

ЕЛЕКТРОПРИВОДИ ОСНОВНИХ МЕХАНІЗМІВ БУРОВОЇ УСТАНОВКИ ЗА СХЕМОЮ АСИНХРОННОГО ВЕНТИЛЬНОГО КАСКАДУ

© Винницький В. М., Лонкевич Є. С., Чупило І.В., 2007

Застосовано регулювання швидкості асинхронного двигуна з фазним ротором з рекуперацією енергії ковзання для електроприводів бурової установки з насосами та лебідкою. При високій швидкості потужність ковзання, що віддається в мережу живлення, зменшується, і тому потужність перетворювача запропоновано в 2–5 разів меншою від номінальної потужності двигуна. Жодна інша система регулювання швидкості не може забезпечити таких результатів.

Speed control of an asynchronous motor by recovery of rotor energy can apply itself to many problems concerning drives at variable speed (drilling installations with the pumps and the winch, ventilators, compressors, etc...). At a high speed the slip power recovered to the network supply decreases and the power of the convert system may be 2–5 or more times lower than the nominal power of the motor. No else speed control system can obtain such a results.

Постановка проблеми. Технологія буріння глибоких свердловин передбачає використання електроприводів основних механізмів бурової установки з широким діапазоном регулювання швидкості, що забезпечує ефективне проведення всіх технологічних операцій. Для потужних електроприводів використовуються високовольтні двигуни, а перетворювачі, переважно, працюють на напрузі до 1000 В. При цьому виникає необхідність використання потужного трансформатора (потужність трансформатора дорівнює потужності двигуна плюс запас на можливе зниження напруги мережі (10–20 %), для зниження напруги мережі живлення (6000 В) до напруги роботи перетворювача. Після перетворення напруга необхідної величини та частоти через додатковий трансформатор аналогічної потужності подається на високовольтний двигун. У іншому випадку необхідно використовувати двигуни на напругу до 1000 В потужністю 630–1100 кВт. Додаткові потужні трансформатори значно збільшують вартість, вагу та габарити електрообладнання. Існують унікальні високовольтні перетворювачі частоти, до складу яких такі трансформатори не входять, проте вартість їх значно перевищує вартість перетворювачів на напругу до 1000 В.

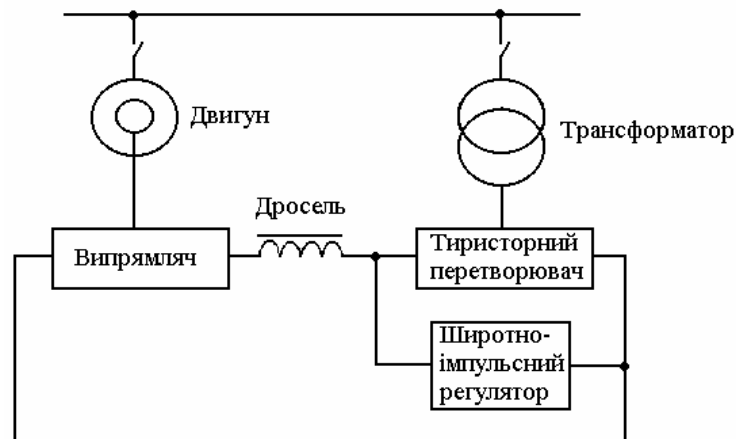
Аналіз останніх досліджень. Перспективнішим вважається електропривід змінного струму, який використовує надійніші асинхронні двигуни, вартість яких значно менша. Вартість тиристорного перетворювача електропривода постійного струму в 6–9 разів менша від вартості перетворювача частоти. Проте, вартість двигуна постійного струму в 3–5 разів більша від вартості двигуна змінного струму, експлуатаційні витрати також значно більші, а надійність значно менша. Зменшення вартості перетворювачів і зростання вартості двигунів і трансформаторів забезпечує кращі перспективи для електропривода змінного струму.

Електропривід змінного струму по схемі асинхронного вентильного каскаду (АВК див. рисунок) використовує асинхронний двигун з фазним ротором і тиристорний перетворювач (ТП), аналогічний тому, що використовується в електроприводі постійного струму*. Така схема поєднує

* Яцун М.А., *Електричні машини: Навч. посібник.* – Львів: Вид-во Нац. ун-ту "Львівська політехніка", 2004. – 440 с.

переваги електроприводів постійного та змінного струму. Такий електропривід використовує надійний і дешевий асинхронний двигун і дешевий тиристорний перетворювач.

Принциповою перевагою електропривода за схемі АВК є передавання через тиристорний перетворювач і відповідно через його силовий трансформатор потужності ковзання асинхронного двигуна, яка є лише частиною потужності двигуна. У всіх інших схемах регулювання швидкості, як змінного, так і постійного струму, потужність перетворювача і відповідно його силового трансформатора вибирається на номінальну потужність двигуна плюс запас на можливе зниження напруги мережі (до 20 %).



Принципова схема асинхронного вентильного каскаду

Задачі досліджень. Вартість електроприводів основних механізмів становить значну частину загальної вартості бурової установки. Для основних механізмів бурової установки необхідно забезпечити короточасну роботу в широкому діапазоні регулювання швидкості та тривалу роботу в діапазоні 20–30 % при малій масі та габаритах перетворювальної установки. Враховуючи значну вартість електроприводів основних механізмів бурової установки, необхідно вибрати варіант, що забезпечує вимоги при мінімальній вартості електрообладнання.

Виклад основного матеріалу. Електроприводи працюють переважно з швидкостями, близькими до номінального значення (70–80 %). Потужність ковзання, яка при цьому передається через перетворювач у схемі АВК, становить тільки 20–30 % потужності двигуна. У разі зростання швидкості до номінального значення, потужність ковзання зменшується практично до нуля. У всіх інших схемах регулювання швидкості потужність необхідна для живлення двигуна у відповідних режимах, становить 70–80 % і зростає до 100 % під час зростання швидкості до номінального значення.

Така особливість схеми АВК дає можливість розробити електропривід змінного струму з широким діапазоном регулювання швидкості при значно меншій (в 2–5 разів) потужності перетворювальної установки. Це, своєю чергою, забезпечує значне зменшення ціни, втрат електроенергії і покращання масогабаритних показників електропривода.

Момент навантаження, який створює буровий насос, залежить від швидкості обертання і його можна описати таким рівнянням:

$$M = M_{xx} + K\omega^2, \quad (1)$$

де M_{xx} – момент при неробочому ході насоса, можна прийняти $M_{xx} = 0,2M_H$; M_H – номінальний момент насоса; ω – швидкість обертання.

Момент двигуна можна описати таким рівнянням:

$$M_H = C\Phi I_D, \quad (2)$$

де $C\Phi$ – коефіцієнт, що характеризує магнітне поле двигуна; I_D – випрямлений струм ротора двигуна.

З рівнянь (1) і (2) можна визначити залежність між випрямленим струмом ротора двигуна та його швидкістю обертання:

$$I_D = 0,2I_{DH} + K_1\omega^2 \quad (3)$$

Швидкість обертання двигуна в схемі АВК визначається величиною проти-ЕРС тиристорного перетворювача. При зменшенні проти-ЕРС швидкість двигуна зростає і при нулю проти-ЕРС швидкість двигуна максимальна. При регулюванні проти-ЕРС за допомогою широтно-імпульсного регулятора (ШІР), утворюється коло для протікання струму двигуна в обхід ТП. При замиканні ШІР струм двигуна протікає через ШІР, а проти-ЕРС тиристорного перетворювача в цей момент дорівнює нулю. При зростанні часу замкненого стану ШІР величина проти-ЕРС зменшується, швидкість двигуна зростає, зростає струм через ШІР і відповідно зменшується струм ТП. При максимальній швидкості двигуна весь його струм протікає через ШІР. Використання ШІР в схемі АВК призводить до зменшення струмів ТП та його силового трансформатора. При цьому виникає можливість вибирати силовий трансформатор значно меншої потужності. Використання ШІР значно зменшує масу дросселя за рахунок роботи на значно вищих частотах. Крім того, використання ШІР для регулювання швидкості двигуна при максимальній проти-ЕРС ТП забезпечує мінімальне споживання реактивної потужності тиристорним перетворювачем.

Струм через ТП при роботі в схемі АВК з ШІР визначається рівнянням

$$I_{TP} = I_D \frac{\omega_H - \omega}{\omega_H - \omega_{\min}} = I_D K_{ШІР}, \quad (4)$$

де I_D – струм двигуна; ω_H – номінальна швидкість двигуна; $\omega_{\min}$ – мінімальна швидкість двигуна, якщо діапазон регулювання обмежений.

Розрахунки струмів ТП для насоса та лебідки під час використання електропривода за схемою АВК з різним діапазоном регулювання швидкості наведені в табл. 1–6. Швидкість та струми наведені у відносних одиницях. Момент навантаження лебідки прийнято незалежним від швидкості та таким, що дорівнює номінальному моменту двигуна.

Значне зменшення струмів ТП і відповідно силового трансформатора в основних режимах роботи дає можливість використати електрообладнання значно меншої потужності.

Для електропривода бурового насоса за схемою АВК при діапазоні регулювання швидкості 50 % (табл. 1) вихідна напруга має становити 50 % напруги ротора двигуна, а потужність трансформатора:

$$P_{TP}^* = 0,5U_D^* \cdot 0,4I_{TP}^* = 0,2P_D^*$$

Таблиця 1

Насос. Діапазон 50 %

ω^*	I_d^*	$K_{ШІР}$	I_{TP}^*
0,5	0,4	1,0	0,40
0,6	0,488	0,8	0,390
0,7	0,592	0,6	0,355
0,8	0,712	0,4	0,285
0,9	0,848	0,2	0,170
1,0	1,0	0	0

$$P_{TP}^* = 0,5U_D^* \cdot 0,4I_{TP}^* = 0,2P_D^*$$

Таблиця 2

Лебідка. Діапазон 50 %

ω^*	I_d^*	$K_{ШІР}$	I_{TP}^*
0,5	1,0	1,0	1,0
0,6	1,0	0,8	0,8
0,7	1,0	0,6	0,6
0,8	1,0	0,4	0,4
0,9	1,0	0,2	0,2
1,0	1,0	0	0

$$P_{TP}^* = 0,5U_D^* \cdot 1,0I_{TP}^* = 0,5P_D^*$$

Необхідно врахувати, що електропривід бурової лебідки працює з вузьким діапазоном регулювання швидкості (не більше 20 %). Робота з малими швидкостями необхідна лише для витравлення слабину канатів, момент навантаження при цьому мінімальний. Пуск відбувається з обмеженням моменту на початку та швидким розгоном до основного діапазону регулювання швидкості. В основному діапазоні регулювання швидкості ($\omega = 0,8 \dots 1,0$) трансформатор завантажений потужністю $P_{TP}^* = 1,0U_D^* \cdot 0,2I_{TP}^* = 0,21P_D^*$ (див. табл. 6).

Під час вибору потужності трансформатора необхідно врахувати значне короткочасне перевантаження при пуску та повторно-короткочасний режим роботи, що зменшує навантаження.

Наведені результати розрахунків потужності трансформатора тиристорного перетворювача в схемі АВК з ШІР показують, що розширення діапазону регулювання швидкості бурового насоса та лебідки не призводить до помітного зростання потужності трансформатора.

Таблиця 3

Насос. Діапазон 70 %

ω^*	I_d^*	$K_{шир}$	$I_{тп}^*$
0,3	0,272	1,0	0,272
0,4	0,328	0,857	0,281
0,5	0,4	0,714	0,286
0,6	0,488	0,571	0,279
0,7	0,592	0,429	0,254
0,8	0,712	0,286	0,203
0,9	0,848	0,143	0,121
1,0	1,0	0	0

$$P_{тп}^* = 0,7U_D^* * 0,29I_{тп}^* = 0,2P_D^*$$

Таблиця 4

Насос. Діапазон 30 %

ω^*	I_d^*	$K_{шир}$	$I_{тп}^*$
0,7	0,592	1,0	0,592
0,8	0,712	0,667	0,475
0,9	0,848	0,333	0,283
1,0	1,0	0	0

$$P_{тп}^* = 0,3U_D^* * 0,6I_{тп}^* = 0,18P_D^*$$

Таблиця 5

Насос. Діапазон 100 %

ω^*	I_d^*	$K_{шир}$	$I_{тп}^*$
0	0,2	1,0	0,2
0,1	0,208	0,9	0,187
0,2	0,232	0,8	0,186
0,3	0,272	0,7	0,190
0,4	0,328	0,6	0,197
0,5	0,4	0,5	0,2
0,6	0,488	0,4	0,195
0,7	0,592	0,3	0,178
0,8	0,712	0,2	0,142
0,9	0,848	0,1	0,085
1,0	1,0	0	0

$$P_{тп}^* = 1,0U_D^* * 0,2I_{тп}^* = 0,2P_D^*$$

Таблиця 6

Лебідка. Діапазон 100 %

ω^*	I_d^*	$K_{шир}$	$I_{тп}^*$
0	1,0	1,0	1,0
0,1	1,0	0,9	0,9
0,2	1,0	0,8	0,8
0,3	1,0	0,7	0,7
0,4	1,0	0,6	0,6
0,5	1,0	0,5	0,5
0,6	1,0	0,4	0,4
0,7	1,0	0,3	0,3
0,8	1,0	0,2	0,2
0,9	1,0	0,1	0,1
1,0	1,0	0	0

$$P_{тп}^* = 1,0U_D^* * 1,0I_{тп}^* = 1,0P_D^*$$

Висновки. Вартість електропривода змінного струму за схемою асинхронного вентильного каскаду приблизно в 2–3 рази менша від вартості електропривода постійного струму і електропривода змінного струму з перетворювачем частоти. Значно менша (в 2–5 разів) потужність перетворювачів в схемі АВК зменшує негативний вплив на мережу, що особливо має значення в мережах обмеженої потужності, якими є мережі живлення бурових установок. Використання сучасних технічних рішень, наукові напрацювання і досвід розробки електроприводів бурових насосів за схемою АВК на замовлення Уралмашзаводу в НДЛ-7 Національного університету “Львівська політехніка” дає можливість створити електроприводи основних механізмів бурової установки з техніко-економічними показниками принципово недосяжними для інших схем електроприводів.