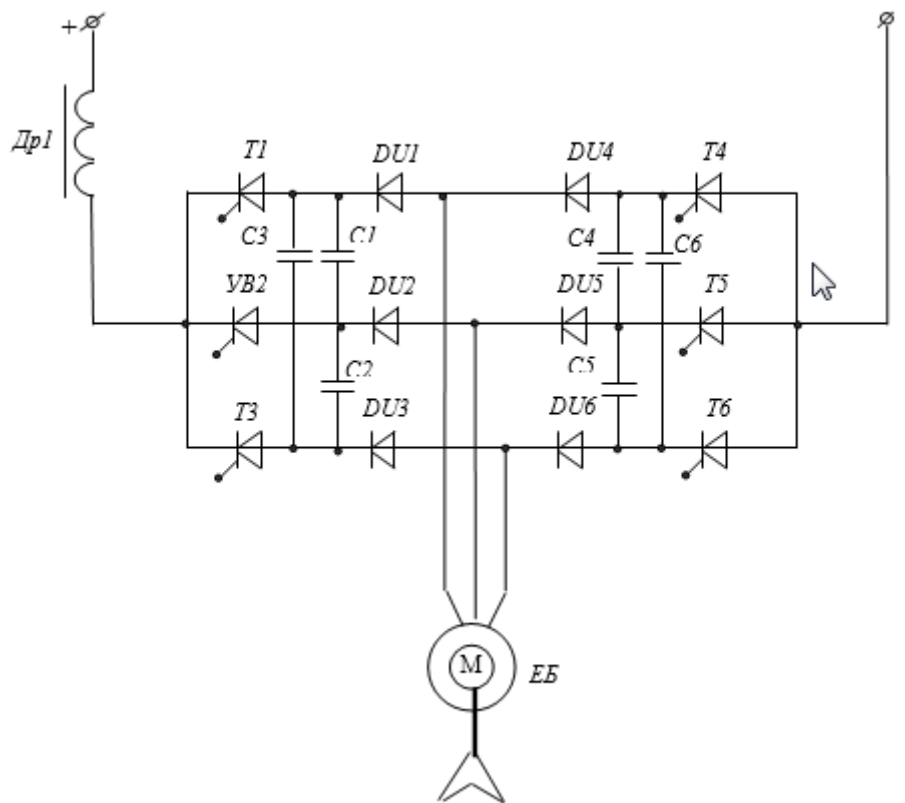


Рисунок 1 – Схема зануреного автономного інвертора

Джерело: [1]

Розроблена і випробувана система, що забезпечує постійну потужність P на валі асинхронного двигуна при переході з однієї швидкості на іншу. Така система дає змогу дослідити як статичні режими роботи, так і динамічні при зміні обертового моменту на валі, забезпечуючи при цьому реальні умови динамічних переходів з однієї швидкості на іншу..

На рис. 2 подана схема, що пропонується для частотного керування асинхронного двигуна і автоматизації регулювання швидкості асинхронного двигуна. Вона складається з керованого випрямляча (зі схемою керування), зібраного з тиристорних перетворювачів, трифазного паралельного інвертора напруги (зі схемою керування) з обмежуючим комутуючими ємностями і асинхронного двигуна M .

При зміні моменту на валі M змінюється струм асинхронного двигуна I_0 . Ця зміна струму через трансформатор струму ТА та випрямляч DU подається в обмотку керування підсилювача ПД2, від якого через фільтр і дільник R_1, R_3 живиться задаючий генератор схеми керування інвертора, визначаючий вихідну частоту перетворювача. Обмотки керування і зміщення підсилювача включені так, що при збільшенні моменту на валі асинхронного двигуна напруга на виході підсилювача зменшується, а отже й частота задаючого генератора зменшується обернено пропорційно струму асинхронного двигуна M . Відповідно зменшується частота f_i вихідної напруги інвертора. При зменшенні моменту на валі асинхронного двигуна M частота вихідної напруги зростає.

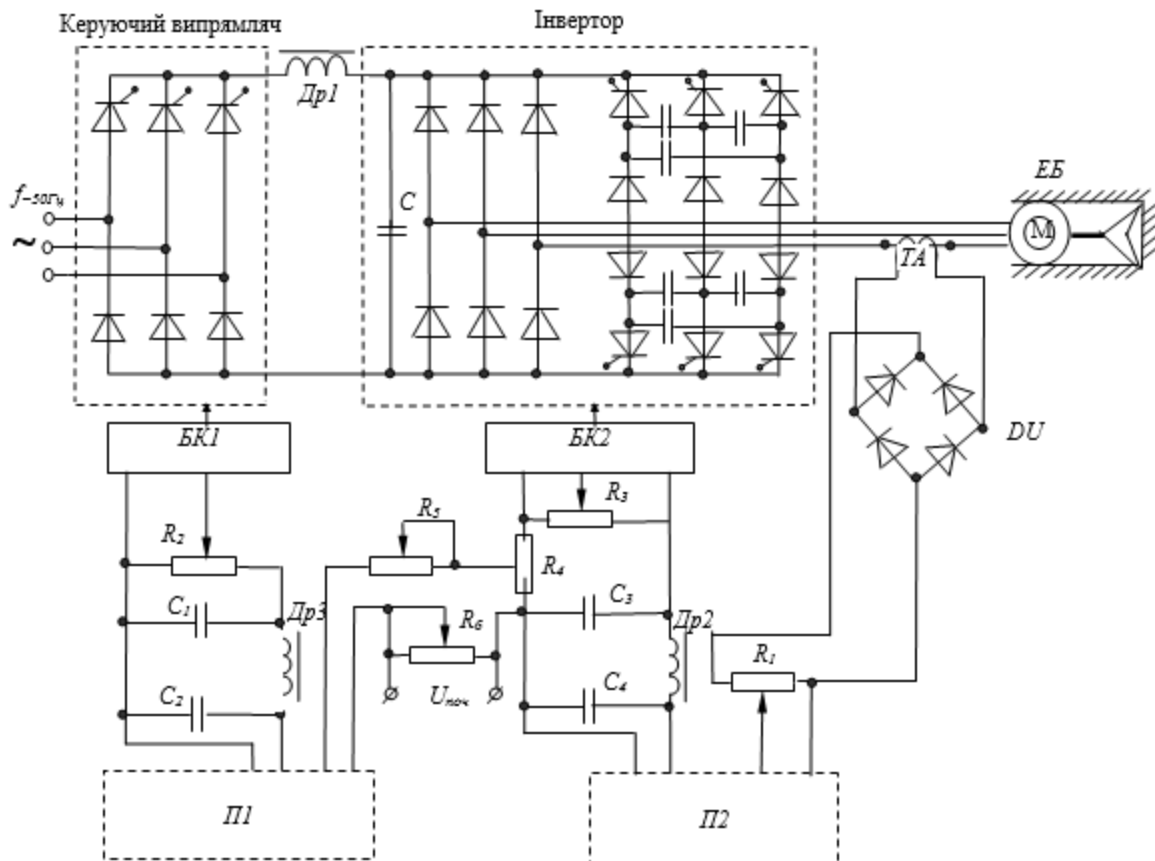


Рисунок 2 - Схема частотного керування асинхронним двигуном електробура

Джерело: [1]

У відповідності зі зміною частоти f_i необхідно змінювати і напругу U_i (за допомогою керуючого випрямляча, керування яким здійснюється через систему з підсилювачем TI) на затискачах асинхронного двигуна за заданим законом при $P = \text{const}$, тобто $\frac{U}{f} = \text{const}$. де U - напруга на затискачах асинхронного двигуна у відносних одиницях; f - частота напруги на затискачах M у відносних одиницях.

Для забезпечення цього закону необхідно змінювати кут регулювання тиристорів α шляхом зміни напруги на опорі R_2 в залежності від частоти за певним законом. Враховуючи, що вихідна характеристика регульованого випрямляча і характеристики підсилювачів є нелінійними, важко отримати аналітичну залежність струму керування від напруги на випрямлячі. Тому цю залежність отримують експериментально. Перевага даної схеми підтримання $P = \text{const}$ - її простота, недолік - неможливість підтримання потужності на валі при регулюванні швидкості в широких межах. На рис. 3 подана структурна схема системи автоматичного регулювання швидкості двигуна електробура.

Для вдосконалення зануреного електроприводу електробура пропонується в схемі (рисунок 2) використати занурений автономний інвертор (рисунок 1). Враховуючи те, що на даний час не існує зануреного інвертора (струму або напруги), який випускає промисловість в Україні чи за кордоном, тому



пропонується структурна схема автоматичного частотного регулювання швидкістю зануреного електроприводу зі зворотнім зв'язком за швидкістю.

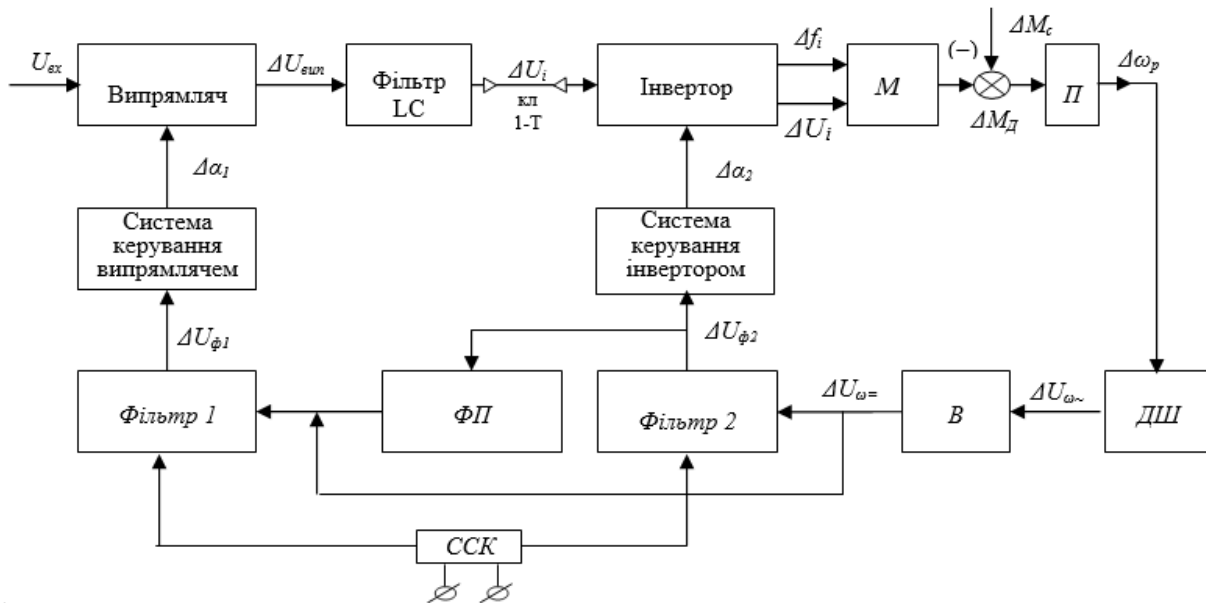


Рисунок 3 - Структурна схема автоматичного частотного регулювання швидкості асинхронного двигуна електробура зі зворотнім зв'язком за швидкістю

Джерело: [3]

Структурна схема (рисунок 3) передбачає застосування керуючого високовольтного випрямляча, на вхід якого подається напруга змінного струму U_{ex} . На виході випрямляча отримуємо напругу постійного струму ΔU_{vin} , що може змінюватися у широкому діапазоні. Після фільтра LC постійна напруга ΔU_i по системі струмопідводу "один провід - труба" 1-Т подається на занурений інвертор. Занурений інвертор, через занурений контактор, подає живлення до статора зануреного двигуна електробура ΔU_i зі змінною частотою Δf_i . Системи керування випрямлячем і інвертором через фільтри 1 і 2 та через блок синхронного керування відповідно зв'язані з керуючими електродами тиристорів. Зміна кута відкриття тиристора $\Delta \alpha_1$ дозволяє змінювати величину вхідної напруги, а інвертора $\Delta \alpha_2$ - величину вихідної частоти Δf_i . Отже, на вхід зануреного електродвигуна подається регульована змінна напруга U_{\sim} і частота Δf_i . На виході електродвигуна маємо потрібний крутний момент ΔM_d .

Для створення системи автоматичного частотного регулювання швидкості зануреного двигуна електробура бажане використання зворотніх зв'язків додатного зворотнього зв'язку за струмом і від'ємного - за швидкістю [3]. В структурній схемі (рисунок 3) пропонується зворотній зв'язок за швидкістю, для чого використовується давач швидкості ДШ, який отримує сигнал від перетворювача П, що знаходиться на валі зануреного двигуна. Від давача швидкості ДШ через випрямляч В сигнал, пропорційний поточному значенню швидкості, подається на вхід фільтрів 2 і 1 та на системи керування випрямлячем і інвертором. Останні змінюють кути керування тиристорами $\Delta \alpha_1$ та $\Delta \alpha_2$, і, відповідно, напругу і частоту.



Висновок.

Отже, запропоновано структурну схему частотного регулювання швидкості зануреного приводу електробура, яка на відміну від існуючих, передбачає застосування зануреного інвертора напруги і живлення його за системою "один провід - труба", що дозволить збільшити надійність струмопідводу в порівнянні з системою "два проводи - труба", і зменшити втрати електричної енергії, особливо при бурінні свердловин глибиною більше 3000 м.

Література:

- 1 Семенцова А.О. Автоматизований електропривід в нафтогазовій промисловості. Навч. посібник. – Івано-Франківськ: "Факел". - 2001. - 174 с.
- 2 Alread W., Buorque S., Mannering V.,m Chapmen C., Castel B. Drilling automation / Oilfield Review. 2012. № 2. P. 18-27.
3. Горбійчук М.І. Оптимізація процесу буріння глибоких свердловин / М.І.Горбійчук, Г.Н.Семенцов. – Івано-Франківськ: Нова Зоря, 2003. – 493 с.
4. Pirovolou D. Drilling automation: An automatic trajectory-control system / JPT. Desember 2011. P. 84-87. Режим доступу: <http://dx.doi.org/10.2118/1211-0084-JPT>.

***Abstract.** The work considers the structural diagram of the frequency regulation of the speed of the submerged drive of an electric drill, which, unlike the existing ones, involves the use of a current inverter and its power supply according to the "one wire - pipe" system. The advantages of the proposed method of frequency control of the speed of an asynchronous motor of an electric drill are given.*

***Key words:** electric drill, frequency control, asynchronous motor, optimal speed.*

Статья відправлена: 14.03.20232 г.

© Шавранський М.В., Кучмистенко О.В., Матеїк Г.Д., Зварич Г.Г.