Вступ

Проектування силового електрообладнання є найбільш містким та складним унаслідок його різноманітності і, як правило включає проектування системи розподілу електроенергії від джерела живлення до споживачів, розташованих уздовж технологічного обладнання, що використане для конкретного виробництва.

При використанні проектів силового електроустаткування дотримуються наступних положень.

1. Дотримання вимог нормативно-технічних документів.
2. Забезпечення електромагнітної сумісності надійності та зручності експлуатації електрообладнання. Максимальна його відповідність технологічному обладнанню та технологічному процесу. Облік досвіду експлуатації електрообладнання на підприємствах.
3. Використання блочно-модульних принципів комплектації електрообладнання. Максимальне використання типових уніфікованих виробів, наявних на підприємстві.
4. Забезпечення на підприємствах методики виконання електромонтажних робіт, наближених до термінових робіт. Використання великих вузлів, блоків та комплектів електрообладнання та мереж, що призводить до зменшення обсягу електромонтажних робіт. Максимальний облік вимог виконання ніш, лотків, отворів в міжповерхових перекриттях капітальних стінах для прокладення кабелів при будівництві будівель та споруд.
5. Забезпечення економічності прийнятих рішень на основі аналізу можливих варіантів. Вибір найбільш економічного із варіантів, рівноцінних за іншими оцінками, а також вибір оптимального запасу за основним показником електроустаткування (потужності, струму навантаження. Температурі та інші).

Розробка проекту починається з ознайомлення з будівлями споруд, технологічне та механічне обладнання. Рішення основних питань при проектуванні виконується у відповідності до ТЗ у наступному порядку:

- розрахунок та вибір електрообладнання;
- вибір живлючих і розподільних мереж;
- вибір системи керування та автоматизації;
- прийняття конструктивних рішень у відношенні установки електрообладнання, монтажу інформаційних та електричних мереж.

Принципи побудови автоматизованих електроприводів механізмів, машин, агрегатів та комплексів, засновані на блочно-модульній ідеології і типізації структур систем керування.

Виконавчі органи робочих машин та технологічних агрегатів, які оснащені індивідуальними електроприводами з електродвигунами (М), керуючими перетворювачами (КП), та контролери приводів, які програмуються (КП). Спільно ці пристрої складають основу комплектного електропривода. Роботу приводів та механізмів, що входять до складу технологічного агрегату, координує технологічний програмований контролер (КТ). Координацію спільної роботи агрегатів технологічного комплексу виконує один з мікроконтролерів (КТ), або промисловий комп’ютер (ПК), що входить до складу станції оператора (СО). Через магістральний перетворювач (МП) здійснюється зв'язок автоматизованого технологічного комплексу (АТК) з розподіленою системою керування технологічним процесом.

Розрахунок автоматизованого електропривода пов’язаний з розрахунком потужності електродвигуна, який виконується у відповідності з режимами S1....S8 роботи механізмів технологічного обладнання на основі навантажувальних та швидкісних діаграм.

Вибір системи електропривода виконується у відповідності до наявної електромережі живлення, необхідних потужності, швидкості, режиму роботи S1....S8 та перевантажувальної здатності електродвигуна, а також на основі вимог до регулювання швидкості (робочого

діапазону, плавної зміни, а також підтримки заданої швидкості, моменту тощо) і динамічним показникам якості процесу регулювання (швидкодії, перерегулюванню та інші).

На вибір системи електропривода можуть впливати також умови пуску механізмів. Багато механізмів (наприклад, конвеєри) вимагають забезпечення пуску під навантаженням, а деякі (наприклад, відцентрові вентилятори головного провітрювання шахт) мають значні інерційні маси. У випадку використання асинхронних короткозамкнених двигунів або синхронних з асинхронним пуском може так статися, що час пуску механізму неприпустимо великий та за цей час двигун буде перегріватися. Завищення потужності та моменту обертання двигуна за вимогами пуску призведе до його недовикористання у режимі робочого функціонування та погіршенню енергетичних показників.

Можливо застосування редукторного або безредукторного привода з тихохідним двигуном. Раціональний вибір може бути виконано на основі техніко-економічного порівняння, яке повинно враховувати не тільки вартість тихохідного або швидкохідного (з додатковим редуктором) двигунів, але й їх масу та габарити, які впливають на необхідні розміри приміщення, фундаменту та затрати на несучі конструкції при його розміщенні.

При номінальній швидкості виконавчого органу не менш 300 рад/с переважним є безредукторний привод з прямим з’єднанням валу двигуна з валом робочої машини (насоса, вентилятора). При меншій швидкості робочого органу вибір неоднозначний, але частіше редукторний привод має меншу масу та габаритні розміри. Для механізмів, не вимогливих до регулювання швидкості, досить порівняння тільки за цими показниками.

Для механізмів з частими пусками та реверсами важливо порівняння двигунів за динамічними показниками. Безредукторні електроприводи більш динамічні та кращі для регулюючих електроприводів, оскільки їх простіше розігнати, гальмувати, регулювати швидкість. Тому вони широко використовуються для шахтних підйомних установок а також прокатних станів.

Безперечною перевагою безредукторних електроприводів є їх високі динамічні властивості. При цьому забезпечуються високі частоти механічних коливань у кінематичних трактах приводів.

При обиранні системи електропривода необхідно враховувати характер навантаження, що здійснює робочий механізм. Вирівнювання моменту двигуна для нерегульованих електроприводів з нерівномірним або пульсуючим навантаженням досягається збільшенням інерційних мас електропривода, хоча це може ускладнювати його пуск.

У випадках, коли можливе перевантаження, яке не може здолати привод, необхідно передбачити відповідно налагоджений захист або систему керування, що забезпечує обмеження струму та моменту двигуна, а також динамічне навантаження у механічних передачах (наприклад, у екскаваторних приводах).

Для систем з великим числом електроприводів та великою сумарною потужністю доцільно використання структури розподільної силової мережі з декількома груповими джерелами електроживлення.

Проекти нового технологічного обладнання виконуються узагалі з використанням систем автоматизованого електропривода змінного струму. Доля електроприводів постійного струму у нових проектах незначна.

Існує чотири основних варіанти проектів модернізації діючого обладнання у автоматизованих електроприводах.

1. Заміна аналогових та релейно-контактних систем керування на цифрове з використанням промислових комп’ютерів, технологічних та логічних контролерів, інтелектуальних модулів, відповідних нижчому та середньому рівню автоматизації.
2. Те ж, та заміна аналогових блоків керування комплектних електроприводів постійного струму цифровими з використанням контролера привода.

3. Те ж, та заміна силових блоків комплектних електроприводів. При цьому електродвигуни та мережі електроживлення залишаються незмінними.
4. Повна модернізація автоматизованих електроприводів. Заміна електроприводів постійного струму на електроприводи змінного струму.

Найбільш витратним, але найбільш ефективним тут є четвертий варіант модернізації. Основна складова ефективності модернізації полягає у наступному: зниження енерговитрат за рахунок деякого збільшення ККД прокатного стана та збільшення коефіцієнта потужності до одиниці без використання додаткових витрат; збільшення продуктивності завдяки скороченню часу технологічного циклу прокатки та часу переналадки стана при зміні сорту прокату; збільшення якості керування та відповідно стабільності характеристик високоякісних марок сталі, що виробляються, а також виключення браку.

Розробка схеми автоматизованого електропривода насосної установки

Розглянемо інжиніринг електроприводів та систем автоматизації, до складу якого входить: створення автоматизованих електроприводів механізмів, машин та комплексів на базі типових засобів; аналіз та вибір альтернатив оптимального варіанта системи; створення засобів електроприводів та автоматизації; створення розподільчих систем автоматизації.

Можливі два варіанти створення автоматизованих електроприводів: у складі заново створюваних механізмів, машин та комплексів; при реконструкції існуючих механізмів, машин та комплексів.

У якості прикладу розглянемо можливі варіанти автоматизації насосів та насосних станцій.

Автоматизація насосних установок дозволяє підвищувати надійність та безперебійність водопостачання, зменшувати витрати праці та експлуатаційні витрати, розміри регулюючих резервуарів.

Для автоматизації насосних установок, крім апаратури загального застосування (контакторів, магнітних пускачів, перемикачів, проміжних реле), застосовуються спеціальні апарати керування та контролю, наприклад, реле контролю рівня, реле контролю заливки відцентрових насосів, струминні реле, поплавкові реле, електродні реле рівня, різноманітні манометри, датчики ємнісного типу тощо.

Автоматизація насосів та насосних станцій, як правило, зводиться до керування насосом занурення за рівнем води у баку або тиском у напірному трубопроводі.

Приклади автоматизації насосних установок

На рис. 1,а наведена схема автоматизації насосної установки — дренажного насоса 1, а на рис. 1,б наведена електрична схема цієї установки. Автоматизація насосної установки здійснюється за допомогою поплавкового реле рівня (контакт PP). Ключ керування SA має два положення: для ручного та автоматичного керування.

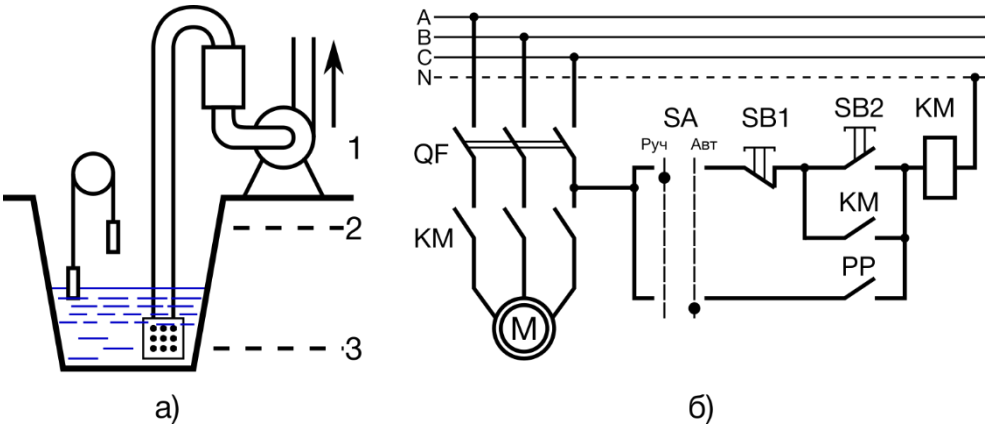


Рис. 1. Конструкція дренажної насосної установки (а) та її електрична схема автоматизації (б):

1 – насос; 2, 3 – верхній та нижній рівні відповідно

На рис. 2, у якості прикладу, наведена технологічна схема автоматизації двоагрегатної відкачувальної насосної станції.

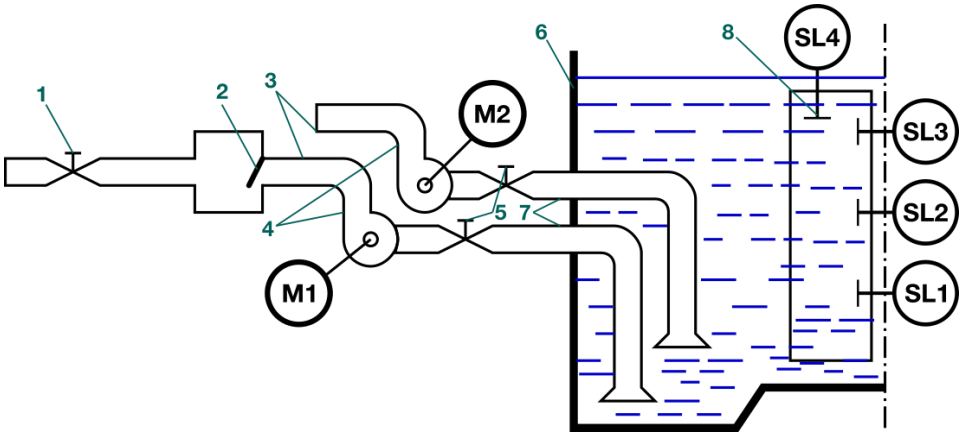


Рис. 2. Технологічна схема автоматизації двоагрегатної відкачувальної насосної станції

Для відкачки стічних, дренажних і господарсько-фекальних вод використовують низьконапірні (8...95 м) високопродуктивні (16...9000 м^3/год) каналізаційні електронасоси. Такі насоси мають незабруднююче одно трилопатеве розширене робоче колесо, яке з'єднує насос з напірним трубопроводом.

Зазвичай ці установки мають просту конструкцію, вони обладнані кнопковою станцією дистанційного керування електронасосним агрегатом за допомогою магнітних пускачів.

Як приклад розглянемо електричну схему автоматичного керування двоагрегатною водовідливною насосною станцією (рис. 3) паралельно з технологічною схемою автоматизації (рис. 2). Вручну агрегати вмикають і вимикають кнопками SB1...SB4, а в автоматичному режимі — за допомогою електродних датчиків рівня SL1...SL4.

Засувки 1 і 5 (рис. 2) з ручним приводом закривають при ремонті насосів. При роботі насосів вони відкриті. Зворотний потік рідини через непрацюючий насос 4 та труби 3 і 7 закриває клапан 2. Стічні води і гнойова рідина збираються в резервуар 6. В міру підвищення

рівня рідини вони замкнуть проміжки електродів нижнього рівня SL1, SL2 і загальний електрод 8 (заземлена труба). Спочатку від датчика SL2 вмикається один насос. Якщо приплив стічних вод більше, ніж продуктивність насоса, то рівень стоків підвищується і датчиком SL3 вмикається другий електронасос.

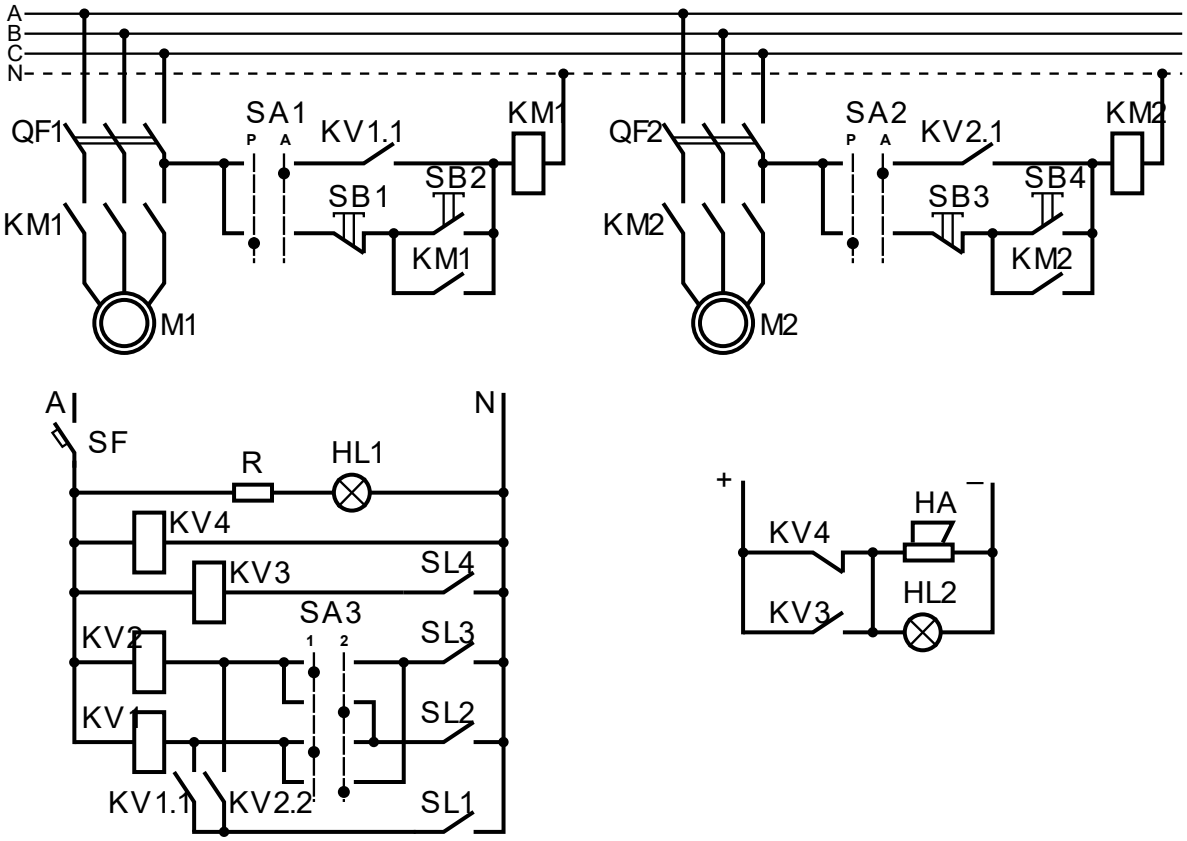


Рис. 3 Електрична схема автоматичного керування двоагрегатною водовідливною насосною станцією

Черговість вмикання агрегатів визначається перемикачем SA3. Наприклад, у положенні 1 перемикача SA3 спочатку від датчика SL2 спрацьовує реле KV1, що вмикає електродвигун M1 першого насоса, а потім від датчика SL3 – реле KV2 і другий електронасос M2. У положенні 2 перемикача черговість вмикання насосів буде зворотною. Другими парами контактів реле KV1 і KV2 шунтують через датчик SL1, кола датчиків SL2 і SL3. Завдяки цьому шунтуванню відключення реле KV1 і KV2, а потім і насосів при зниженні рівня стічної води відбудеться тільки тоді, коли розімкнеться коло датчика SL1 нижнього рівня.

Якщо продуктивність двох агрегатів виявляється менше припливу стічних вод, то від підвищення рівня замикається коло датчика SL4 і спрацьовує реле KV3, що включає аварійно-попереджувальну звукову HA і світлову HL2 сигналізації. Ця ж сигналізація спрацьовує від реле KV4 при зникненні напруги живлення. Кола аварійної сигналізації отримують живлення від незалежного джерела.

Зазвичай, просту автоматизацію насосних установок виконують шляхом застосування типових шаф керування. Це може бути

- простий мікропроцесорний пристрій захисту та контролю, який не має функцій керування;
- завершена насосна станція зі всіма органами контролю і керування, накопичувальним резервуаром і насосами;
- спеціалізований модуль з мікропроцесорним контролером, які мають типові функції і може керувати одним чи двома насосами в ручному та автоматичному режимі в функції сигналів датчиків.

Наприклад, мікропроцесорний пристрій захисту та контролю типу МПЗК-50 призначений для автоматичного керування і захисту відцентрових заглибних електронасосних агрегатів у режимі водопідйому чи дренажу. Автоматичне керування в режимах водопідйому або дренажу виконується за сигналами від датчиків рівня або інших датчиків. Аварійне відключення електронасосного агрегату відбувається при виникненні: неприпустимих перевантажень під час пуску та робочому режимі; обриву однієї або двох фаз; асиметрії напруги чи струму мережі живлення; холостого ходу електродвигуна; короткого замикання в колі електродвигуна; неприпустимо низького притоку води в свердловині. Застосування МПЗК-50 дозволяє крім того проводити контроль й індикацію робочого струму електродвигуна; контроль і індикацію аварійного стану.

На рис. 4 наведена схема підключення електронасосного агрегату з пристроєм МПЗК-50. Підготовка установки до роботи здійснюється автоматичним вимикачем QF1.

Робота в ручному режимі. Натисканням кнопки "Режим", встановлюється режим роботи "Ручний", при цьому буде світитись світлодіод "Ручний". При обраному режимі "Ручний" керування електродвигуном здійснюється оператором від кнопкового поста SB1 "Пуск", SB2 "Стоп".

Робота в автоматичному режимі. При виключеному електродвигуні вибрати заданий режим роботи з необхідними датчиками (при цьому буде світиться відповідний світлодіод).

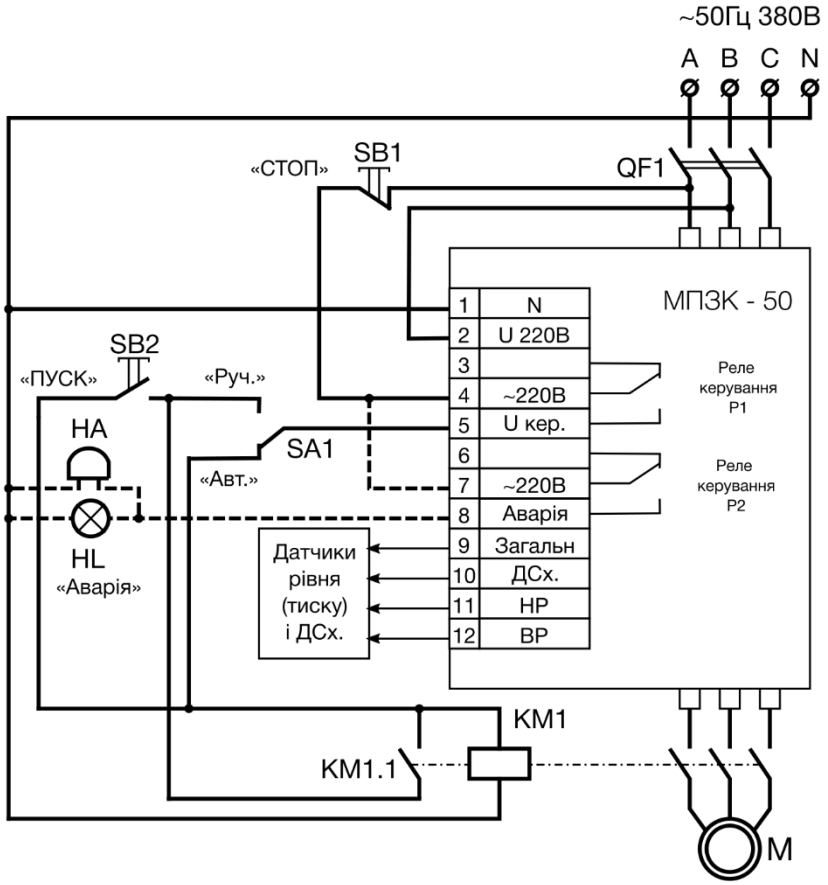


Рис. 4 Схема підключення електронасосного агрегату з пристроєм МПЗК-50

В автоматичному режимі керування з датчиками рівня у випадку відсутності води в резервуарі, при подачі електроживлення відбувається автоматичне включення електродвигуна насоса шляхом замикання контактів 45 реле керування Р1. При досягненні рівня води в резервуарі до датчика верхнього рівня ВР відбувається автоматичне вимикання електродвигуна насоса шляхом розмикання контактів 4-5 реле керування Р1. При зниженні рівня води

в резервуарі нижче датчика нижнього рівня НР відбувається автоматичне включення електродвигуна насоса для подачі води в резервуар і цикл повторюється. Датчики ВР І НР (верхнього і нижнього рівня) установлюються залежно від технічних характеристик резервуара.

Робота в автоматичному режимі керування з датчиками тиску у випадку відсутності тиску стовпа води на датчик тиску, при подачі електроживлення відбувається автоматичне включення електродвигуна насоса шляхом замикання контактів 4-5 реле керування Р1. При замиканні рухомого контакту електроконтактного манометра з контактом верхньої уставки "ВР" відбувається автоматичне вимикання електродвигуна насоса шляхом розмикання контактів 4-5 реле керування Р1. При замиканні рухомого контакту електроконтактного манометра з контактом нижньої уставки "НР" відбувається включення електродвигуна насоса, і цикл повторюється. Якщо у вихідному стані рухомий контакт "ЕКМ" перебуває між контактами "ВР" І "НР", то при подачі живлення електродвигун насоса не включиться. Включення електродвигуна насоса відбудеться по замиканню рухливого контакту з контактом датчика "НР".

Робота в автоматичному режимі керування при дренажі з датчиками рівня (МПЗК-50) необхідно установити на режим роботи

«Автоматичний – дренаж». При досягненні рівня води в каналі до датчика "ВР" відбувається автоматичне включення електродвигуна насоса. При падінні рівня води в каналі нижче датчика "НР" відбувається автоматичне вимикання електродвигуна насоса.

Захист електродвигуна глибинного насоса від неприпустимо низького рівня води в свердловинні виконується датчиком "сухого ходу" — "ДСх". Робочому стану заглибного насоса відповідає замкнутий стан датчика сухого ходу "ДСх" відносно "Загального" провідника (датчик "ДСх" перебуває під водою). Аварійному стану заглибного насоса відповідає розімкнутий стан датчика сухого ходу "ДСх" відносно "Загального" провідника (датчик "ДСх" перебуває вище рівня води). У випадку, коли датчик сухого ходу "ДСх" не використовується, необхідно встановити перемичку між виводами 9 і 10 клемного гвинтового затискача МПЗК-50.

При виникненні аварійної ситуації МПЗК-50 розімкне контакти 4-5, реле керування Р1, кола керування електродвигуна і на індикаторі струму зафіксує код аварії. По коду аварії оперативно можна визначити причину відключення електродвигуна. Для поновлення роботи електродвигуна необхідно усунути причину виникнення аварії і натиснути кнопку "Скидання".

Для дистанційного контролю роботи й аварії електродвигуна можна використати контакти реле керування Р2. У робочому режимі "МПЗК-50", контакти 6-7 замкнуті, а 7-8 розімкнуті. При виникненні аварії розмикаються контакти 6-7 і замикаються контакти 7-8.

Розрахунок механічних характеристик ПЧ-АД

Природня механічна характеристика АД розраховується при живленні обмоток номінальною напругою з номінальною частотою без вмикання додаткових елементів в електричні кола двигуна і являє собою залежність $\omega = f(M)$.

Обертальний момент АД може бути розрахований з виразу

$$M = \frac{3U_{\Phi}R_2'}{\omega_0\left[\left(R_1 + \frac{R_2'}{S}\right)^2 + (X_1 + X_2')^2\right]S}. \quad (1)$$

де U_{Φ} — фазна напруга живлення; R_1, R_2', X_1, X_2' параметри двигуна згідно зі схемою заміщення; ω_0 — кутова синхронна швидкість

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30}. \quad (2)$$

Прирівнявши $\frac{dM}{dS} = 0$, знайдемо значення критичного (максимального) ковзання S_K, при якому двигун розвиває критичний (максимальний) момент:

$$S_K = \pm\frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2}}. \quad (3)$$

Знак «+» відноситься до роботи в режимі двигуна. Підставимо значення S_K у вираз моменту АД та знайдемо значення критичного моменту:

$$M_K = \frac{3 \cdot U_{\Phi}^2}{2\omega_0\left[R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2}\right]}. \quad (4)$$

З викладеного отримаємо рівняння для розрахунку моменту АД в режимі двигуна та побудови природньої характеристики:

$$M = \frac{2 \cdot M_K(1 + a \cdot S_k)}{\frac{S}{S_k} + \frac{S_k}{S} + 2 \cdot a \cdot S_k}. \quad (5)$$

де $a = \frac{R_1}{R_2'}$.

Задаючи значення ковзання S, які підставляємо в (5), отримаємо значення моменту. Другий параметр механічної характеристики (кутову швидкість) отримаємо із відомої залежності $S = \frac{(\omega_0 - \omega)}{\omega_0}$, тобто маємо:

$$\omega = \omega_0(1 - S). \quad (6)$$

Підставляючи ті ж значення ковзання S, що і в (4), отримаємо всі значення для побудови графіка механічної характеристики $\omega = f(M)$.

Штучна механічна характеристика АД при заданій вихідній частоті перетворювача та законі частотного керування.

Для ідеалізованого електродвигуна, у якого (в загальному випадку) можна знехтувати активним опором статора, основний закон зміни напруги при частотному регулюванні можна передати співвідношенням:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{f_2}{f_1}\sqrt{\frac{M_{C2}}{M_{C1}}}, \quad (7)$$

де M_{C1}, M_{C2} — моменти статичного навантаження, які відповідають роботі двигуна при частотах f_1 та f_2;

U_1, U_2 — напруга на обмотці статора при частотах f_1 та f_2;

У випадку постійності моменту статичного навантаження, напруга джерела живлення мусить змінюватись пропорційно зміні частоти. В цьому випадку, для ідеалізованого двигуна перевантажувальна здатність ($M_C = const$), і закон зміни напруги живлення:

$$\frac{U_1}{f_1} = const. \tag{8}$$

При постійності потужності на валу двигуна під час регулювання швидкості, закон зміни напруги живлення:

$$\frac{U_1}{\sqrt{f_1}} = const. \tag{9}$$

При вентиляторному навантаженні напруга на статорі мусить змінюватись за законом

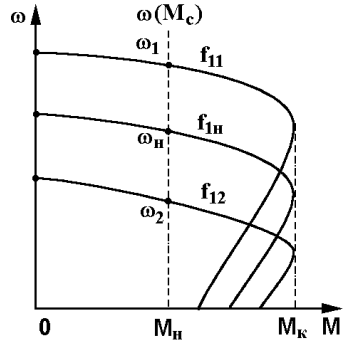
$$\frac{U_1}{f_1^2} = const. \tag{10}$$

Для розрахунку механічної характеристики при заданій частоті f_n, необхідно розрахувати напругу на двигуні та перерахувати індуктивні опори двигуна для нової частоти перетворювача:

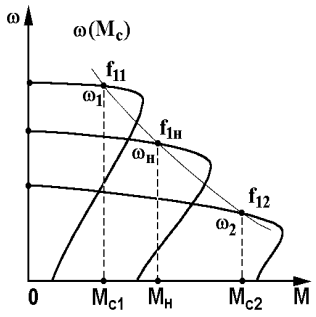
$$X = \omega L = 2\pi f_{НОМ} L; \qquad X_{f_n} = \omega_n L = 2\pi f_n L.$$

З урахуванням змінених параметрів двигуна проводиться розрахунок механічних характеристик для нової частоти f_n відповідно до формул (2)–(6).

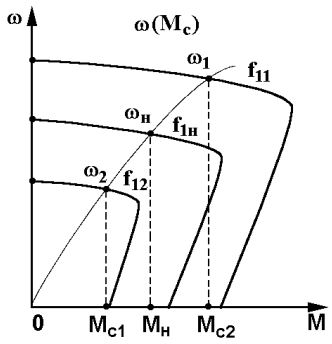
Механічні характеристики АД при частотному керуванні:



M_C=Const



P_C=Const



$M_C = c\omega^2$

Індивідуальне завдання

Технологічна установка складається з двох однакових електродвигунів та відцентрових робочих механізмів (рис. 2). Для одного двигуна:

1) Розрахувати та побудувати графік механічної характеристики двигуна при $\boldsymbol{\omega} > \mathbf{0}$ та $\boldsymbol{M} > \mathbf{0}$.
2) Розрахувати та побудувати механічну характеристику навантаження Мс.
3) Розрахувати приблизним методом час розгону установки з моментом інерції $\boldsymbol{J} = \mathbf{0,5}\,\boldsymbol{J}_{\text{дв}}$.
4) Розрахувати та побудувати механічні характеристики при живленні двигуна від частотного перетворювача із законом керування $U_1/f_1 = const$ при заданих частотах $\boldsymbol{f}^*$.
5) Розробити електричну схему підключення та керування насосами: один двигун (без регулювання швидкості) живиться через пристрій плавного пуску, другий — живиться через перетворювач частоти.
6) Вибрати:
   a. силове контакторне та захисне обладнання згідно розробленої схеми та параметрами двигуна.
   b. пристрій плавного пуску та перетворювач частоти для живлення двигунів.

Формула механічної характеристики відцентрового механізму $M_C = M_0 + (M_{CH} - M_0)\left(\frac{\omega}{\omega_H}\right)^2$.

Варіанти завдань:

Параметр	1	2	3	4	5
$\boldsymbol{M_0/M_{\text{сн}}}$	0,12	0,15	0,2	0,25	0,3
$\boldsymbol{M_{\text{сн}}/M_{\text{н}}}$	0,7	0,9	0,85	0,8	0,75
$\boldsymbol{f^* = f/f_{\text{НОМ}}}$	0,2; 0,5; 0,8; 1,0; 1,2	0,3; 0,6; 0,9; 1,0; 1,2	0,2; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2	0,2; 0,4; 0,7; 1,0; 1,2	0,3; 0,5; 0,9; 1,0; 1,2

Параметри електродвигунів:

№ з/п	Тип двигуна	Рн, кВт	n_0, об/хв	J, кгм^2	Uн, В	η	cosφ	Sн, %	Мк/Мн	R1, Ом	X1, Ом	R_2', Ом	X_2', Ом
1	4А160S2У3	15	3000	0,053	380	0,88	0,91	2,8	2,2	0,007	0,012	0,003	0,016
2	4А200М2У3	37	3000	0,15	380	0,9	0,8	2	2,5	0,01	0,033	0,007	0,043
3	4А250М2У3	75	3000	0,52	380	0,91	0,89	1,9	2,2	0,013	0,051	0,01	0,083
4	4А280S2У3	110	3000	1,1	380	0,91	0,8	1,4	2,2	0,018	0,018	0,014	0,104
5	4А355М2У3	315	3000	3,2	380	0,93	0,91	1	1,9	0,033	0,226	0,028	0,283
6	4А160S4У3	15	1500	0,1	380	0,685	0,88	3,2	2,1	0,008	0,014	0,004	0,022
7	4А200М4У3	37	1500	0,37	380	0,91	0,9	1,8	2,5	0,012	0,027	0,006	0,044
8	4А250М4У3	75	1500	1,2	380	0,93	0,9	1,5	2,2	0,015	0,055	0,009	0,068
9	4А280S4У3	110	1500	2,3	380	0,93	0,9	2	2	0,021	0,111	0,013	0,145
10	4А355М4У3	315	1500	7	380	0,945	0,92	1,2	2	0,03	0,248	0,035	0,35
11	4А160S6У3	11	1000	0,14	380	0,86	0,86	2,7	2	0,073	0,11	0,03	0,15
12	4А180М6У3	18,5	1000	0,22	380	0,88	0,87	2,4	2	0,007	0,011	0,003	0,015
13	4А200М6У3	22	1000	0,4	380	0,9	0,9	2,3	2,4	0,009	0,018	0,004	0,022
14	4А200L6У3	30	1000	0,45	380	0,905	0,89	2,1	2,4	0,009	0,021	0,005	0,026
15	4А250S6У3	45	1000	1,2	380	0,915	0,89	1,4	2,1	0,009	0,021	0,004	0,033
16	4А160М8У3	11	750	0,25	380	0,87	0,75	2,6	2	0,014	0,034	0,006	0,053

Література:

1. Вешеневский С.Н. Характеристики двигателей в электроприводе / Изд. 6-е, исправленное. М., «Энергия», 1977. – 432 с.
2. Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода: Учебник для вузов. – 6-е изд., доп. и перераб. – М.: Энергоиздат, 1981. – 576 с.
3. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник. А.Э. Кравчик, М.М. Шлаф, В.И. Афонин, Е.А. Соболенская. — М.: Энергоиздат, 1982. —504 с.
4. Бекишев Р.Ф. Общий курс электропривода: учебное пособие / Р.Ф. Бекишев, Ю.Н. Дементьев; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 302 с.

Студент	Параметри навантаження	Параметри двигуна
	4А180М6У3	1
	4А200L6У3	2
	4А200М8У3	3
	4А160S2У3	4
	4А200М2У3	5
	4А250М2У3	1
	4А280S2У3	2
	4А355М2У3	3
	4А160S4У3	4
	4А200М4У3	5
	4А250М4У3	1
	4А280S4У3	2
	4А355М4У3	3
	4А160S6У3	4
	4А180М6У3	5
	4А200М6У3	1