

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет
«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

ДО САМОСТІЙНОГО ВИВЧЕННЯ МАТЕРІАЛУ

«ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ТА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ОБ'ЄКТІВ НАФТОГАЗОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ»

З ДИСЦИПЛІНИ

«ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ»

для студентів спеціальності 185

«Нафтогазова інженерія та технології»

Полтава 2021

УДК (622.323+622.324) : 621.313

Рецензенти:

Осадчий С.І., доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматизації виробничих процесів Центральноукраїнського національного технічного університету;

Шефер О.В., доктор технічних наук, доцент, в.о. завідувача кафедри автоматики, електроніки та телекомунікацій Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»;

Рекомендовано до друку науково-методичною радою Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Протокол № 3 від 3.02.2021 р.

Єрмілова Н.В.

Навчальний посібник до самостійного вивчення матеріалу «Електрообладнання та електропостачання об'єктів нафтогазової промисловості» з дисципліни «Електротехніка та електропостачання» для студентів спеціальності 185 «Нафтогазова інженерія та технології» / Н.В. Єрмілова; за заг.ред. Н.В. Єрмілової. – Полтава: Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2021. – 76 с.

Навчальний посібник підготовлено відповідно до програми навчальної дисципліни «Електротехніка та електропостачання» для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за освітньо-кваліфікаційним рівнем бакалавра з галузі знань 18 «Виробництво та технології» спеціальності 185 «Нафтогазова інженерія та технології» денної і заочної форм навчання. Цей посібник призначений для допомоги студентам у вивченні розділів курсу «Електропривод», «Електричні апарати» й «Електропостачання» та отриманні теоретичних і практичних знань із зазначених розділів, а також для самостійного виконання курсової роботи «Розрахунок електрообладнання та електропостачання об'єктів нафтогазової промисловості».

© Н.В. Єрмілова

45.47.01.02

ВСТУП

У наш час без електроенергії не можна уявити своє життя, завдяки їй забезпечується нормальний побут в оселях, вирощується врожай на сільській ниві, плавиться метал у печах; без електроенергії не зможе розвиватися практично жодна із сучасних галузей народного господарства: атомні станції, військові комплекси, фабрики, заводи, ферми, дослідні інститути, лікарні – всі вони використовують електричну енергію. Раптове зникнення електрики в сучасному світі спричинило б величезну катастрофу.

Електроенергія має значні переваги серед інших видів енергії завдяки зручності її виробництва, передачі, керування, екологічності та ін. Її використовують у промисловості, сільському господарстві, транспорті, побуті, соціальній сфері тощо. Без електрики неможливі успіхи в медицині, біології, екології та інших галузях науки.

Основним призначення посібника є необхідність дати студентам основи знань у галузі сучасних систем електротехніки, електропривода та електропостачання об'єктів нафтогазової промисловості.

У результаті вивчення матеріалу студенти повинні знати методи розрахунку типових електроприводів та систем електропостачання, вміти аналізувати режими роботи електричних машин, розраховувати й вибирати прості електричні та електромеханічні пристрої і системи; розраховувати типові системи електропостачання; вибирати компенсаційні установки для підвищення ефективності роботи бурових установок.

Матеріали посібника систематизовано у 4 розділи. Лаконічність і доступність наведеного матеріалу дозволить без будь-яких зусиль опанувати навчальний матеріал із зазначених розділів, а також успішно виконати курсову роботу.

РОЗДІЛ 1. ОСНОВИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА. ТИПОВІ РЕЖИМИ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ

1.1. Структурна схема та класифікація електроприводів

Електроприводом (ЕП) називається електромеханічна система, що призначена для приведення в рух виконавчих органів виробничої (робочої) машини або установки і керування цим рухом.

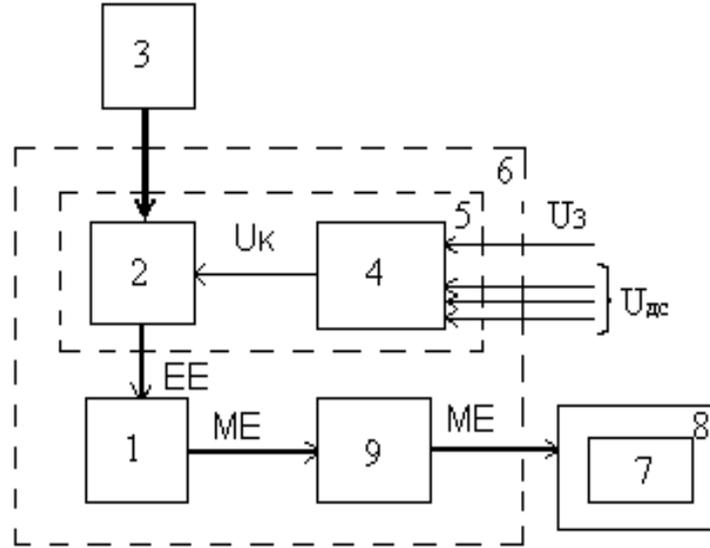


Рис. 1.1. Структурна схема електропривода

Основним елементом будь-якого електропривода 6 служить електричний двигун 1, який виробляє механічну енергію МЕ за рахунок поданої електричної енергії ЕЕ (рис.1.1).

Від електродвигуна (ЕД) механічна енергія через передавальний пристрій 9 (механічний, гідравлічний, змішаний, електромагнітний) подається на виконавчий орган 7 робочої машини 8. Функція передавального пристрою полягає в узгодженні параметрів руху електродвигуна та виконавчого органа. Електрична енергія поступає в ЕП від джерела енергії 3. Для отримання енергії з потрібними для електродвигуна параметрами та керування потоком цієї енергії між двигуном і джерелом електроенергії вмикається силовий перетворювач 2. Функції керування та автоматизації в ЕП виконуються малопотужним блоком керування 4. Цей блок виробляє сигнал керування U_k за допомогою вхідного сигналу завдання U_z і декількох додаткових сигналів $U_{дс}$, що подають інформацію про хід технологічного процесу, характер руху виконавчого органу, роботу окремих вузлів ЕП, виникнення аварійних ситуацій. Перетворювач 2 разом з блоком керування 4 складають систему керування 5.

За характером руху розрізняють електроприводи обертового та поступального руху, при цьому їх швидкість може бути регульованою і

нерегульованою, а сам рух – неперервним або дискретним, однонаправленим, двонаправленим (реверсивним), вібраційним (зворотно-поступальним).

Основними технічними показниками регульованого електропривода є: діапазон регулювання (відношення максимальної робочої частоти обертання до мінімальної, кількість ступенів і напрямок регулювання).

За кількістю використаних двигунів розрізняють групові, індивідуальні та багатодвигунні електроприводи:

– у груповому електроприводі один електродвигун приводить у рух декілька робочих машин і механізмів через спільну трансмісію – розподільчий вал з набором шківів, з яким він зв'язаний пасовою або канатною передачею ;

– при індивідуальному електроприводі кожна робоча машина має свій електродвигун із безпосереднім зв'язком. Часто в такому приводі відсутні механічні передачі , так як електродвигун складає єдине ціле з машиною і навіть виконує яку-небудь її функцію;

– у багатодвигунному ЕП робоча машина має не один, а декілька ЕД різної потужності, кожний з яких приводить у рух окремі виконуючі органи або вузли.

Основним напрямком у розвитку ЕП є повна його автоматизація при комплексній механізації та автоматизації всього виробництва.

1.2. Механічні характеристики робочих машин та електродвигунів

Механічна характеристика робочої машини $n = f(M_T)$ являє собою залежність частоти обертання n від її статичного моменту опору M_T , який обумовлений силами тертя і роботою, що гальмує рух.

Механічні характеристики звичайно зображують у вигляді графіків. За видом їх можна розділити на 3 групи (рис.1.2).

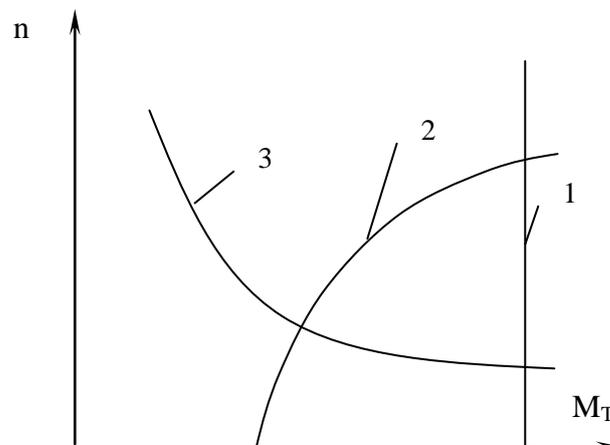


Рис. 1.2. Механічні характеристики робочих машин

До першої групи (1) відносяться машини, статичний момент опору яких не залежить від частоти обертання ($M_T = \text{const}$). До цієї групи відноситься більшість підйомних кранів, ліфти, лебідки, поршневі насоси при незмінній висоті подачі, компресори, стрічкові конвеєри (рис. 1.2).

До другої групи (2) відносяться машини, статичний момент опору яких пропорційний квадрату частоти обертання. Така характеристика називається параболічною або вентиляторною (вентилятори, турбокомпресори, центробіжні насоси, центрифуги і т.ін.).

До третьої групи (3) відносяться машини з нелінійно-спадаючою характеристикою. Момент опору таких машин обернено пропорційний частоті обертання і носить гіперболічний характер (різноманітні металоріжучі верстати – токарні, розточні, фрезерні та ін.)

Статичний момент опору деяких робочих машин залежить від стадії обробки виробу. У пристроях з кривошипним механізмом (поршневі насоси, компресори, верстати-качалки та ін.) момент опору залежить не тільки від частоти обертання, але і від положення виконуючих органів, яке визначається кутом повороту приводного вала.

Механічні характеристики електродвигунів усіх типів, крім синхронного, носять спадаючий характер, зі збільшенням навантаження на валу їх частота обертання знижується (рис. 1.3).

За мірою жорсткості та стійкості частоти обертання зі зміною навантаження механічні характеристики розділяються на три групи:



Рис. 1.3. Механічні характеристики електродвигунів

Абсолютно жорстку характеристику має синхронний двигун (1); жорстку – двигун постійного струму (ДПС) паралельного збудження (2) і асинхронний двигун (АД) (3); м'яку – ДПС послідовного (4) і змішаного збудження (5).

1.3. Стійкість роботи ЕП

Для того, щоб ЕД міг розігнати при пуску механізм до робочої частоти обертання, його пусковий обертовий момент M_{Π} повинен бути

більшим за момент статичного опору машини M_C ($M_C=M_T$ при $n=0$), приведенного до вала двигуна, тобто повинна бути виконана умова пуску $M_{\Pi}>M_C$.

У цьому випадку рівняння механічного стану

$$M_{ED} = M_T + J \cdot \frac{d\omega}{dt},$$

де M_{ED} – момент електродвигуна;

J – динамічний момент інерції;

ω – кутова частота обертання ротора.

З рівняння слідує, що при $d\omega/dt > 0$ двигун починає розганятися.

При повільному розгоні ($d\omega/dt$ мале) через великі пускові струми двигун може перегрітися, особливо при частих пусках. Такий «важкий» пуск є небажаним (мають АД з КЗ-ротором, жорстко з'єднані муфтою або зубчастою передачею з робочими машинами – преси, молоти, прокатні стани, поршневі насоси). Для полегшення умов пуску іноді двигун з'єднують з робочою машиною за допомогою гідروмуфти або електромагнітної муфти ковзання.

У встановленому режимі роботи ЕП обертовий момент двигуна M_{ED} долає статичний момент опору M_T робочої машини, тобто

$$M_{ED} = M_T \text{ при } n = const.$$

Звідси слідує, що встановлена робота привода можлива за умови, якщо перетинаються механічні характеристики ЕД і робочої машини, причому цей перетин повинен відбуватися на робочій ділянці характеристики електродвигуна (поблизу точки з номінальними параметрами ЕД), наприклад у точці А для привода турбокомпресора з АД

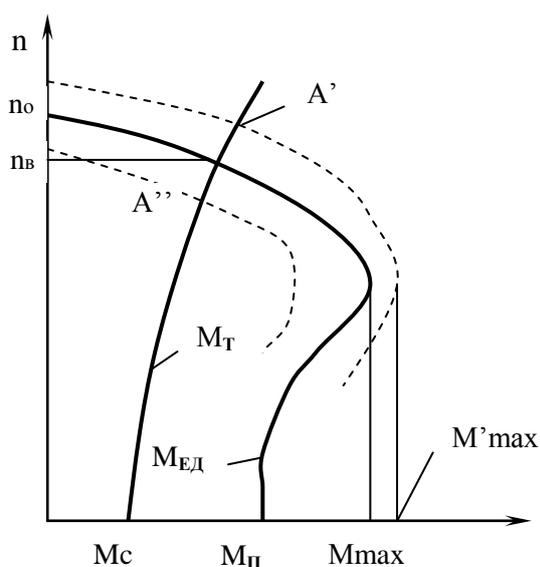


Рис. 1.4. Визначення стійкості електропривода

Позитивною властивістю, притаманною усім електродвигунам, є їх саморегулювання (рис.1.4), яке полягає в можливості розвивати двигуном обертовий момент, який дорівнює моменту навантаження на валу. Для привода турбокомпресора пуск виконується при надлишковому моменті двигуна ($M_{\Pi} > M_C$). При цьому двигун і робоча машина швидко збільшують частоту обертання від нуля до встановленого значення $n_b = const$ у точці перетину характеристик А, коли настає динамічна рівновага ($M_{ED} = M_T$).

Рівновага може порушуватися внаслідок коливань напруги мережі U_M або зміни навантаження. Якщо напруга підвищиться, то обертовий момент двигуна збільшиться ($M_{ED} \sim U_M^2$), що буде відповідати характеристиці з більшим максимальним моментом M'_{max} . Рівновага порушиться ($M_{ED} > M_T$). Тоді електропривод отримає деяке прискорення до настання нової рівноваги моментів у точці A' при $n'_B > n_B$. При зменшенні напруги мережі U порушена рівновага відновиться в точці A'' при $n''_B < n_B$.

Стійка робота ЕП не порушиться й у випадку деяких збурень моменту опору на валу двигуна за умови $U=const$. Наприклад, при зменшенні M_T частота обертання двигуна зменшується до настання нової рівноваги.

Таким чином, відповідність ЕД такій робочій машині визначається не тільки наявністю точки перетину їх характеристик при якій-небудь визначеній частоті обертання, але й допустимим перепадом при можливих змінах навантаження або напруги.

1.4. Типові режими роботи електроприводів

Для врахування різноманітних умов роботи електродвигуна і правильного визначення його потужності будують навантажувальні діаграми (НД).

НД – графічна залежність моменту або потужності ЕД (іноді і струму ЕД) від часу: $M(t)$; $P(t)$; $I(t)$.

На практиці розрізняють 3 основні режими роботи електропривода:

S_1 – тривалий;

S_2 – короткочасний;

S_3 – повторно-короткочасний.

Режим роботи характеризується відносною тривалістю вмикання (ТВ), котра зазвичай розраховується у відсотках

$$ТВ\% = \frac{t_p}{t_p + t_o} 100\% ,$$

де t_p – час роботи ЕД; t_o – час паузи ЕД.

Таким чином, відносна тривалість вмикання – це відношення часу роботи електропривода до часу повного циклу. Час циклу визначають як $t_u = t_p + t_o$.

1.4.1. Тривалий режим роботи (S_1)

Тривалим називають режим, у якому тривалість робочого часу (без зупинок) настільки велика, що двигун нагрівається до деякої встановленої незмінної температури. Розрізняють тривалий режим з постійним та змінним навантаженням.

Тривало з постійним навантаженням працюють вентилятори, центробіжні насоси, компресори, текстильні верстати та ін.

Навантажувальна діаграма $P(t)$ і графік перегріву $\tau(t)$ для такого навантаження має вигляд

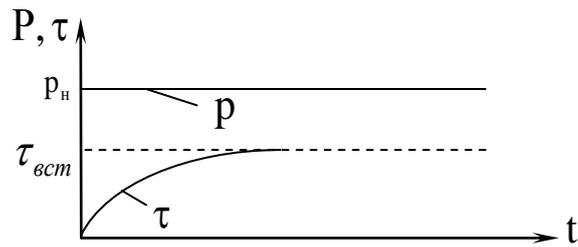


Рис. 1.5. Навантажувальна діаграма при постійному навантаженні

Для електроприводів визначення номінальної потужності двигуна зводиться до розрахунку потужності P виконавчого механізму, приведеного до вала двигуна (з урахуванням ККД передач, редукторів тощо).

Для ЕД з постійним навантаженням потужність двигуна визначають за відомими формулами з урахуванням ККД передачі η_n за умови $P_{ED} \geq P_n$.

Так, наприклад, потужність на валу двигуна насоса визначається [кВт]

$$P = K \frac{Q \cdot \gamma \cdot H}{1000 \cdot \eta_n \eta_n'}$$

де K – коефіцієнт запасу

(зазвичай приймають для $P < 50$ кВт $K \approx 1,2$
 $P \geq 50$ кВт $K \approx 1,1 \div 1,15$);

Q – подача насоса, м³/с;

γ – питома вага рідини, н/м³;

H – повна висота напору, м;

$\eta_n; \eta_n'$ – ККД насоса й передачі.

За отриманою потужністю P у каталогах вибирають двигун з номінальною потужністю $P_{ном} > P$ (перед тим треба обрати рід струму, напругу, частоту обертання та конструктивне виконання двигуна). Номінальна потужність, яка вказана в каталогах, і є тією найбільшою потужністю, на постійну роботу з котрою без перегріву розрахований такий двигун.

Так як навантаження незмінне, то спеціальну теплову перевірку не проводять, а при важких умовах пуску перевіряють, чи достатній його пусковий момент.

Тривало зі змінним навантаженням працюють поршневі компресори, бурові насоси, верстати-качалки, прокатні стани, токарні та фрезерні верстати. При цьому потужність і момент змінюються в часі за деяким правилом.

При змінному тривалому навантаженні використовують наближені методи вибору двигуна за його нагрівом: метод середніх втрат і менш точні, але більш зручні для розрахунку методи еквівалентних величин (моменту, потужності та струму).

Метод еквівалентних величин (струму, моменту, потужності)

Відомо, що змінні втрати у двигуні пропорційні квадрату струму навантаження. Ці змінні струми навантаження заміняють еквівалентним незмінним струмом $I_{ек}$, котрий виділяє в двигуні те ж тепло, що й змінні струми.

Формула еквівалентних струмів

$$I_{ек} = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \dots + I_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}.$$

Знайдений струм порівнюють з номінальним струмом

$$I_{ном} \geq I_{ек}.$$

Частіше мають справу з графіком моментів або потужностей. Так як момент прямо пропорційний струму в навантаженні ($M = K \cdot I$), то можна отримати формулу еквівалентного моменту

$$M_{ек} = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + \dots + M_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}.$$

Повинна виконуватися умова $M_{ном} \geq M_{ек}$.

Для приводів з постійною або малозмінною частотою обертання потужність є прямо пропорційною значенню моменту, і відповідно еквівалентна потужність рівна

$$P_{ек} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + \dots + P_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}.$$

Вибраний двигун задовольняє умови нагріву, якщо $P_{ек} < P_{ном}$.

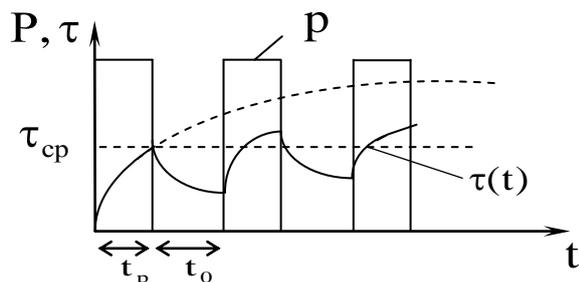
Потім двигун перевіряють на умови пуску й перевантаження.

1.4.2. Повторно-короткочасний режим роботи (S₃)

У **повторно-короткочасному** режимі регулярно чергуються короткочасні періоди роботи з короткочасними періодами пауз, причому в період дії навантаження температура двигуна не досягає встановленого значення, а в період паузи вона не встигає знизитися до рівня навколишнього середовища (рис. 1.6).

Тривалість емікання ТВ для повторно-короткочасного режиму не повинна перебільшувати 10 хв і 100%. Її значення стандартизовані і складають 15, 25, 40, 60%. Кожному значенню ТВ відповідає значення

номінальної потужності, з якою двигун може працювати необмежено довго, не перегріваючись.



При багатократному повторенні циклів нагріву температура коливається навколо деякого середнього значення τ_{cp} (ЕП кранів, металорізальних верстатів)

Рис. 1.6. Навантажувальна діаграма при повторно-короткочасному режимі

Вибір номінальної потужності двигунів здійснюють на основі навантажувальних діаграм методом еквівалентних величин. Наприклад, еквівалентна потужність $P_{ек}$ за один цикл визначається вищеприведеною формулою, але тільки за робочий час (без урахування часу паузи двигуна). Потім визначають дійсну розрахункову TB_d , в якій ураховується тривалість зупинки двигуна t_0 . Якщо TB_d відрізняється від найближчої стандартної $TB_{ст}$, то необхідно провести перерахунок $P_{ек}$:

$$P_{ек ст} = P_{ек} \sqrt{\frac{T B_d \%}{T B_{ст} \%}} \quad (\text{аналогічно для } I_{ек}, M_{ек}).$$

Потім вибраний двигун перевіряють на умови пуску й перевантаження.

1.4.3. Короткочасний режим роботи (S_2)

У цьому режимі електродвигун працює обмежений час, протягом якого температура не досягає встановленого значення (рис.1.7). Паузи в роботі двигуна достатньо великі, й ЕД встигає повністю охолотитися (ЕП деяких верстатів, шлюзів, розвідних мостів, засувки та ін.).

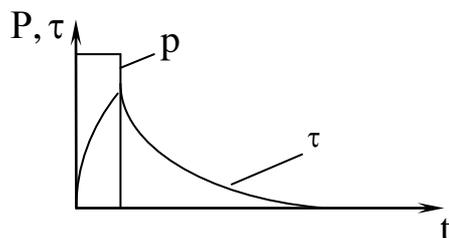


Рис. 1.7. Навантажувальна діаграма при короткочасному режимі

Для короткочасного режиму роботи виконуються двигунами кранового типу з TB 15, 30, 60 і 90 хв. Потужність визначають за методом еквівалентних величин з наступним вибором двигуна в спеціальному каталозі. Для режиму короткочасного навантаження можна використовувати й двигуни тривалого режиму. Їх можна короткочасно протягом обмеженого часу перевантажувати так, щоб перегрівання не було більше допустимого.

РОЗДІЛ 2. ЕЛЕКТРИЧНІ АПАРАТИ

Електричні апарати – це електротехнічні пристрої, призначені для керування електричними і неелектричними об'єктами, а також для захисту цих об'єктів в аномальних режимах роботи. Електричні апарати відіграють важливу роль на всіх етапах виробництва, передачі, розподілу і споживання електроенергії.

2.1. Електричні апарати ручного керування

Кнопки керування – призначені для подачі оператором керуючої дії на електричний об'єкт. Їх розрізняють за розмірами – нормальні та малогабаритні, за кількістю замикаючих і розмикаючих контактів. Дві, три і більше кнопок, змонтовані в одному корпусі, утворюють кнопочну станцію. Кнопки керування випускають із замикаючим і розмикаючим контактами:

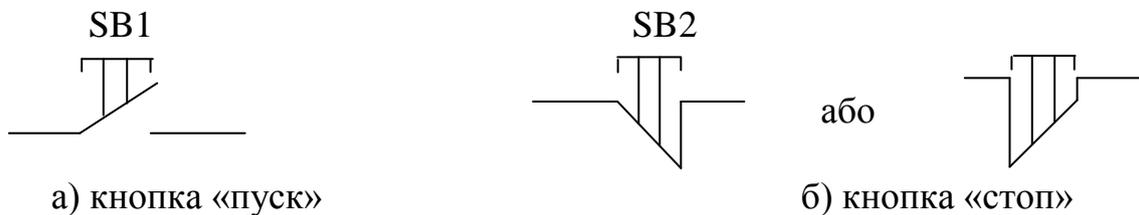


Рис. 2.1. Зображення кнопок на електричних схемах

Такі кнопки називаються одноколовими. На схемах кнопки позначаються літерами SA або SB (незалежно від того, це кнопка пуск чи стоп).

Двоколові кнопки мають дві пари вказаних контактів з єдиним приводом. Існують також багатоколові кнопки. Особливістю кнопок керування є їхня здатність повертатися у вихідне положення після зняття впливу (самоповернення). Вони призначені для роботи в мережах змінного та постійного струму, використовуються здебільшого в ланцюгах керування, де струми й напруги невеликі. Кнопки керування вибирають за родом і величиною напруги, значенням струму, числом ланцюгів, що перемикаються, ступенем захисту, кліматичними умовами, механічною і електричною зносостійкістю.

Універсальні перемикачі – призначені для подачі керуючого впливу на електропривод і мають два або більше фіксованих положень рукоятки та кілька замикаючих і розмикаючих контактів. На схемах позначаються літерами SM (відповідно, нумерація ланцюгів SM1, SM2, ...SMn). Визначити, яке коло замкнене, можна за чорною крапкою, яка стоїть під цим колом (рис. 2.2).

У середньому положенні рукоятки (позиція 0) замкнений контакт SM1, що позначається точкою на схемі, а контакти SM2 і SM3 розімкнуті.

У положенні 1 замикається контакт SM2, розмикається SM1. У положенні 2 замкнений тільки контакт SM3.

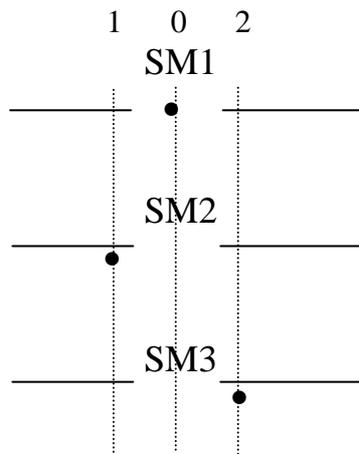


Рис. 2.2. Зображення універсальних перемикачів на електричних схемах

Універсальні перемикачі (УП) використовуються для комутації ланцюгів котушок контакторів, масляних вимикачів, керування багатошвидкісними асинхронними двигунами та ін. Вони можуть комутувати до 32 мереж і мати до 8 положень рукоятки керування. Застосовуються на струми до 20 А в мережах невеликої потужності. УП вибирають за родом і значенням напруги, струму навантаження, кількістю ланцюгів та числом положень рукоятки, механічною й електричною зносостійкістю, а також за конструктивним виконанням.

Контролери – багатопозиційні електричні апарати з ручним або ножним приводом для безпосередньої комутації силових мереж двигунів постійного та змінного струму. На схемах контролери, як і УП, позначаються SM. Контролери, порівняно з УП, працюють на значно більших напругах і струмах. Число позицій їх рукояток може досягати шести в кожную сторону від середнього положення. В електроприводах використовуються контролери двох видів – кулачкові і магнітні.

Строк служби магнітних контролерів при одних і тих же умовах експлуатації суттєво вище, ніж кулачкових, що пояснюється високою комутаційною здатністю і стійкістю до спрацювання електромагнітних контакторів. Вибір контролерів здійснюється аналогічно до вибору універсальних перемикачів.

Рубильники – найпростіші силові комутаційні апарати, які призначені для ручного замикання і розмикання силових електричних мереж постійного та змінного струму напругою до 500 В і струмом до 10000 А з малим числом включень за годину (до 6 – 10). За конструкцією розрізняють однополюсні, двополюсні і триполюсні рубильники. Також вони розрізняються за силою струму, числом комутуваних мереж, видом приводу рукоятки (центральна і бічна рукоятка) та числом її положень (два

або три). Рубильник має контактну систему ножового типу, при замиканні якої металеві ножі входять у нерухомі елементи у вигляді скоб. Така система не дозволяє самовільно під власною вагою розривати контакт.

Найбільш важливою частиною всіх комутаційних апаратів є контакти, котрі здійснюють розрив кола. При відключенні навантаження комутаційним апаратом відбувається розрив струму в навантаженні. У ланцюзі з індуктивним навантаженням при цьому виникає електрорушійна сила (ЕРС) самоіндукції. Під дією цієї ЕРС у проміжку між контактами виникає електрична дуга, котра викликає перегрівання й швидке руйнування контактної системи. Для усунення цього явища в рубильниках на великі струми застосовують спеціальні дугогасильні камери. У них електрична дуга розділяється спеціальними пластинками на частини, інтенсивно охолоджується і швидко деіонізується до повного затухання. Застосування дугогасних камер забезпечує гасіння дуги при відключенні номінальних струмів рубильниками постійного струму 220 В і змінного струму 380 В. При напрузі 440 і 500 В струми відключення складають близько 0,5 від $I_{ном}$.

На схемах рубильники позначаються літерами QF або QS (рис. 2.3).

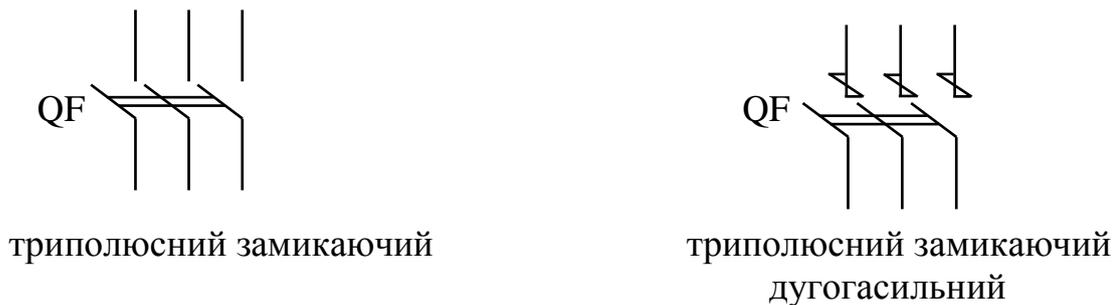


Рис. 2.3. Зображення рубильників на електричних схемах

Пакетні вимикачі – різновид рубильників. Їх контактна система набирається з окремих пакетів – ізоляційних шайб, закріплених ззовні шпильками, та перемикаючого механізму. Пакетні вимикачі, які випускаються промисловістю, призначені для комутації електричних мереж постійного струму до 400 А, напругою до 220 В та змінного струму до 250 А і напругою до 380 В.

2.2. Електричні апарати дистанційного керування

До апаратів дистанційного керування відносяться контактори, магнітні пускачі та реле, перемикання контактів яких здійснюється при подачі на їх котушки електричного сигналу і знятті цього сигналу.

Контактори – електромагнітні апарати, які призначені для частих дистанційних комутацій силових мереж двигунів. Позначаються літерами КМ. Контактор керується дистанційно за допомогою кнопочкового пускача (рис. 2.4).

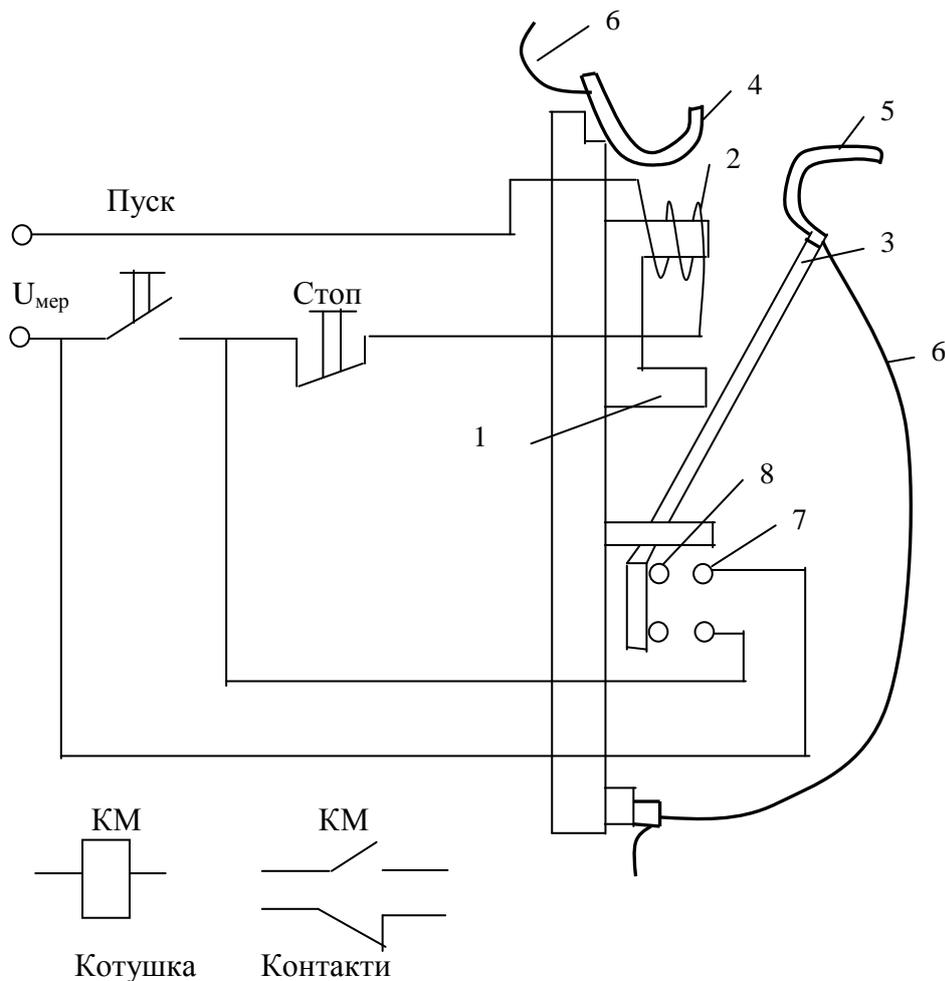


Рис. 2.4. Будова та зображення контакторів на електричних схемах

Контактор складається з двох основних частин: котушки та контактної системи. При натисканні кнопки «Пуск» замикається ланцюг котушки 2 електромагніта 1, рухомий сталевий якор 3 контактора притягується до осердя електромагніту, замикаються головні контакти 4 і 5. При цьому через гнучкий провід 6 замкнеться силовий ланцюг мережі. Одночасно інший кінець якоря замикає блок-контакти 7 і 8, які блокують пускову кнопку. Відключення контактора досягається натисненням кнопки «Стоп», що призводить до розмагнічування котушки і повернення контактів у вихідне положення.

Контактори виготовляються на номінальні напруги до 6000 В та струми головних контактів до 2500 А. Головні контакти здатні відключати струми перевантаження, котрі 10-кратні номінальному струму. Блокувальні контакти можуть відключати струми до 20 А при напругах до 500 В. Контактори, як і рубильники, забезпечуються дугогасильною системою, можуть виконувати до 600 включень на годину.

Їх розрізняють за родом струму, числом головних контактів, величинами номінального струму і напруги мереж, що перемикаються, конструктивним виконанням та ін.

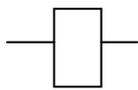
Магнітні пускачі – комплексні апарати для керування трифазними асинхронними двигунами. У цей апарат можуть входити контактор, кнопки керування, теплові реле захисту, сигнальні лампи, розміщені в одному корпусі. Принцип дії і схемне позначення аналогічне контактору. Допустиме число включень – 2400–3600 за годину.

Електромагнітні реле – апарати, які призначені для комутації слабострумних мереж керування електроприводами. Діє електромагнітне реле аналогічно контактору. Електромагнітні реле застосовують у схемах керування як реле струму, напруги, часу і проміжні реле. Випускаються на струми 5...10 А і напруги 12 ...220 В.

Реле часу призначене для організації часової затримки при комутації контактів, якщо це необхідно для такого технологічного процесу.

Схемне зображення усіх типів реле аналогічне контактору, але використовуються інші літерні позначення:

KV, KA, KT

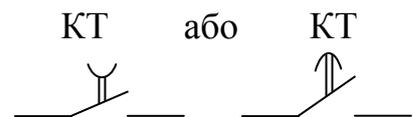
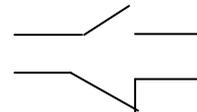


Котушка

KV – реле напруги; контакти:

KA – реле струму;

KT – реле часу, контакти:



2.3. Апарати захисту, блокування і сигналізації

Запобіжники – це електричні апарати, які призначені для автоматичного захисту електрообладнання від струмів короткого замикання. Позначаються літерами FU.

На схемі зображують таким чином:



Основним елементом запобіжника є калібрована плавка вставка, яка розміщується всередині патрона і розплавляється при надвеликих струмах.

Плавкі вставки поділяють на малоінерційні (мідні, цинкові) та інерційні (зі свинцю), які можуть витримувати значні короткочасні перевантаження по струму. Запобіжники вмикаються в електричне коло послідовно. В електроприводах вони вмикаються в кожену лінію (фазу), яка живить двигун, мережі між вимикачем напруги і контактами лінійних контакторів, а також у мережі керування. Вибір запобіжників здійснюється за номінальною напругою та струмом таким чином, щоб плавка вставка не перегоріла від пускового струму електродвигуна. Наприклад, для асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором струм плавкої вставки $I_{ПВ}$ при часі пуску до 5 с розраховують так:

$$I_{ПВ} = I_{ПВСК} / 2,5 \quad ,$$

а при часі пуску більше 5 с –

$$I_{ПВ} = I_{ПВСК} / (1,6...2).$$

Плавкі вставки запобіжників калібруються на струми від 6 до 1000 А при напругах до 35 кВ.

Реле максимального струму (РМС) використовуються в електроприводах середньої і великої потужності для захисту від струмів короткого замикання. Котушки цих реле вмикаються в дві фази трифазних двигунів змінного струму і в один або два полюси двигуна постійного струму. Контакти цих реле включаються в мережі керування. При виникненні надструмів у контрольованих мережах, які перевищуватимуть струми спрацьовування реле, контакти РМС розмикаються і двигун через контактор відключається від живлення.

Як РМС застосовують реле миттєвої дії для мереж постійного струму на струми від 0,6 до 1200 А, для мереж змінного струму – від 0,6 до 630 А.

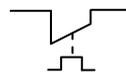
Максимальний струмовий захист не повинен спрацьовувати при пускові двигуна, для чого його уставку $I_{УМ}$ необхідно вибрати зі співвідношення

$$I_{УМ} \geq k_n I_{ПВСК} \quad ,$$

де $I_{ПВСК}$ – пусковий струм двигуна; $k = 1,5...2,2$ – коефіцієнт, який враховує вид розчеплювача і можливий розкид струму його спрацьовування відносно струму уставки. На схемах РМС позначаються літерами FA (іноді може позначатися, як проміжне реле, – KA).

Тепловий захист – здійснюється за допомогою теплових реле, які вмикають двигун від джерела живлення, якщо внаслідок протікання по його ланцюгах підвищених струмів відбувається значне нагрівання його обмоток. На схемах теплові реле позначаються літерами FP або KK.

Їх контакти зображують таким чином:



Котушки реле вмикаються в 2 фази трифазних двигунів безпосередньо (рис. 2.5, схема а) або через понижувальні трансформатори струму ТА (рис. 2.5, схема б). Для захисту двигунів постійного струму теплові реле вмикаються в один чи два полюси ланцюга їх живлення (рис. 2.5, схема в). Розмикаючі контакти теплових реле вмикаються в ланцюги керування (не зображено).

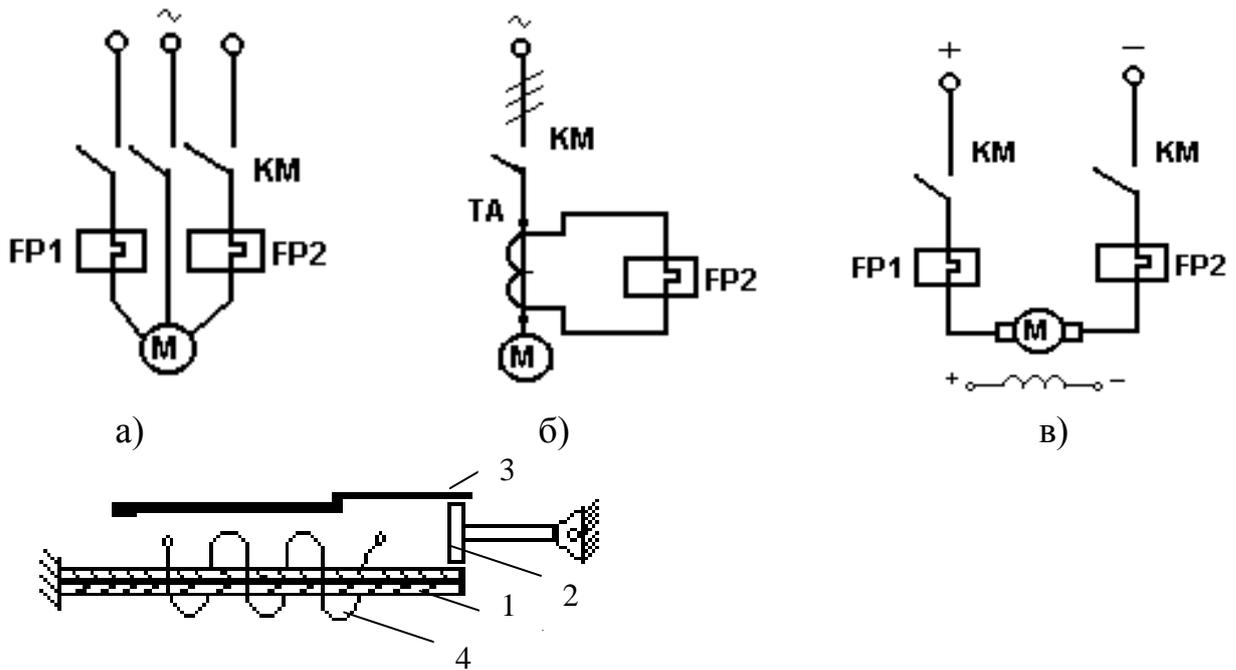


Рис. 2.5. Схеми підключення та будова теплових реле

Дія теплового реле заснована на ефекті згинання біметалевої пластини 1 через різні температурні коефіцієнти лінійного розширення двох утворюючих цю пластину металів при її нагріванні обмоткою провідника 4. При цьому вільний кінець пластини 1 вигинається і через спеціальний важіль 2 відкриває засувку 3, викликаючи розмикання контактів у схемі керування, які за допомогою контактора або магнітного пускача зупиняють двигун.

Після охолодження біметалевої пластини протягом 3 – 5 хвилин вихідне положення контактів може бути відновлене натисканням спеціальної кнопки, а в реле із самоповерненням – автоматично.

В електроприводах застосовують електротеплові реле на номінальні струми від 0,17 до 550А, також урахується величина номінальної напруги.

Ці реле мають регульовану уставку теплового захисту. При виборі теплового реле захист від перевантаження (тепловий захист) вважається ефективним при наступному співвідношенні струму уставки і номінального струму двигуна:

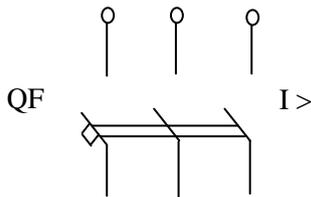
$$I_{устТ} = (1,2...1,4)I_{НОМ} .$$

При струмові $1,2 \cdot I_{НОМ}$ час спрацювання реле становить близько 20 хвилин.

Автоматичні повітряні вимикачі (автомати) – комплексні багатоцільові апарати, які забезпечують ручне ввімкнення та вимкнення двигунів, їх захист від надструмів, перевантажень і зниження напруги живлення. Для здійснення цих функцій автомат має контактну систему,

замикання і розмикання якої виконується вручну за допомогою рукоятки або кнопки, а також максимальне реле струму і теплове реле.

Важливою частиною автомата є механізм вільного розчеплення, який забезпечує його відключення при надходженні керуючих або захисних впливів, наприклад, при проходженні струмів перевантаження, короткому замиканні, значному зниженні напруги мережі, а також за необхідності дистанційного відключення автомата. На схемах позначаються літерами QF.



Діапазон номінальних струмів автоматів складає від 10 до 10000А, а граничних струмів комутації – від 0,3 до 100 кА. Час спрацьовування таких автоматів складає 0,02...0,7 с.

Автоматичні вимикачі вибираються за номінальним струмом і напругою, родом струму, граничною комутаційною здатністю, електродинамічною і термічною стійкістю, власним часом включення. За наявності в автоматах теплового і максимального струмового захисту, що забезпечується за допомогою різного роду розчеплювачів, їх уставки повинні відповідати рівням відповідних струмів двигуна.

Захисні реле напруги – реагують на зниження чи підвищення напруги понад допустиме значення. Конструкція, схемне позначення і принцип дії цих реле такі самі, як і у реле струмів, тільки котушка вмикається в ланцюг паралельно, на повну напругу.

Шляхові вимикачі (ШВ) – призначені для автоматичного ввімкнення і вимкнення електричних ланцюгів керування залежно від шляху, що пройшов виконавчий орган. **Кінцеві вимикачі (КВ)** конструктивно мало відрізняються від шляхових і служать для відключення привідного електродвигуна в крайньому положенні виконавчого органа.

Залежно від способу привода контактів механічні ШВ ділять на кнопкові, важільні і шпindelельні.

Також застосовуються ШВ, у конструкції яких використовуються фотоелементи та фоторезистори а також індукційні безконтактні перетворювачі. На схемах ШВ і КВ позначаються літерами SQ.

Схемне позначення шляхових вимикачів: 

РОЗДІЛ 3. ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ОБ'ЄКТІВ НГП

3.1. Основні поняття

Система електропостачання (СЕП) створена для забезпечення живлення електричною енергією промислових споживачів і приймачів. Це комплекс пристроїв для виробництва, передачі і розподілу електричної енергії.

Джерелами електричної енергії є районні, теплові, гідравлічні та інші електростанції, які зазвичай розташовані на деякій відстані від споживачів електричної енергії. Робота електростанцій заснована на використанні різних природних енергетичних ресурсів.

Основними приймачами електроенергії підприємств є силові промислові установки – різноманітні машини і механізми з приводними електродвигунами (верстатобробне і підйомно-кранове обладнання, вентилятори, компресори, насоси, транспортні засоби та ін.); електричні освітлювальні пристрої; електролізні та електротермічні установки, перетворювальні агрегати для живлення двигунів низької машин і механізмів, внутрішньозаводського електричного транспорту; різні види електричних апаратів, які забезпечують керування технологічними процесами, електроприводами та ін.

З урахуванням різних категорій споживачів електричної енергії їх електропостачання повинно забезпечуватися на визначеному рівні, а головне, воно має бути якісним, надійним та економічним. При цьому напруга і частота електричної мережі не повинні відрізнятися від їх номінальних значень.

Важливою особливістю системи електропостачання є практична неможливість створення запасів електричної енергії, тому що отримана електрична енергія негайно витрачається приймачами і споживачами. Крім того, під впливом різноманітних факторів відбуваються збурення, що призводять до зміни стану системи.

Сьогодні робота усієї енергосистеми, а також системи електропостачання промислових підприємств практично повністю автоматизовані, завдяки чому розв'язуються основні завдання захисту, регулювання напруги, потужності, обліку електроенергії та ін. Створення універсального керування системою електропостачання забезпечує якісне електропостачання не лише промислових підприємств із різним характером їх виробництва, але й адміністративно-господарських, побутових та житлових приміщень.

Живлення споживачів нафтової та газової промисловості електричною енергією здійснюється від мереж енергосистем або від власних місцевих електричних станцій.

Енергетичною системою називається сукупність електростанцій, ліній електропередач, підстанцій і теплових мереж, які зв'язані в єдине

ціле спільністю режиму та безперервністю процесу виробництва і розподілення електричної й теплової енергії.

Частина енергосистеми, що складається тільки з електричних пристроїв – генераторів, розподільних пристроїв, трансформаторних підстанцій, ліній електричної мережі й приймачів електроенергії, називається електричною системою. До складу електричних мереж, призначених для передачі електроенергії, входять кабельні та повітряні лінії різних напруг, трансформаторні і розподільні підстанції.

За номінальною напругою все електроустаткування поділяється на устаткування до 1000 В (НН – низька напруга) й устаткування вище 1000 В (ВН – висока напруга).

Стандартні номінальні напруги мереж НН:

220, 380/220 та 660/380 В;

для мереж ВН:

6, 10, 20, 35, 110, 220, 330, 500, 750 і 1150 кВ.

У системах електропостачання розрізняють мережі:

- 1) районні – призначені для живлення електроенергією великих районів, вони зв'язують електростанції електричної системи (ЕС) між собою та із центрами навантажень, мають напругу 110 кВ і вищу;
- 2) місцеві – призначені для живлення невеликих районів із радіусом дії 15 – 20 км та напругою до 35 кВ.

Споживачі електроенергії НГП підключаються до живлення від районних або місцевих мереж електричної системи.

Лінії місцевих мереж приєднуються до розподільних пристроїв (РП) генераторної напруги електростанцій (6 – 10 кВ) чи РП підстанцій до 35 кВ, які називаються центрами живлення (ЦЖ).

Від ЦЖ електроенергія підводиться до розподільних пунктів (РПн), а від РПн надходить до електроустановок споживачів без зміни напруги або на трансформаторні підстанції (ТП), що знижують напругу перед розподіленням між окремими споживачами.

3.2. Система електропостачання споживачів нафтових та газових промислів при живленні від енергосистеми

Від районної електричної мережі енергосистеми за допомогою ліній електропередачі (ЛЕП) напругою 110 кВ живиться центральна підстанція (ЦП). Від неї енергія при напрузі 35 кВ подається на промислові знижувальні підстанції 35/6 кВ.

При напрузі 6 кВ енергія подається до бурових установок, компресорних станцій, насосів перекачування нафти, насосних систем підтримки пластового тиску, трансформаторних підстанцій 6/0,4 кВ, що живлять електрообладнання свердловин насосної експлуатації. На бурових установках основні двигуни (ротора, лебідки, бурових насосів) живляться при напрузі 6 кВ, а двигуни допоміжних механізмів – при напрузі 0,38 кВ через знижувальні трансформатори 6/0,4 кВ. Існують

бурові установки, на яких двигуни ротора та лебідки живляться напругою 0,5 кВ, котру отримують від бурового трансформатора 6 /0,525 кВ.

Двигуни верстатів-качалок і установки заглибних електронасосів одержують живлення 0,38 кВ від промислових трансформаторних підстанцій 6/0,4 кВ, від яких живляться й інші споживачі з двигунами потужністю, що не перевищує 150 кВ. Зараз упроваджується система глибокого введення електроенергії, при якій більш висока напруга підводиться безпосередньо до вузлів споживачів. При цьому на бурові установки безпосередньо підводяться лінії передачі 35 або 110 кВ. До установок верстатів-качалок і заглибних електронасосів електроенергію можуть підводити при 6 кВ з установленням знижувальних трансформаторів біля свердловин.

Компресорні станції магістральних газопроводів і перекачувальні насосні станції магістральних трубопроводів отримують електроенергію від внутрісистемних районних розподільних мереж енергосистем при напрузі 110 кВ та оснащуються власними потужними знижувальними підстанціями 110 / 6 кВ, які мають також ступені вторинної трансформації 6/0,4 кВ.

3.3. Категорії електроприймачів

За ступенем необхідної безперебійності електропостачання всі електроприймачі розподіляються на три категорії.

До першої категорії належать електроприймачі, перерва в електропостачанні котрих може спричинити небезпеку для життя людей, значний збиток, пов'язаний із пошкодженням обладнання, масовим браком продукції, тривалим розладом технологічного процесу (наприклад, компресорні станції магістральних газопроводів, головні насосні станції, бурові установки на морі). Зі складу електроприймачів I категорії виділяють особливу групу електроприймачів, безперебійна робота яких необхідна для безаварійного зупинення виробництва з метою запобігання загрози для життя людей, вибухів і пожеж.

До другої категорії належать електроприймачі, перерва в електропостачанні яких пов'язана з масовим недовипуском продукції, простоем робітників, механізмів і промислового транспорту (насосні станції, не віднесені до I категорії, компресорні станції закачки газу в підземні сховища, підприємства, електротранспорт).

До третьої категорії належать усі інші електроприймачі (допоміжні цехи, склади, гаражі і житлові поселення).

Установки, віднесені до I категорії, повинні мати живлення, котре забезпечується двома незалежними джерелами живлення (ДЖ) з автоматичним резервуванням. Перерва в електропостачанні допускається лише на час, необхідний для автоматичного ввімкнення резервного джерела (1 – 2 с).

Електропостачання особливої групи електроприймачів I категорії

повинне передбачати живлення від трьох незалежних ДЖ. Для приймачів з невеликим навантаженням як третє ДЖ може бути використано автономне джерело (дизельна електростанція, акумуляторна батарея).

Для установок, що належать до II категорії, допустимі перерви в електропостачанні на час, необхідний для вмикання резервного живлення персоналом (до 30 хв).

Для навантажень III категорії допустима перерва в електропостачанні до 24-х годин. Живлення таких споживачів виконується від одного джерела без резервування.

3.4. Силові трансформатори та їх вибір

Трансформаторною підстанцією (ТП) називається електроустановка, призначена для зміни напруги з метою розподілення енергії (знижувальна ТП) або передачі енергії на відстані (підвищувальна ТП).

Підвищувальні трансформаторні підстанції (які споруджуються зазвичай при електростанціях) перетворюють відносно невелику напругу, що виробляється генераторами, у вищу напругу (одного або декількох значень), необхідну для передачі електроенергії по лініях електропередачі (ЛЕП).

Знижувальні трансформаторні підстанції перетворюють первинну напругу електричної мережі в нижчу вторинну. Залежно від призначення і від величини первинної і вторинної напруги знижувальні трансформаторні підстанції підрозділяються на районні, головні знижувальні і місцеві (цехові). Районні трансформаторні підстанції приймають електроенергію безпосередньо від високовольтних ЛЕП і передають її на головні знижувальні ТП, а ті (знизивши напругу до 35, 10 або 6 кВ) — на місцеві і цехові підстанції, на яких здійснюється останній рівень трансформації (з пониженням напруги до 660, 400 або 230 В) і розподіл електроенергії між споживачами.

За конструкцією розрізняють відкриті та закриті ТП. У першому випадку обладнання розташоване на відкритому повітрі, а в другому – в закритому приміщенні.

У трансформаторних підстанціях застосовують силові знижувальні трансформатори 110/35; 110/6; 35/6; 35/0,4–0,5–0,69; 6–10/0,4–0,5–0,69 кВ. Потужності трансформатора коливаються в межах від одиниць кВА до десятків МВА.

Основні електричні характеристики силових трансформаторів:

- 1) номінальна потужність S_H , кВА;
- 2) перенавантажувальна здатність;
- 3) висока і низька номінальна напруга, кВ ;
- 4) напруга короткого замикання U_K , %;
- 5) втрати активної потужності ХХ і КЗ – ΔP_{XX} та ΔP_{K3} , кВт;
- 6) струм холостого ходу I_{XX} , у % від номінального I_H .

Масляні трансформатори допускають 60-відсоткове аварійне перевантаження протягом 15 хвилин, а сухі – 50-відсоткове перевантаження протягом того ж часу. При зовнішній установці масляних трансформаторів допустимі для них аварійні перевантаження зростають. При виборі потужності і кількості працюючих трансформаторів повинні бути враховані економічні фактори: робота їх із найменшими втратами, тобто з найбільшим ККД.

Повна потужність трансформатора, необхідна для його вибору, визначається як сума активної (P) та реактивної (Q) потужностей з урахуванням коефіцієнта опитування кожного електроприймача, підключеного до трансформатора. Коефіцієнт опитування K_0 – це відношення споживаної потужності до номінальної.

Спочатку обчислюється розрахункова активна потужність

$$P = \sum_{i=1}^n K_{oi} \cdot P_i ,$$

де P_i – номінальна потужність електроприймача n-ої групи;

K_{oi} – коефіцієнт опитування електроприймача n-ої групи.

Далі визначається реактивна потужність

$$Q = \sum_{i=1}^n K_{oi} \cdot P_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i ,$$

де $\operatorname{tg} \varphi_i$ – значення, що відповідають коефіцієнту потужності електроприймача n-ої групи.

Повна потужність трансформатора розраховується таким чином:

$$S_{TV_{роз}} = \sqrt{P^2 + Q^2} , \text{ кВА} .$$

Трансформатор вибирають за умови $S_{TV} \geq S_{TV_{роз}}$.

3.5. Електрообладнання розподільних пристроїв ВН

Усі електричні апарати високої напруги (ВН) поділяються на захисні та комутаційні. До перших належать плавкі запобіжники, вентильні і трубчасті розрядники, до других – апарати для вмикання та вимикання силових електричних ланцюгів (масляні, елегазові, повітряні й вакуумні вимикачі та роз'єднувачі).

Запобіжники ВН. Для захисту від струмів короткого замикання силових установок відносно невеликої потужності на напругу до 35 кВ застосовуються кварцові запобіжники типу ПК. Вони являють собою порцелянову трубку із кварцовим піском і плавкою вставкою з декількох паралельно з'єднаних між собою посріблених мідних дротів. Випускаються на напругу 3, 6, 10, 35 кВ і струми до 400А.

Роз'єднувачі ВН виготовляють без дугогасних пристроїв, ними не можна вимикати лінії ВН під навантаженням, оскільки виникнення відкритої стійкої дуги між контактами може закортити фази та викликати аварію. Значного поширення набули триполюсні роз'єднувачі із спільним

керуванням полюсами за допомогою ручних важільних приводів. Випускаються на всі стандартні напруги ВН і струми 200 – 14000 А.

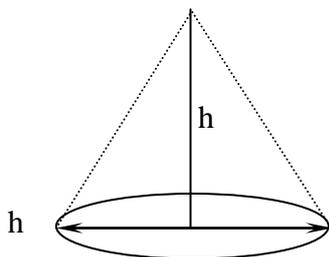
Масляні вимикачі застосовуються для вмикання та вимикання електроустановок, що знаходяться під навантаженням, а також вимикання їх при короткому замиканні. Розрізняють вимикачі з великим об'ємом масла (бакові) і з малим (горшкові).

Високоякісне мінеральне трансформаторне масло в масляних вимикачах використовується як дугогасильне середовище та для підсилення ізоляції струмоведучих частин вимикача одна від одної і від корпусу, який надійно заземляється.

У повітряних вимикачах дуга гаситься струменем стислого повітря, що надходить у зону горіння дуги під тиском до $2,0 \text{ мН/м}^2$. При цьому тискові й температурі 20°C повітря рухається зі швидкістю до 300 м/с та інтенсивно видаляє іонізуючі частинки з дугового проміжку, створюючи в ньому високу електричну міцність, при якій напруга, що відновлюється, не в змозі знову викликати дуговий розряд після його завершення. Повітря подається зі спеціального резервуара стиснутого повітря. На об'єктах НГП повітряні вимикачі знайшли застосування в РП напругою 35 і 110 кВ.

Елегазовий вимикач – високовольтний вимикач, в якому середовищем для гасіння електричної дуги є елегаз (гексафторид сірки, SF₆). Елегазовий вимикач призначений для комутацій (операцій включення-відключення) електричного струму (номінального і струмів короткого замикання) в електроустановках. Елегазові вимикачі мають великі перспективи при напрузі від 110 до 1150 кВ і струмах відключення до 80 кА. У технічно розвинених країнах елегазові вимикачі високої і надвисокої напруги (110-1150 кВ) практично витіснили всі інші типи комутаційних апаратів.

Захист установок від прямих ударів блискавки здійснюється заземленими стрижневими та тросовими блискавковідводами.



Зона, захищена блискавковідводом, приблизно вписується в конус з основою, рівною висоті блискавковідводу h .

Тросові блискавковідводи застосовуються для захисту ліній ВН від прямих ударів блискавки.

Для захисту електроустановок від атмосферних перенапруг використовуються вентильні і трубчасті розрядники, за допомогою яких енергія газової перенапруги розряджається на землю.

3.6. Основні конструктивні елементи електричних ліній

Електричні лінії, розташовані на відкритих територіях, виконують повітряними і кабельними. У середині будівлі лінії виконують

ізолюваними проводами та кабелями, які прокладають у тунелях, каналах, стінах, сталевих трубах.

Повітряні лінії (ПЛ) мають такі конструктивні елементи: провід, грозозахисні троси, опори, ізолятори, арматури для кріплення ізоляторів, заземлювачі.

Існують одноланцюгові й дволанцюгові повітряні лінії, причому під одним ланцюгом прийнято розуміти три дроти однієї трифазної лінії.

Для ПЛ застосовують неізолювані алюмінієві, сталеалюмінієві і сталеві дроти. На морських нафтових промислах алюмінієві дроти можуть швидко руйнуватися внаслідок корозії, через це тут дозволяється застосовувати більш дорогі мідні дроти.

Вибір площі перерізу кабелів здійснюється за рівним або найближчим більшим струмом відповідно до обраного типу кабелю та попередньо розрахованого номінального струму провідника

$$I_n = \frac{P_\Sigma \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi \cdot \eta} ,$$

де $P_\Sigma, U_n, \cos \varphi, \eta$ – сумарна потужність, напруга, коефіцієнт потужності та ККД споживача або групи споживачів, що підключені до обраного кабелю.

При виборі перерізу кабелів треба мати на увазі, що при однаковій температурі нагріву допустима щільність струму струмопровідних жил більшого перерізу повинна бути меншою, так як збільшення перерізу їх відбувається в більшій степені, ніж зростає охолоджувальна поверхня. Тому часто з метою економії кольорових металів замість одного кабелю більшого перерізу обирають два або декілька кабелів (або жил кабелів) меншого перерізу.

Опори служать для підвішування дротів у повітрі, вони виготовляються з дерева, сталі та залізобетону. Дерев'яні опори використовують для ліній напругою від 0,38 до 220 кВ, залізобетонні – від 0,38 до 330 кВ, а металеві – від 35 кВ і вище.

Основними є **анкерні опори**, вони служать для жорсткого закріплення дротів, їх установлюють через деяке число проміжних опор, а також на переходах через дороги, на перетинах з іншими лініями та спорудами.

Проміжні опори встановлюються на прямих ділянках траси й служать для підтримки дротів у повітрі між анкерними опорами.

На морських лініях часто ставляться підвищені опори для проходження морських суден. Такі опори називають «воротними», вони мають висоту до 24 метрів над рівнем моря.

На морських промислах застосовують тільки металеві опори. Тут повітряні лінії будуються на глибині моря до 12 метрів.

Ізолятори служать для закріплення дротів на опорах із метою їх ізоляції від опор і землі, виготовляються з порцеляни або загартованого скла.

Для захисту від прямих ударів блискавки в ПЛ напругою 110 кВ та вище служить надійно заземлений сталевий грозозахисний трос, підвішений над струмоведучими проводами. ПЛ напругою 6–35 кВ захищаються від атмосферних перенавантажень тільки на підходах до перетворювальних станцій. На проміжних опорах ПЛ напругою 0,4 кВ, особливо у сільських районах, через кожні 5 – 6 прогонів (до 200 м), а також на кінцевих опорах установлюють грозозахисні заземлення, поєднані з повторним заземленням нейтрального проводу (за його наявності) опором 10 – 30 Ом. До цих заземлювачів надійно приєднуються крюки і штирі ізоляторів усіх фазних проводів.

Кабельні лінії (КЛ) значно дорожчі й прокладаються там, де будівництво повітряних ліній неможливе або недоцільне. Виявлення пошкоджень у КЛ потребує великих витрат часу. До переваг належать: недоступність КЛ для сторонніх осіб, захист від газових та інших зовнішніх впливів.

Найбільш розповсюджені кабелі на напругу до 1000 В і до 10 кВ. Кабелі на 35 кВ та 110 кВ у нафтогазовій промисловості практично не застосовуються.

У КЛ використовуються трижильні кабелі з паперовою, пластмасовою і гумовою ізоляцією. Для з'єднання кабелів застосовують свинцеві та чавунні з'єднувальні муфти.

Прокладання кабелів ведуть безпосередньо в землі – в траншеях, а при великій кількості кабелів для них роблять спеціальні тунелі.

На морських промислах використовують кабельні прокладання по дну моря, для чого застосовують спеціальні морські кабелі марки СК. Виведення цих кабелів на берег виконують у трубах, а на морські основи – по палях основ. Однак у випадках використання кабельних ліній на морських промислах, якщо дозволяє траса лінії, кабель прокладають головним чином по естакадах, що забезпечує більшу надійність КЛ порівняно з підводними.

Силові кабелі, які прокладають у тунелях і всередині приміщень (у каналах, безпосередньо на стінах), повинні бути попередньо звільнені від зовнішнього покриву з пряжі з метою пожежної безпеки.

РОЗДІЛ 4. ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ «РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ТА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ОБ'ЄКТІВ НАФТОГАЗОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ»

Загальні вказівки до виконання курсової роботи

Курсова робота має бути оформлена відповідно до вимог ЄСКД на аркушах формату А4. Кожна сторінка повинна мати рамки і штамп із шифром. Зміст курсової роботи виконується на аркуші зі штампом за формою 2 (40 мм). Інші сторінки текстової частини повинні мати рамки і штамп за формою 2а (15 мм). Кожен розділ треба писати з нового аркуша.

Зміст курсової роботи

I. Теоретична частина.

1. Технічні дані завдання згідно з варіантом.
2. Вступ.
3. Вибір привідного двигуна бурового насоса з перевіркою на перевантаження та можливість запуску при 10-відсотковому зниженні напруги живлення, а також з перевіркою відповідності температури перегріву двигуна за час пуску вказаному класу нагрівостійкості ізоляції двигуна.
4. Розрахунок та вибір пускових резисторів у колі статора для зниження пускового струму.
5. Опис роботи принципової схеми електропривода бурового насоса.
6. Вибір привідного двигуна верстата-качалки з перевіркою на можливість запуску при 10-відсотковому зниженні напруги живлення.
7. Розрахунок і побудова механічних характеристик електродвигуна верстата-качалки.
8. Опис роботи принципової схеми електропривода верстата-качалки.
9. Розрахунок та вибір елементів принципової схеми верстата-качалки.
10. Розрахунок та вибір елементів системи електропостачання бурової установки.
11. Перелік використаної літератури.

II. Графічна частина.

1. Схема електрична силової частини електропривода бурового насоса.
2. Схема керування електроприводом бурового насоса.
3. Навантажувальна діаграма електропривода верстата-качалки.
4. Механічна характеристика електродвигуна верстата-качалки.
5. Схема електрична електропривода верстата-качалки.
6. Система електропостачання бурової установки.

Графічна частина виконується згідно з вимогами ЄСКД на аркушах формату А4 зі штампами за формою 1 (55 мм). Графіки та діаграми виконують у достатньо великому масштабі в будь-якому графічному пакеті або на міліметровому папері і наклеюють на аркуші формату А4. Графічна частина наводиться в додатку.

Зразок оформлення титульного аркуша
Міністерство освіти і науки України

Національний університет
«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
(повне найменування вищого навчального закладу)

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій
(повна назва кафедри, циклової комісії)

КУРСОВИЙ ПРОЕКТ (РОБОТА)

з дисципліни «Електротехніка та електропостачання»
(назва дисципліни)

на тему «Розрахунок електрообладнання та електропостачання
об'єктів НГП»

Шифр

Студента (ки) ____ курсу _____ групи
спеціальності 185 «Нафтогазова інженерія та
технології»

(з.кн. № _____)

(прізвище та ініціали)

Керівник: доцент, к.т.н. Єрмілова Н.В.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Національна шкала _____

Кількість балів: _____ Оцінка: ECTS _____

Члени комісії

_____ (підпис)

_____ (прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

_____ (прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

_____ (прізвище та ініціали)

Полтава 2020

Зразок оформлення завдання
Міністерство освіти і науки України

Національний університет «Полтавська політехніка
імені Юрія Кондратюка»

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

Завдання до курсової роботи
з дисципліни «Електротехніка та електропостачання»
студенту _____ групи _____
Завдання № _____

Розробити електропривід бурового насоса, верстата-качалки та систему електропостачання бурової установки за такими вхідними даними:

1. Буровий насос

№	Параметр	Позн.	Велич.
1	Продуктивність	Q_{cp}	
2	Тиск	H	
3	Синхр. шв. двиг.	по	
4	Клас ізоляції двиг.		
5	Коефіц. запасу	K	
6	Об'ємний ККД	η_o	
7	Гідравліч. ККД	η_r	
8	Механічн. ККД	η_m	
9	ККД передачі	η_n	
10	Коеф. зниж. стр.	α	

2. Верстат-качалка

№	Параметр	Позн.	Велич
1	Тип В-К		
2	Макс. кр. мом. роб	M_{max0}	
3	Макс. кр. мом. хол	M'_{max0}	
4	Середн. крутний момент	$M_{сер0}$	
5	Кількість коливань	n_k	
6	Синхр. швид. двиг	n_o	
7	ККД передачі	η_n	
8	Коефіцієнт запасу	K	

3. Система електропостачання бурової установки

Параметр	P1	η_1	$\cos\varphi_1$	K01	L1	L01	P3	η_3	$\cos\varphi_3$
Величина									

Параметр	K03	L3	P4	η_4	$\cos\varphi_4$	K04	L4	P5
Величина								

Параметр	η_5	$\cos\varphi_5$	K05	L5	P6	η_6	$\cos\varphi_6$	K06	L6
Величина									

Завдання видав _____

Дата видачі _____

4.1. Розрахунок електропривода бурового насоса

Буровий насос призначений для нагнітання бурового розчину в бурильну колону і створення циркуляції бурового розчину в свердловині у процесі буріння. Бурові насоси – основні споживачі електроенергії (70 – 80% установленої потужності двигунів бурової установки). Потужність сучасних бурових насосів коливається від 300 до 3000 кВт. Для кожного класу бурової установки насос повинен мати визначену потужність, подачу й тиск.

Насоси можуть працювати при температурі навколишнього середовища $\pm 50^{\circ}\text{C}$. При цьому температура бурового розчину коливається від -1 до $+80^{\circ}\text{C}$. Буровий насос має бути пристосований до ступінчастої зміни подачі рідини в процесі буріння в 2 – 3 рази. До того ж він повинен мати здатність короткочасно розвивати необхідний тиск для продавлення частинок вибуреної породи, які осіли в затрубному просторі.

Час роботи насоса – від 30 хвилин до 200 годин і більше залежно від терміну роботи долота. Термін періодичних технологічних зупинок може складати 3 – 15 хвилин для нарощування бурильної колони та близько 10 годин при спуску й підйомі долота з великої глибини.

Аналіз конструктивних особливостей різних типів насосів показує, що вимоги технології продавлення найбільше задовольняють поршневі горизонтальні насоси. Поршневі насоси мають потужність 32, 50, 80, 125, 190, 235, 300, 345, 475, 600, 750, 950, 1180, 1840 кВт при максимальній подачі 40 – 50 л/с бурового розчину й розвивають максимальний тиск 90 – 105 МПа при мінімальних подачах. Регулювання подачі насоса від 5 – 20 л/с до максимальної здійснюється ступінчасто заміною поршнів і втулок різних діаметрів. У сучасних схемах регулювання подачі здійснюють регулюванням швидкості обертання двигунів за допомогою потужних частотних перетворювачів. Як привідні двигуни використовуються потужні синхронні й асинхронні двигуни з короткозамкненим та фазним ротором, які живляться напругою 6000 В. В установках глибокого буріння іноді застосовують і приводи постійного струму.

При обертвовому бурінні з безперервною циркуляцією розчину застосовуються поршневі насоси з різними структурними схемами:

- прямодіючі;
- привідні.

Незважаючи на більш складну конструкцію і нерівномірну подачу, найбільше розповсюдження у бурових установках отримали поршневі привідні насоси, оскільки вони значно економічніші, ніж поршневі прямодіючі насоси.

Серед поршневих привідних насосів переважно застосовують двопоршневі насоси двосторонньої дії і трипоршневі насоси односторонньої дії. Як показала практика, подальше збільшення кількості

поршнів не раціональне у зв'язку зі збільшенням швидкозношуваних деталей і складністю в експлуатації. Значна пульсація миттєвої подачі у поршневих привідних насосах є результатом перетворення обертового руху у зворотно-поступальний, що здійснюється кривошипно-шатунним механізмом. Для зменшення шкідливого впливу пульсації подачі в конструкцію цих насосів уведено компенсатори, котрі амортизують коливання подачі бурового розчину. Спроби застосувати трипоршневі насоси двосторонньої дії, у котрих подача набагато рівномірніша, ніж у двопоршневих, не дали задовільних результатів. З появою більш досконалих діафрагмових компенсаторів, які забезпечують високу рівномірність подачі, складні трипоршневі насоси двосторонньої дії втратили свої переваги. Для поліпшення рівномірності подачі робилися спроби використовувати багатоплунжерні насоси. Але під час перекачування бурових розчинів вони також не дали позитивних результатів, тому що плунжери і сальники погано працювали при високих тисках, а заміна їх досить складна.

Нині використовуються здебільшого двопоршневі насоси двосторонньої дії з кількістю подвійних ходів за хвилину 35 – 90 і довжиною ходу до 0,5 м, а також трипоршневі насоси односторонньої дії з кількістю подвійних ходів за хвилину 35 – 180 і довжиною ходу до 0,3 м при діаметрі циліндрових втулок 120 – 200 мм.

Вихідні пульсації трипоршневого насоса односторонньої дії значно менші, ніж пульсації двопоршневого насоса двосторонньої дії (рис. 4.1):

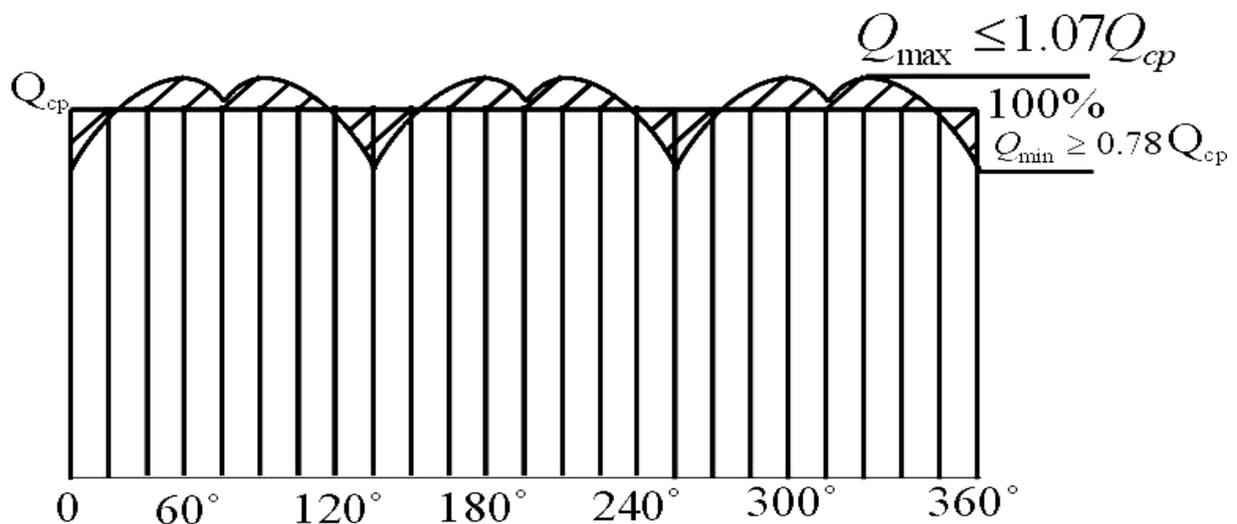


Рис. 4.1. Графік пульсації трипоршневого насоса односторонньої дії

Ефективність різних структурних схем насосів визначається простотою конструкції, технологічністю, кількістю швидкозношуваних деталей, вірогідністю безвідмовної роботи, масою, ККД і т. ін.

4.1.1. Визначення необхідної потужності електродвигуна бурового насоса

Потужність привідного електродвигуна для усталеного руху визначається за формулою

$$P = K \cdot \frac{Q_{\text{ср}} H}{\eta} 10^{-3}, \text{ кВт} , \quad (4.1)$$

де K – коефіцієнт, що враховує можливість тривалого перевантаження насоса, звичайно приймають $K=1,015 - 1,1$;

$Q_{\text{ср}}$ – середня продуктивність насоса, її величина задається графіком роботи насоса, $\frac{\text{м}^3}{\text{с}}$;

H – найбільший тиск, який насос повинен розвивати на виході, $\frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$;

η – загальний коефіцієнт корисної дії технічної системи:

$$\eta = \eta_0 \cdot \eta_{\Gamma} \cdot \eta_{\text{м}} \cdot \eta_{\text{п}}, \quad (4.2)$$

де η_0 – об'ємний ККД бурового насоса, який урахує витрати потужності на прокачування під тиском частини розчину через ущільнення поршнів, штоків клапанів, звичайно приймають $\eta_0=0,95 - 0,99$;

η_{Γ} – гідравлічний ККД бурового насоса, за допомогою якого оцінюють витрати потужності в клапанах вхідного й вихідного колекторів у гідравлічній коробці, звичайно приймають $\eta_{\Gamma}=0,97 - 0,98$;

$\eta_{\text{м}}$ – механічний ККД насосного агрегату, який урахує витрати енергії на тертя у кулькогвинтовому механізмі перетворення обертового руху повзуна, звичайно приймають $\eta_{\text{м}} = 0,85 - 0,95$;

$\eta_{\text{п}}$ – ККД передачі між двигуном і насосом, $\eta_{\text{п}} = 0,85 - 0,95$.

Після визначення необхідної потужності відповідно до додатка Г обирають найближчий, більший за потужністю двигун заданої швидкості обертання.

4.1.2. Перевірка двигуна на перевантажувальну здатність та можливість запуску

Перевірку двигуна проводять за умови зниження напруги мережі на 10%. Оскільки момент асинхронного двигуна пропорційний квадрату напруги, то це зниження напруги приводить до зниження моменту на 19% ($0,9^2 = 0,81$).

Для перевірки спочатку визначають номінальний момент двигуна

$$M_H = \frac{1000 \cdot P_H}{\omega_H} = 9550 \frac{P_H}{n_H}, \quad (4.3)$$

де P_H, ω_H – номінальні потужність та кутова швидкість обертання двигуна, що обрано, $\omega_H = \frac{n_H}{9,55}$.

Якщо у довідникових даних на двигун не задана швидкість обертання n_n , то її визначають через ковзання $n_n = n_0(1 - S)$. Ковзання необхідно підставляти у частках, а не у відсотках, як зазвичай задається у довідниках.

Визначають максимальний момент двигуна

$$M_{\max} = K_1 M_H, \quad (4.4)$$

де K_1 – коефіцієнт кратності максимального й номінального моментів двигуна, що обрано, $K_1 = \frac{M_{\max}}{M_{\text{ном}}}$.

Для перевірки двигуна необхідно розрахувати також максимальний статичний момент (момент, коли статична потужність на валу більша за номінальну).

Для розрахунку використовують формули (4.1) та (4.3), підставляючи максимальну продуктивність насоса $Q_{\max} = 1,07 \cdot Q_{\text{ср}}$:

$$P_{\text{ст max}} = K \frac{Q_{\max} \cdot H}{\eta} 10^{-3}, \quad (4.5)$$

$$M_{\text{ст max}} = 9550 \frac{P_{\text{ст max}}}{n_H}. \quad (4.6)$$

Перевантажувальну здатність двигун задовольняє, якщо виконується умова

$$0,81 M_{\max} \geq M_{\text{ст max}}. \quad (4.7)$$

Для перевірки двигуна на можливість запуску при максимальному статичному навантаженні й мінімальній напрузі визначають пусковий момент

$$M_{\Pi} = K_2 M_H, \quad (4.8)$$

де K_2 – коефіцієнт кратності пускового й номінального моментів двигуна, що обрано, $K_2 = \frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{ном}}}$.

Умову пуску двигун задовольняє, коли

$$0,81 \cdot M_{\Pi} \geq M_{\text{ст max}}. \quad (4.9)$$

Перевірку двигуна на температуру перегріву при його пуску здійснюють згідно з виразом

$$t_{\text{пер}} = \frac{K_3^2 \Delta^2}{175} t_{\Pi}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (4.10)$$

де Δ – щільність струму, для потужних двигунів приймають $\Delta = 6 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$;

K_3 – коефіцієнт кратності пускового й номінального струмів двигуна;

$$K_3 = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{ном}}}; \quad t_{\text{п}} - \text{час пуску привода.}$$

Необхідний для розрахунку температури перегріву час пуску привода до номінальної швидкості обертання ω_H розраховують за формулою

$$t_{\text{п}} = \frac{J_{\text{пр}} \omega_H}{M_{\text{п}} - M_{\text{ст. max}}}, \quad (4.11)$$

де $J_{\text{пр}}$ – приведений динамічний момент інерції системи. Як відомо, найбільша частка цього моменту припадає на ротор двигуна, тому у розрахунках наближено приймають

$$J_{\text{пр}} = (1,1 \dots 1,25) \cdot J_{\text{ед}}, \quad (4.12)$$

де $J_{\text{ед}}$ – динамічний момент інерції ротора електродвигуна, він береться з довідникових даних на двигун.

Отриману за виразом (4.10) температуру перегріву порівнюють із припустимою температурою перегріву заданого класу ізоляції (для класу $E - 80^\circ\text{C}$; $B - 90^\circ\text{C}$; $F - 115^\circ\text{C}$).

Якщо двигун не задовольняє умови перевірок (4.7), (4.9) або (4.10), необхідно взяти двигун більшої потужності або іншого типу й провести всі перевірки знову.

4.1.3. Розрахунок пускових резисторів у колі статора

Для зниження пускових струмів короткозамкненого асинхронного двигуна у коло статора на момент пуску вводять активні та реактивні резистори. Зниження струму характеризується коефіцієнтом α :

$$I_{\text{пр}} = \alpha \cdot I_{\text{п}}, \quad (4.13)$$

де $I_{\text{пр}}$ – пусковий струм при ввімкненому резисторі; $I_{\text{п}}$ – пусковий струм за відсутності резистора.

Визначають номінальний струм двигуна (якщо немає у довідникових даних на двигун)

$$I_H = \frac{P_H \cdot 1000}{\sqrt{3} U_H \eta_H \cos \varphi_H}, \quad (4.14)$$

де $P_H, U_H, \eta_H, \cos \varphi_H$ – номінальна потужність, напруга, ККД та $\cos \varphi$ двигуна, вказані у каталозі; величина η_H береться у частках.

Обчислюють коефіцієнт потужності в момент пуску

$$\cos \varphi_{II} = \cos \varphi_H \left[\frac{M_{II}}{M_H} \cdot \frac{\eta_H}{(1 - S_H)} \cdot \frac{I_{II}}{I_H} + \gamma \frac{I_{II}}{I_H} (1 - \eta_H) \right], \quad (4.15)$$

де $\gamma = \frac{1}{3}$ – визначає відношення втрат у міді до номінальних втрат.

Далі розраховують пусковий струм електродвигуна

$$I_{II} = K_3 I_H. \quad (4.16)$$

Повний опір фази двигуна у момент пуску

$$Z_K = \frac{U_H}{\sqrt{3} I_{II}}. \quad (4.17)$$

Активний та індуктивний опори фази при пуску:

$$\begin{aligned} r_K &= Z_K \cos \phi_{II}; \\ x_K &= Z_K \sin \phi_{II}. \end{aligned} \quad (4.18)$$

Активний та індуктивний опори пускового резистора на фазу визначають із співвідношень:

$$r_{II} = \sqrt{\left(\frac{Z_K}{\alpha}\right)^2 - x_K^2 - r_K}; \quad (4.19)$$

$$x_{II} = \sqrt{\left(\frac{Z_K}{\alpha}\right)^2 - r_K^2 - x_K}. \quad (4.20)$$

Знаючи величину потрібного активного опору пускового резистора r_{II} та струм статора двигуна, з додатка Д вибирають стандартні резистори за умови відхилення каталожного значення від розрахункового не більше ніж на 20%:

$$\Delta r = \frac{r_{II} - r_{кат}}{r_{II}} \cdot 100\% < \pm 20\%. \quad (4.21)$$

Можна складати комбінації зі ступенів каталожних резисторів (паралельне та послідовне вмикання).

4.1.4. Розроблення електричної схеми

На рис. 4.2 – 4.3 представлена електрична схема силової частини й схема керування електроприводом бурового насоса.

Силова схема живиться напругою 6000 В. Живлення здійснюється через автоматичний вимикач високої напруги QF1 та кварцові запобіжники FU1 – FU3. Схема керування живиться напругою 220 В через трансформатор напруги TV1 та запобіжники FU4 – FU5.

Напруга живлення подається кнопкою SA1.

Керування пуском та зупинкою двигуна – дистанційне, здійснюється універсальним перемикачем SM1, який установлений безпосередньо в насосному блоці; відключення можливе як перемикачем SM1, так і перемикачем SM2, що встановлений на пульті бурильника.

Схема працює наступним чином.

Після подачі живлення на силову схему вимикачем QF1 та кнопкою SA1 на схему керування намагнічується котушка захисного реле KV3 (якщо рівень напруги відповідає нормі), замикається контакт KV3, подаючи живлення на котушку реле KV1, контакти KV1 замикаються.

Переведення ручки SM1 у праве положення (при SM2 у центральному положенні) викликає спрацьовування реле напруги KV2 і реле часу KT1. Реле KV2 замикає коло живлення контактора високої напруги KM1 (якщо контакт реле захисту KV1 замкнений). Цей контактор головними контактами подає живлення на двигун, а допоміжними – здійснює самоблокування.

Для зниження пускового струму напруга на двигун подається через резистори R1 – R3. Одночасно контактом KM1 подається живлення на сигнальну лампу HL.

Через час, необхідний для розгону електродвигуна до деякої проміжної швидкості, замикаються контакти реле часу KT1 (якщо контакт KV1 замкнений) і подається живлення на контактор високої напруги KM2. Контактор замикає силові контакти KM2 і здійснює самоблокування допоміжними контактами KM2. Двигун працює в номінальному режимі з номінальною швидкістю обертання.

При встановленні перемикача SM1 у ліве положення (стоп) або перемикача SM2 у ліве чи праве положення реле KV2 та KT1 вимикаються, їх контакти розмикаються, контактори KM1 та KM2 розмагнічуються й відключають двигун від джерела живлення.

Реле KV2 та KT1 живляться постійним струмом, тому в схемі передбачений випрямляч з діодів VD1 – VD4.

Резистори R4, R5, R6 установлені для узгодження за напругою параметрів реле KV2, KT1 та сигнальної лампи HL.

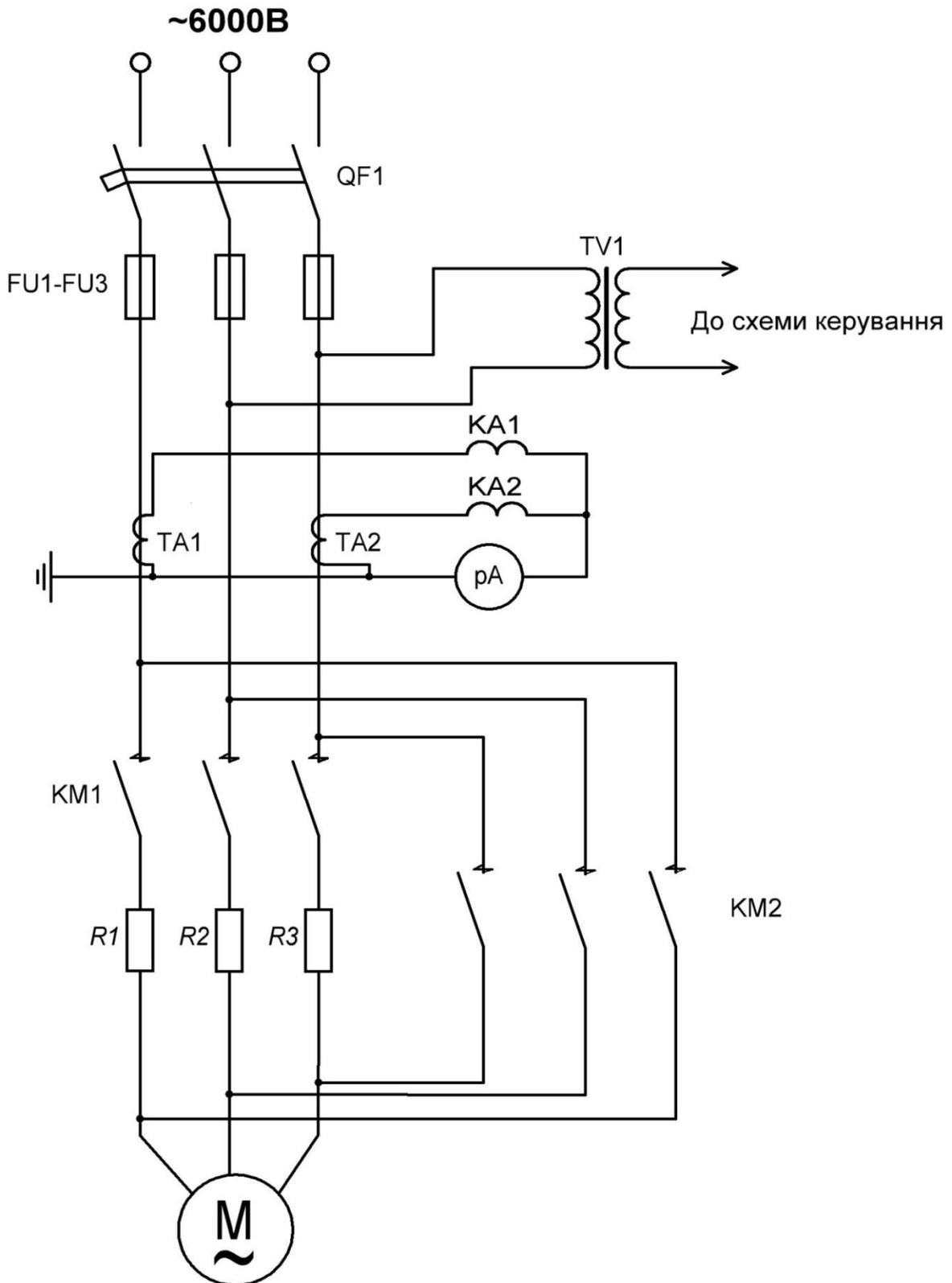


Рис. 4.2. Схема електрична силової частини електропривода бурового насоса

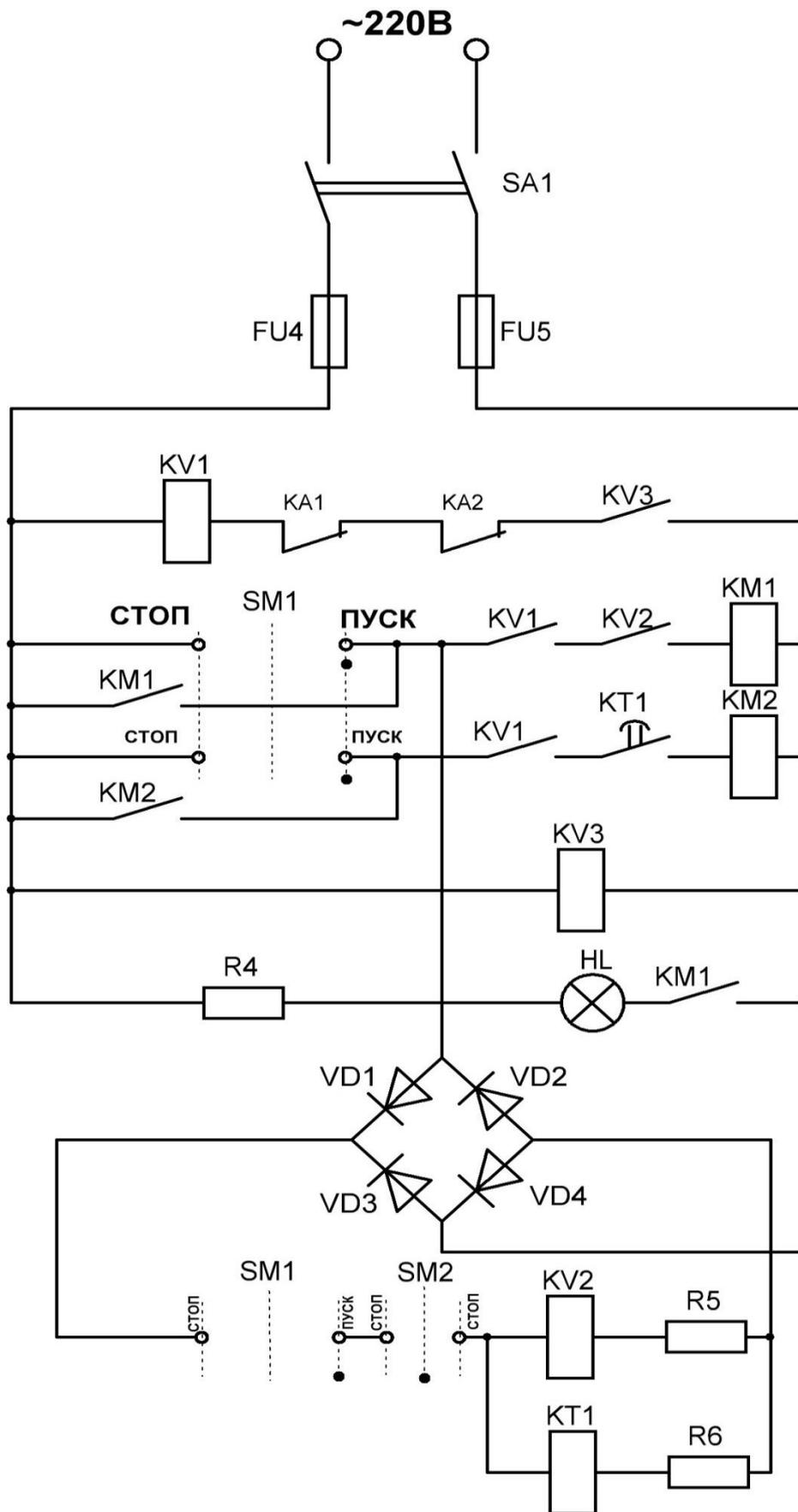


Рис. 4.3. Схема керування електроприводом бурового насоса

Захист двигуна від перевантажень здійснюється за допомогою ввімкнених через понижувальні трансформатори струму ТА1 і ТА2 котушок струмових реле КА1 і КА2, які при перевантаженнях розмикають власні контакти КА1 і КА2 у колі живлення котушки КВ1, що своїми контактами відключає контактори КМ1 та КМ2.

Для захисту схеми від короткого замикання передбачені запобіжники FU1 – FU5, для захисту від зниження напруги – реле КВ3. При значному зниженні напруги котушка реле КВ3 розмагнічується, її контакт КВ3 розмикається, знеструмлюючи котушку реле КВ1, це реле власними контактами знімає живлення з контакторів КМ1 та КМ2, таким чином вимикаючи двигун до відновлення необхідної величини напруги мережі.

4.2. Розрахунок електропривода верстата-качалки

Експлуатація свердловин штанговими свердловинними насосами широко розповсюджена на більшій частині нафтовидобувальних свердловин світу.

Обладнання для експлуатації свердловин за допомогою верстата-качалки включає: глибинний плунжерний насос, систему насосних труб і штанг, на які насос підвішують у свердловині; привідну частину індивідуальної штангової установки балансного типу, котра складається з верстата-качалки та двигуна; устьове обладнання свердловини, призначене для підвішування насосно-компресорних труб і герметизації устя; підвісний механізм для підвішування насосних штанг до головки балансира верстата-качалки (рис. 4.4).

У свердловину на колоні насосно-компресорних труб (НКТ) під рівень рідини спускають циліндр насоса, в нижній частині якого встановлено фільтр 1 та приймальний клапан, що відкривається тільки вгору. Потім на насосних штангах 4 усередину насосно-компресорних труб 3 спускають поршень, котрий називається плунжером, який встановлюють у циліндр плунжерного насоса 2.

Верхній кінець штанг за допомогою підвіски 5 закріплюють на головці переднього плеча балансира 7 верстата-качалки. Для спрямовування рідини із НКТ у нафтопровід та попередження її розтікання на усті свердловини закріплюють трійник та вище нього сальник, через який пропускають сальниковий (полірований) шток.

Свердловинний насос приводиться у дію верстатом-качалкою, в якому обертовий рух, отриманий від двигуна 12, за допомогою редуктора 10, кривошипно-шатунного механізму 8, 9 та балансира 7 з головою 6 перетворюється в зворотно-поступальний рух, який отримує плунжерний насос у свердловині.

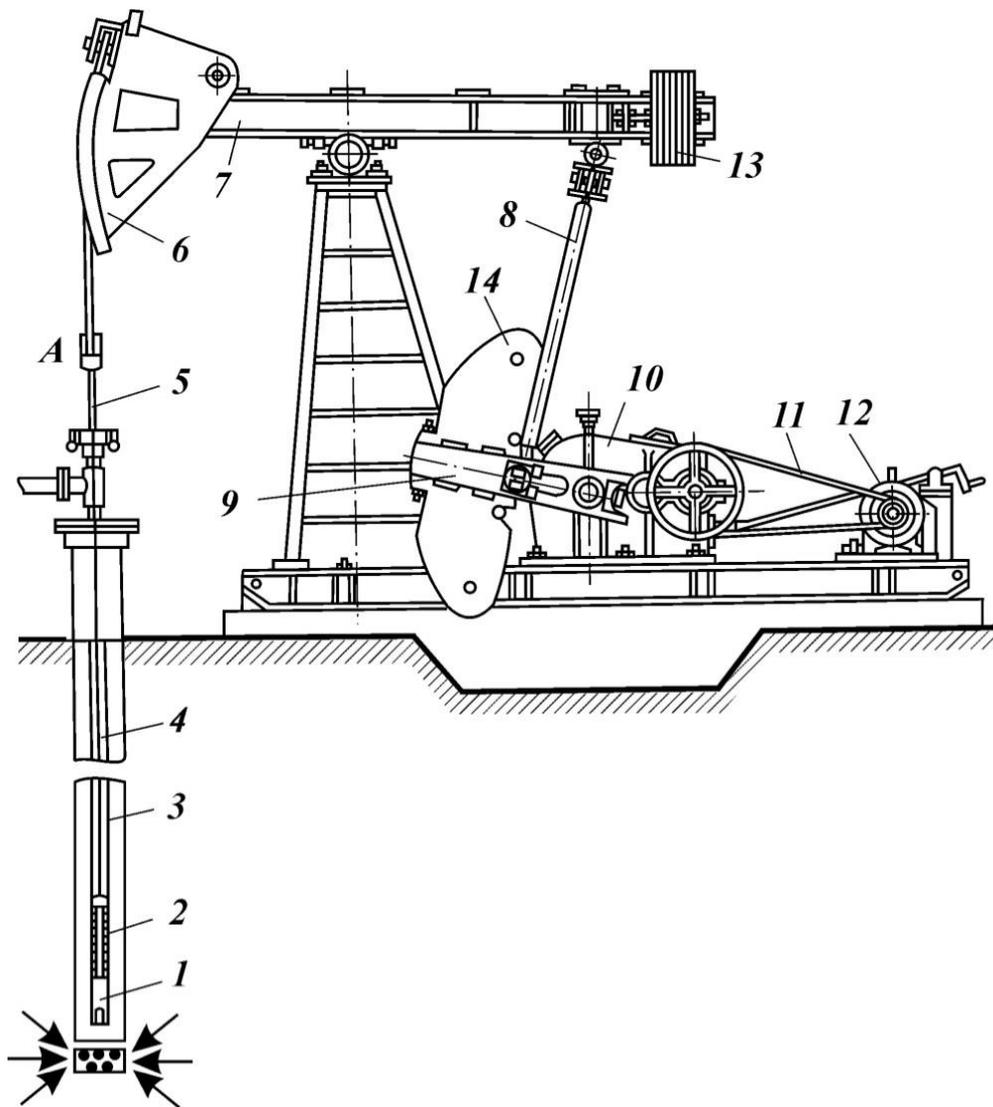


Рис. 4.4. Будова штангової глибинно-насосної установки:
 1 – фільтр; 2 – плунжерний насос; 3 – насосно-компресорні труби;
 4 – насосна штанга; 5 – підвіска з устьовим обладнанням; 6 – головка балансира; 7 – балансир; 8 – шатун; 9 – кривошип; 10 – редуктор;
 11 – клинопасова передача; 12 – електродвигун; 13 – противага балансира; 14 – противага

При ході плунжера вгору під ним падає тиск, усмоктувальний клапан під тиском стовпа рідини в затрубному просторі відкривається, і рідина із свердловини поступає в циліндр насоса. У цей час нагнітальний клапан плунжера закритий під тиском стовпа рідини, що знаходиться над ним. При ході вниз приймальний клапан під тиском стовпа рідини в насосних трубах закривається, а клапан, розташований на плунжері, відкривається, і рідина поступає в насосно-компресорні труби 3. При неперервній роботі плунжера всмоктування та нагнітання чергуються, в результаті чого при кожному ході деяка кількість рідини поступає в насосно-компресорні труби.

Рівень рідини в НКТ поступово збільшується і досягає устя свердловини, рідина починає переливатися у вихідну лінію через трійник із сальниковим пристроєм.

Раніше верстати-качалки виготовлялися за стандартами 1951, 1956 та 1966 рр. У наш час на верстати-качалки типу СК діє стандарт, який передбачає 12 типорозмірів СК. У кодуванні (наприклад, 8-3-4000) указано: 8 – найбільше допустиме навантаження на головку балансира в точці підвісу штанг, помножене на 10, кН; 3 – найбільша довжина ходу устьового штока, м; 4000 – номінальний крутний момент на вихідному валу редуктора, помножений на 10^{-2} , кН·м.

Додатково верстати-качалки характеризують кількістю n коливань балансира (подвійних ходів) за хвилину, яка змінюється від 5 до 15 хв^{-1} .

Найбільш розповсюдженим для привода верстатів-качалок є короткозамкнені асинхронні двигуни з підвищеним пусковим моментом серій 4А, 5А та АІР у закритому виконанні, котрі зовні примусово обдуваються. Таке виконання гарантує надійну роботу двигунів, які встановлюються на відкритому повітрі і піддаються впливу вологи, піску, снігу. Також двигуни мають високий пусковий момент, кратність якого складає 1,7 – 2,3 при кратності пускового струму не більше 7,5.

Двигуни із синхронною частотою обертання 1500 об/хв мають більш високий ККД та $\cos \varphi$ і меншу вагу, ніж двигуни з меншою частотою обертання, тому їм віддають перевагу. За малої кількості коливань верстата-качалки, коли при мінімальному діаметрі змінного шківу двигуна й нормальному редукторі не здійснюється необхідна кількість коливань, часто застосовують двигуни на швидкість 1000 об/хв.

4.2.1. Визначення необхідної потужності електродвигуна балансирного верстата-качалки

Потужність привідного двигуна для усталеного руху визначають за виразом

$$P = K \frac{M_{\text{сер}0} \omega_{\text{кр}}}{\eta_n}, \text{ кВт}, \quad (4.22)$$

де $\omega_{\text{кр}}$ — кутова швидкість кривошипа, рад/с, вона розраховується через задану кількість коливань верстата-качалки, $\omega_{\text{кр}} = n_k / 9,55$;

$M_{\text{сер}0}$ — середній крутний момент, кН·м;

K — заданий коефіцієнт запасу;

η_n — ККД передачі від вала електродвигуна до вала кривошипа.

Після визначення необхідної потужності з додатка Е обирають найближчий більший за потужністю двигун заданої швидкості обертання.

4.2.2. Перевірка електродвигуна за еквівалентним моментом

Для перевірки двигуна будують навантажувальну діаграму – графік залежності моменту на валу двигуна від часу. Діаграма будується за вхідними заданими величинами $M_{\max 0}$ (кН·м) і $M'_{\max 0}$ (кН·м). Зміна навантаження відбувається за синусоїдальним законом.

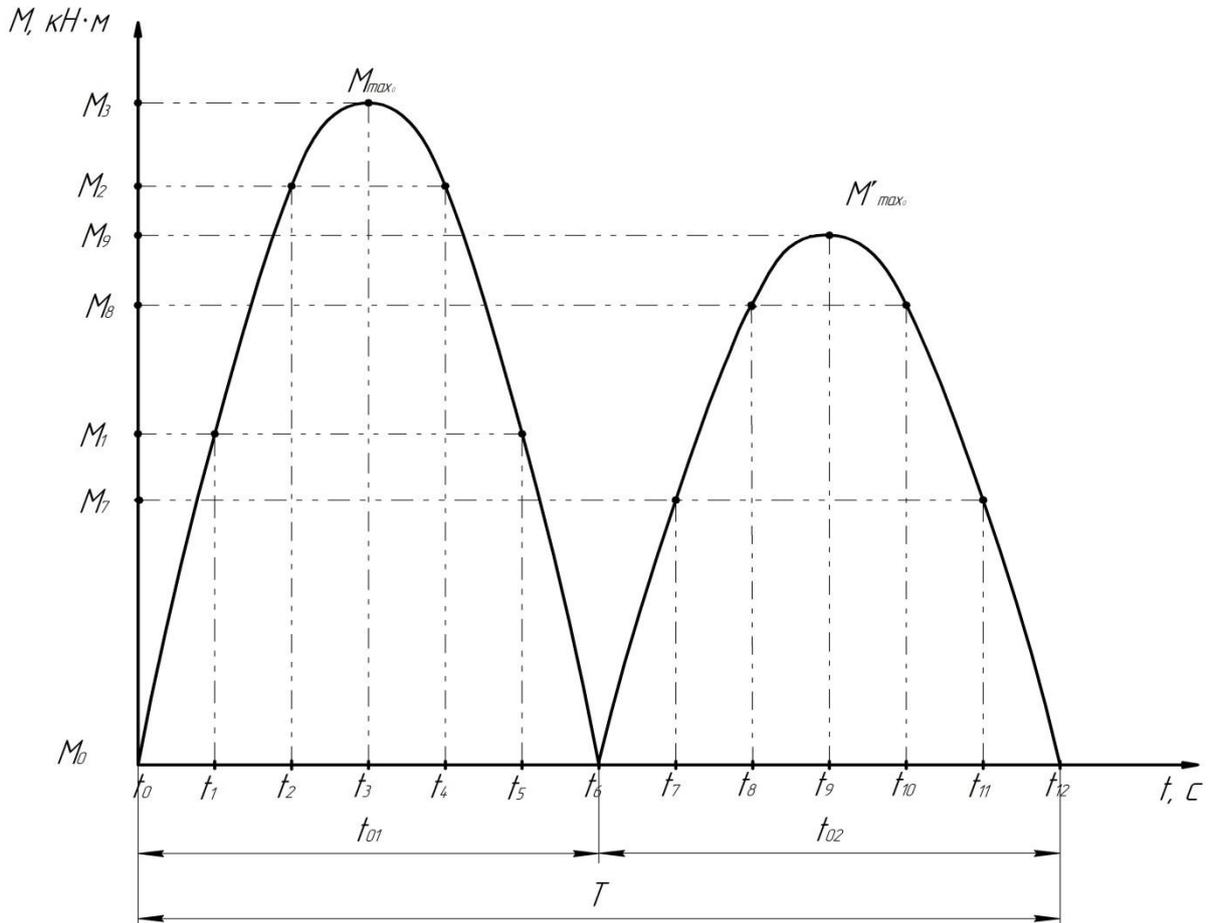


Рис. 4.5. Навантажувальна діаграма електропривода верстата-качалки

Тут $M_{\max 0}$ — максимальний крутний момент на валу редуктора при робочому ході верстата-качалки, кН·м;

$M'_{\max 0}$ — максимальний крутний момент при холостому ході верстата-качалки, кН·м;

T — період роботи верстата-качалки, с,

$$T = \frac{60}{n_k}, \quad (4.23)$$

де n_k — задана кількість коливань верстата-качалки за хвилину;

$t_{01} = t_{02}$ — тривалість робочого та холостого ходу верстата-качалки.

Весь період руху верстата-качалки T розбивається на 12 рівних відрізків часу ($t_0, t_1, t_2, \dots, t_{12}$), кожному з яких відповідають моменти:

$$\begin{aligned}
M_0 &= 0 ; & M_6 &= M_{12} = 0 ; \\
M_1 &= M_5 = M_{\max 0} \cdot \sin 30^\circ ; & M_7 &= M_{11} = M'_{\max 0} \cdot \sin 30^\circ ; \\
M_2 &= M_4 = M_{\max 0} \cdot \sin 60^\circ ; & M_8 &= M_{10} = M'_{\max 0} \cdot \sin 60^\circ ; \\
M_3 &= M_{\max 0} ; & M_9 &= M'_{\max 0} .
\end{aligned} \tag{4.24}$$

Потім на кожному відрізку часу з навантажувальної діаграми знаходять середні крутні моменти $M_{\text{сеп}i}$ (усього 12 моментів):

$$\begin{aligned}
M_{\text{сеп}1} &= \frac{M_1 + M_0}{2}, \\
M_{\text{сеп}2} &= \frac{M_2 + M_1}{2} \quad \text{і т.д.}
\end{aligned} \tag{4.25}$$

Визначають еквівалентний момент

$$M_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{M_{\text{сеп}1}^2 t_1 + M_{\text{сеп}2}^2 t_2 + \dots + M_{\text{сеп}12}^2 t_{12}}{t_1 + t_2 + \dots + t_{12}}} \quad (\text{кН}\cdot\text{м}), \tag{4.26}$$

де t_1, t_2, \dots, t_{12} — інтервали часу, с.

Оскільки обидві частини навантажувальної діаграми мають симетричну форму відносно осі ординат, а $t_1 = t_2 = t_3 = \dots = t_{12}$, то рівняння (4.26) можна спростити:

$$M_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{M_{\text{сеп}1}^2 + M_{\text{сеп}2}^2 + M_{\text{сеп}3}^2 + M_{\text{сеп}7}^2 + M_{\text{сеп}8}^2 + M_{\text{сеп}9}^2}{6}}. \tag{4.27}$$

Далі обчислюють номінальний момент двигуна, що обрано,

$$M_n = 9550 \frac{P_n}{n_n} \quad (\text{Н}\cdot\text{м}), \tag{4.28}$$

де P_n, n_n — номінальні потужність та швидкість обертання електродвигуна, що обрано.

Цей момент необхідно привести до вала редуктора

$$M_{\text{н.пр.}} = M_n U_{\text{заг}} \eta_n, \tag{4.29}$$

де η_n — ККД передачі від вала електродвигуна до вала кривошипа ($\eta_n = 0,90 \div 0,98$), величина береться із завдання;

$U_{\text{заг}} = \frac{n_n}{n_k}$ — загальне передаточне число механізму верстата-качалки.

Тут $n_k = n_{\text{вих}}$ — частота обертів вихідного вала редуктора (об/хв), $n_{\text{вих}} = 9,55 \cdot \omega_{\text{кр}}$. Величина $n_{\text{вих}}$ чисельно дорівнює кількості коливань верстата-качалки за хвилину n_k .

Далі порівнюють величини $M_{н.пр.}$ і $M_{екв.}$ (необхідно попередньо привести ці моменти до однакових одиниць вимірів). Якщо нерівність $M_{н.пр.} > M_{екв.}$ не виконується, то необхідно обрати більш потужний двигун і повторити перевірку.

4.2.3. Перевірка двигуна на можливість запуску

Перевірку двигуна проводять за умови зниження напруги живлення на 10% за тією ж методикою, що і для електродвигуна бурового насоса.

Визначають номінальний приведений пусковий момент

$$M_{п.пр.} = K_2 M_{н.пр.}, \quad (4.30)$$

де K_2 – коефіцієнт кратності пускового й номінального моментів двигуна, що обрано, $K_2 = \frac{M_{пуск}}{M_{ном}}$.

Під час пуску верстата-качалки двигун повинен розвинути момент, який забезпечує подолання статичного моменту опору, а також деякий надлишковий момент, необхідний для розгону системи до встановленої швидкості. Протікання пускового процесу залежить також від початкового положення кривошипа верстата і від того, як змінюється навантаження безпосередньо після початку пуску. Якщо вважати, що статичний момент опору верстата-качалки при його пуску $M_{ст.л.}$ рівний максимальному статичному моменту опору $M_{макс.о.}$, то пуск може бути забезпечений, якщо виконується умова

$$0,81M_{п.пр.} \geq M_{макс.о.} . \quad (4.31)$$

Якщо умова не виконується, обирають більш потужний двигун і перевірку повторюють.

4.2.4. Побудова механічної характеристики електродвигуна

Механічною характеристикою електродвигуна називають графік залежності частоти обертання від моменту на його валу.

Механічна характеристика асинхронного двигуна описується виразом

$$M = \frac{2M_{\max}}{\frac{S^K}{S} + \frac{S}{S^K}}, \quad (4.32)$$

де S^K – критичне ковзання, яке обчислюється за формулою

$$S^K = S_H \left(\frac{M_{\max}}{M_{ном}} + \sqrt{\frac{M_{\max}^2}{M_{ном}^2} - 1} \right). \quad (4.33)$$

Тут номінальне ковзання

$$S_H = \frac{n_0 - n_n}{n_0}; \quad (4.34)$$

максимальний момент двигуна

$$M_{\max} = K_1 M_n, \quad (4.35)$$

де K_1 – коефіцієнт кратності максимального й номінального моментів двигуна, що обрано, $K_1 = \frac{M_{\max}}{M_{ном}}$.

Для побудови механічної характеристики задають значення S від 0 до 1, та, використовуючи формули (4.32) – (4.35), отримують відповідні значення M . Тут $n = n_0(1 - S)$.

Для спрощення побудови складають таблицю:

S	0	0,02	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
n , (об /хв)													
M , (Н·м)													

Графік механічної характеристики будується в осях $M = f(n)$ (рис. 4.6):

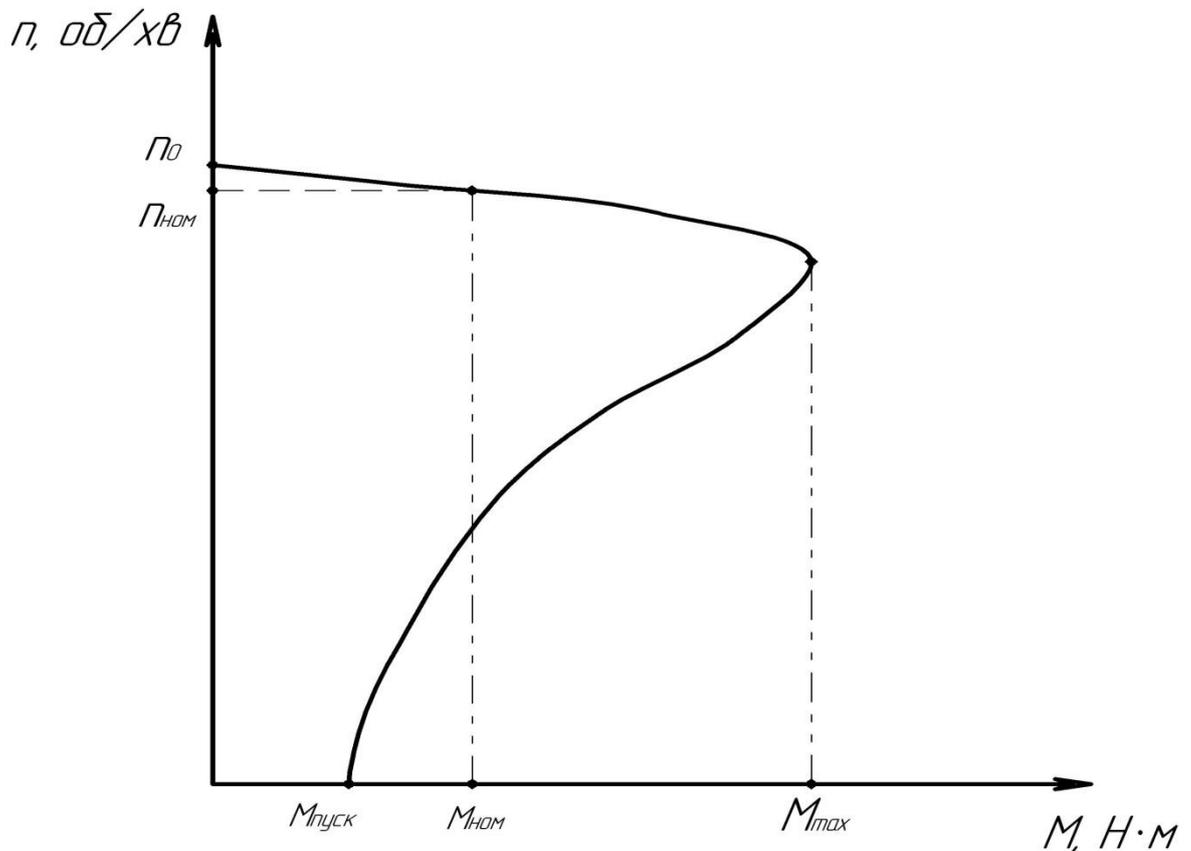


Рис. 4.6. Побудова механічної характеристики

На характеристиці необхідно відмітити характерні точки : M_{\max} , M_n , n_n , n_0 .

4.2.5. Розроблення електричної схеми електропривода верстата-качалки

Для застосування в умовах індивідуального самозапуску випускаються спеціальні блоки керування електроприводами верстатів-качалок. Ці блоки також використовуються при груповому самозапуску і за відсутності самозапуску взагалі. Різні модифікації блоків розраховані на різні потужності електродвигунів.

До складу блока керування (рис. 4.7) входять автоматичний вимикач QF1, триполюсний контактор КМ, теплові біметалеві реле КК1 і КК2, реле часу КТ й універсальний перемикач SM, які змонтовані в металевій водонепроникній шухляді. Зовні шухляди містяться ручка перемикача SM і штепсельний роз'єм ШР, призначений для приєднання електрифікованого трубного ключа.

Перемикач SM має одне положення ручки (SM1) із самоповерненням після відпускання й інше – фіксоване положення (без повернення) – SM2. Для ручного пуску двигуна після ввімкнення автоматичного вимикача QF живлення подається на реле обриву фаз KV3, що своїм контактом підключає до живлення котушку проміжного реле KV1, контакт KV1 замикається.

Ручку перемикача SM переводять у положення «Пуск» (вправо), що призводить до замикання контактів SM1 і SM2. Котушка контактора КМ збуджується, його головні контакти КМ підключають двигун до мережі, а блок-контакт КМ шунтує контакт SM1, що розмикається при відпусканні ручки перемикача SM, повертаючись у нульове положення. Контакт SM2 лишається замкнутим.

У випадку зникнення напруги двигун відключається від мережі, тому що припиняється живлення котушки контактора КМ.

Наступне відновлення напруги призводить до збудження котушки реле часу КТ; через установлений час замикається контакт КТ й отримує живлення котушка КМ, яка самоблокується замикаючим контактом КМ. Двигун верстата-качалки підключається до мережі, здійснюється його самозапуск. Котушка реле КТ знеструмлюється контактом КМ, що розмикається. Витримку часу на надійне відновлення напруги встановлюють від 7 до 20 секунд.

Для відключення двигуна без наступного самозапуску ручку перемикача SM переводять короткочасно в положення «Стоп» (вліво), що призводить до знеструмлення котушки КМ. Контакти SM1 та SM2, котрі розімкнулися при цьому, залишаються розімкнутими при відпусканні ручки перемикача й її самоповерненні з положення «Стоп» у нульове положення.

Для дистанційного керування ручку SM ненадовго переводять у положення «Стоп» і відпускають. Після цього включення котушки КМ і пуск двигуна здійснюються натисканням кнопки SA1, а зупинку двигуна –

натисканням кнопки SA2, що встановлені на пункті керування. Для сигналізації на пункті керування про відключення двигуна служить додатковий нормально замкнений контакт КМ, котрий вмикає сигнальну лампу (на схемі не показана) у випадку зупинки верстата-качалки.

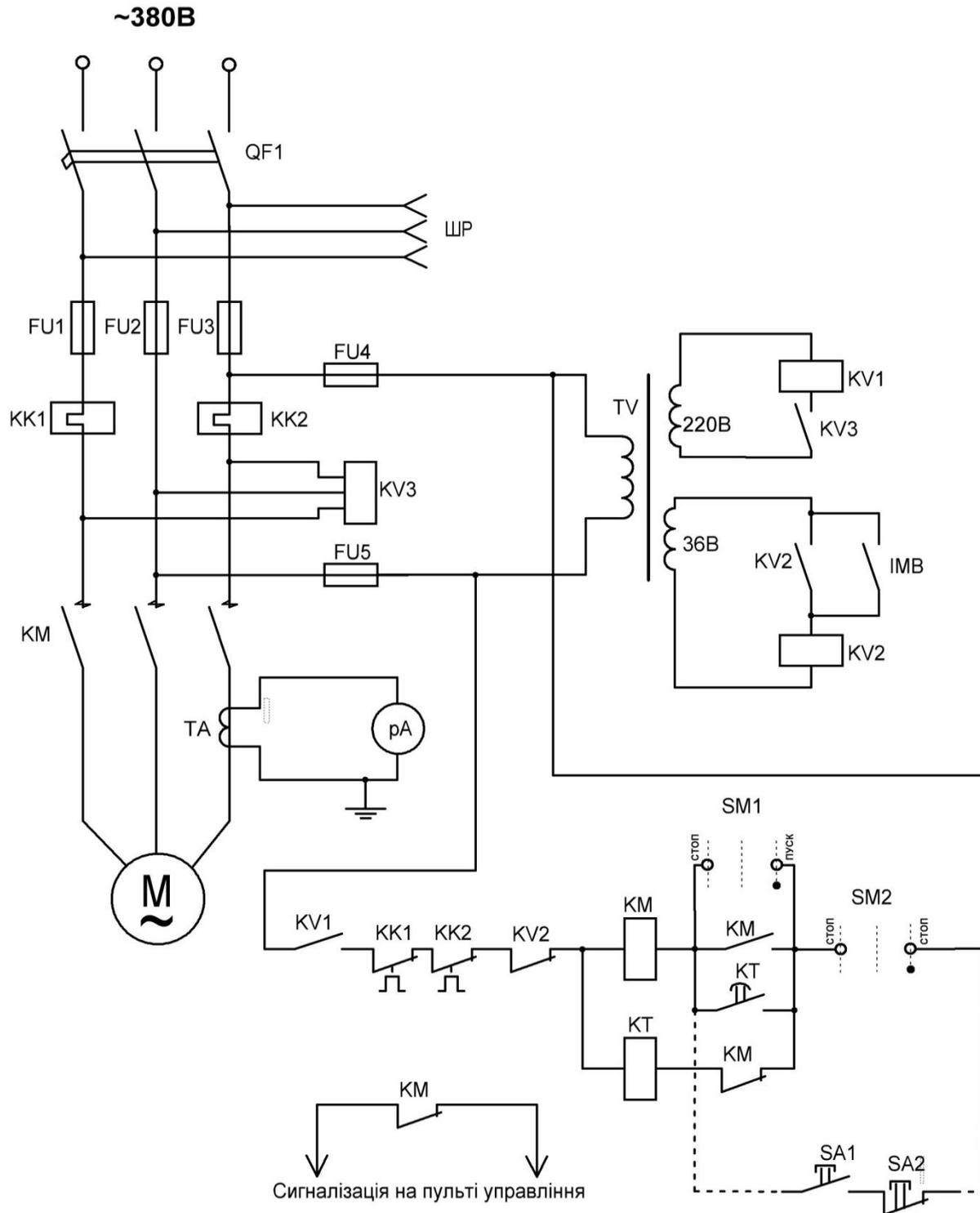


Рис. 4.7. Схема керування електроприводом верстата-качалки

У схемі передбачені захисти:

- від короткого замикання за допомогою запобіжників FU1 – FU5;
- від теплових перевантажень за допомогою теплових реле КК1 – КК2;
- від короткочасного зникнення напруги – самозапуск двигуна;
- від обриву штанг, штока, поломки редуктора, заклинювання плунжера за допомогою інерційного магнітного вимикача ІМВ, що встановлений на балансірі верстата-качалки, який спрацьовує від механічного удару при виникненні аварійної ситуації. Вимикач ІМВ замикає свій контакт, що призводить до спрацьовування проміжного реле КV2, розмикання його контакту і знеструмлення контактора КМ;
- від обриву фаз за допомогою реле КV3, що знеструмлює у випадку аварії котушку проміжного реле КV1 і відповідно котушку контактора КМ.

У тому випадку, коли застосовують груповий чи самозапуск, блоки керування при індивідуальному самозапуску встановлюють у групі двигунів, які запускаються після відновлення напруги без витримки часу, реле часу КТ не монтують, а контакти SM1 і замикаючий блок-контакт КМ шунтують перемичками.

4.2.6. Вибір елементів схеми

1. Вибір автоматичних вимикачів.

Захисні автомати характеризуються номінальною напругою і номінальним струмом.

Номінальна напруга автомата $U_{a.ном}$ відповідає найбільшій номінальній напрузі мережі, в якій допускається застосовувати цей автомат.

Номінальний струм автомата $I_{a.ном}$ – найбільший струм, протікання якого через автомат допустиме протягом необмежено тривалого часу.

Автоматичний вимикач, що використовується для захисту асинхронного двигуна, вибирається з додатка Ж за номінальною напругою і номінальним струмом так, щоб виконувалися умови:

$$\begin{aligned} U_{a.ном} &= U_{м.ном} ; \\ I_{a.ном} &\geq I_{дв.ном} , \end{aligned} \quad (4.36)$$

де $U_{м.ном}$ – номінальна напруга мережі, В;

$I_{дв.ном}$ – номінальний струм двигуна, А.

Номінальний струм двигуна верстата-качалки розраховують за формулою

$$I_{дв.ном} = \frac{P_H \cdot 1000}{\sqrt{3} U_H \eta_H \cos \varphi_H} , \quad (4.37)$$

де $P_H, U_H, \eta_H, \cos \varphi_H$ – номінальна потужність, напруга, ККД та $\cos \varphi$ обраного двигуна, величина η_H береться у частках.

2. Вибір запобіжників.

Головним елементом запобіжника є плавка вставка. Для силової мережі вибір плавкої вставки визначається пусковим струмом двигуна, тобто вона не повинна розплавитися під час його запуску.

Для асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором розрахунковий струм плавкої вставки дорівнює

$$I_{\text{вст.роз.}} \geq \frac{I_{\text{пуск}}}{2,5}, \quad (4.38)$$

де $I_{\text{пуск}} = (5 \dots 7,5)I_{\text{ном}}$ (співвідношення пускового та номінального струмів для кожного типу двигуна задається у каталозі).

Запобіжники вибирають із додатка И за номінальною напругою і номінальним струмом плавкої вставки так, щоб виконувалися умови:

$$\begin{aligned} U_{\text{вст.ном}} &= U_{\text{м.ном}}, \\ I_{\text{вст.ном.}} &\geq I_{\text{вст.роз.}}. \end{aligned} \quad (4.39)$$

Для групи електроприймачів без пускових струмів (освітлювальна мережа, ланцюг керування) і великої групи приймачів, де пусковий струм одного приймача підвищує сумарний струм усіх приймачів незначно, вибір плавкої вставки запобіжника здійснюється за розрахованим номінальним сумарним струмом усіх приймачів.

3. Вибір теплових реле.

Теплові реле застосовують для двигунів тривалого режиму роботи, щоб захистити їх від перегріву до небезпечних температур при довгочасних перевантаженнях.

Для великих двигунів, коли нагрівачі не можуть бути встановлені безпосередньо в коло статора, їх вмикають через трансформатори струму.

Теплові реле вибирають із додатка К за номінальною напругою $U_{\text{РТ.ном}}$ та номінальним струмом теплового розчеплювача з умов:

$$\begin{aligned} U_{\text{РТ.ном}} &= U_{\text{м.ном}}, \\ I_{\text{РТном}} &\geq I_{\text{дв.ном}}, \end{aligned} \quad (4.40)$$

де $I_{\text{РТном}}$ – номінальний струм теплового розчеплювача.

4. Вибір трансформаторів.

Трансформатори напруги призначені для зміни величини напруги змінного струму.

Їх вибирають з додатка Л за потрібними первинною $U_{1\text{ном}}$ та вторинною $U_{2\text{ном}}$ напругами на мінімальну потужність $S_{\text{ном}}$, що споживається низьковольтною частиною, за умов:

$$\begin{aligned} U_{\text{ТВ1.ном}} &= U_{1\text{ном}}, \\ U_{\text{ТВ2.ном}} &= U_{2\text{ном}}, \end{aligned} \quad (4.41)$$

5. Вибір контакторів.

Контактори вибирають із додатка М за номінальним струмом $I_{Кном}$ та номінальною напругою $U_{К.ном}$ силового кола за умов:

$$\begin{aligned} U_{К.ном} &= U_{м.ном} , \\ I_{Кном} &\geq I_{дв.ном} . \end{aligned} \quad (4.42)$$

При виборі також необхідно враховувати кількість полюсів силового ланцюга.

6. Вибір проміжних реле та реле часу.

Проміжні реле вибирають із додатка Н за видом та величиною напруги ланцюга керування, за видом та величиною напруги котушки, що вмикає контакти, за кількістю та видом контактів.

Реле обриву фаз вибирають із додатка П за номінальною напругою силового ланцюга.

Реле часу вибирають із додатка П за номінальною напругою та діапазоном часових уставок, на які необхідно налаштувати реле.

7. Вибір універсальних перемикачів та кнопок керування.

Універсальні перемикачі й кнопки керування обирають з додатка Р за номінальним струмом (10А) і номінальною напругою, кількістю контактів та ступенем захисту.

4.3. Розрахунок системи електропостачання бурової установки

4.3.1. Побудова системи електропостачання

Бурова установка (рис. 4.8) живиться від ЛЕП з напругою 35 кВ через головну понижувальну підстанцію (ГПП) із розподільним пристроєм (РП 01), об'єднаним із понижувальним трансформатором (ТВ1). Система електропостачання бурової установки розділена на три ділянки, живлення яких здійснюється від власних розподільних пристроїв (РП1, РП2, РП3).

До РП1 з напругою 6 кВ через загальний запобіжник FU 01 підключені електродвигуни двох однакових бурових насосів Д1 та Д2 з номінальними потужностями Р1 та Р2, коефіцієнтами корисної дії (ККД) відповідно η_1 та η_2 , коефіцієнтами потужностей $\cos \varphi_1$ та $\cos \varphi_2$ та коефіцієнтами опитування К01 та К02. Крім того, до РП1 підключені електродвигуни ротора та бурової лебідки Д3 й Д4 з номінальними потужностями Р3 та Р4, ККД відповідно η_3 та η_4 , коефіцієнтами потужностей $\cos \varphi_3$ й $\cos \varphi_4$ та коефіцієнтами опитування К03 і К04. Електричне коло виконано трижильовим кабелем з мідними жилами, прокладеним у трубі, довжини кабелю – L1 – L4. Розподільний пристрій РП1 підключений до РП01 трьома одножильовими кабелями з мідними жилами, прокладеними в трубі довжиною L01.

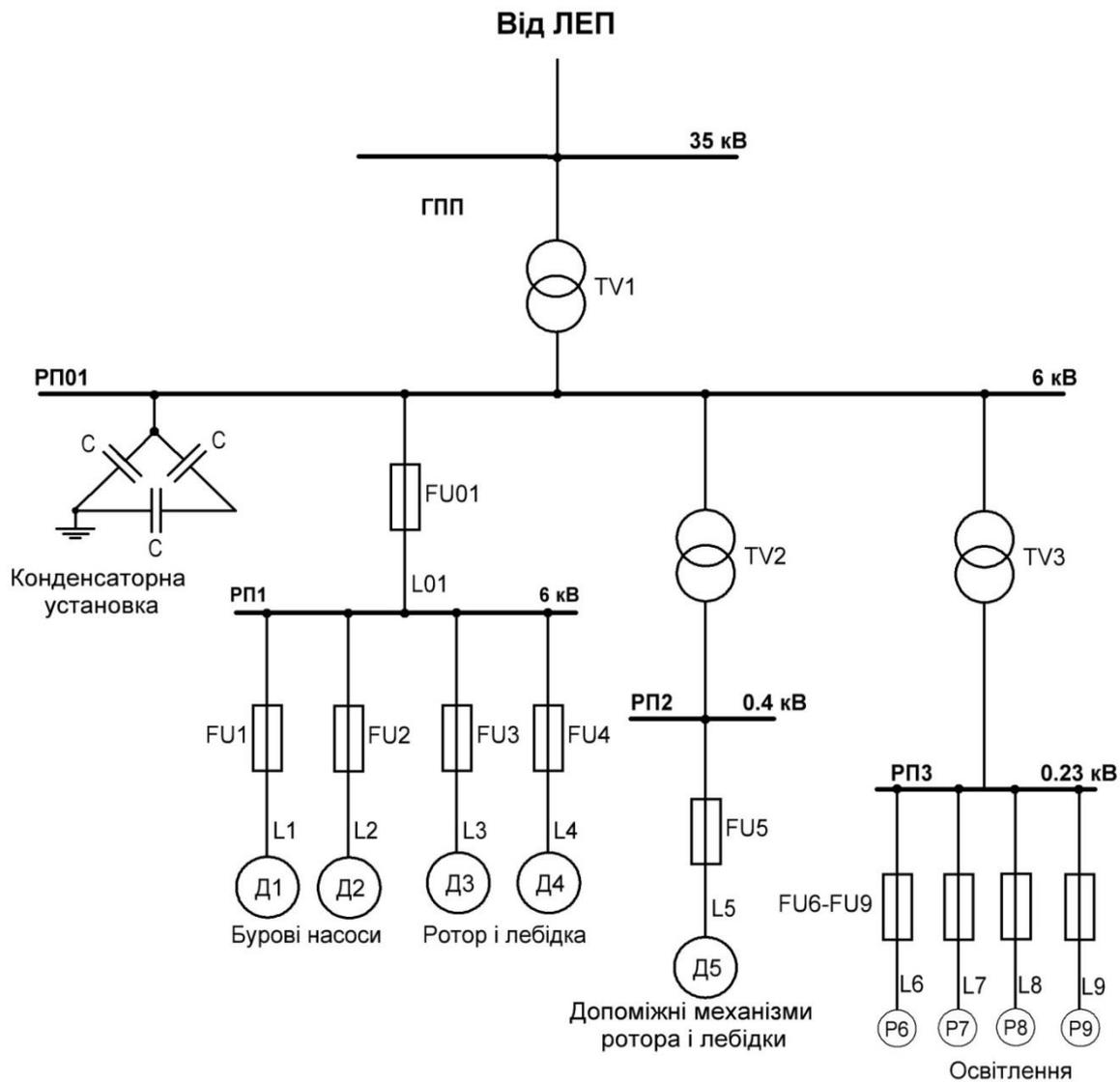


Рис. 4.8. Система електропостачання бурової установки

До РП2 через понижувальний трансформатор TV2 з вторинною напругою 380 В підключені допоміжні механізми ротора й лебідки (приводи насосів змащування, привід подачі ротора, інструмента тощо) загальною потужністю P_5 , ККД η_5 , коефіцієнтом потужності $\cos \varphi_5$ та коефіцієнтом опитування K_{05} . Електричне коло виконано трижильовим кабелем з алюмінієвими жилами, прокладеним у трубі, загальна довжина кабелю – L5.

До РП3 через понижувальний трансформатор TV3 з вторинною напругою 220 В підключена освітлювальна мережа, яка розділена на 4 електричні кола: освітлення бурової вишки, освітлення насосного блоку, освітлення бурового майданчика та освітлення ділянки глиноприготування. Електричні кола системи освітлення мають рівні між собою навантаження $P_6 - P_9$, однакові ККД $\eta_6 - \eta_9$, коефіцієнти

потужності $\cos \varphi_6 - \cos \varphi_9$ та коефіцієнти опитування $K_{06} - K_{09}$. Освітлювальна мережа виконана двожиловим кабелем з алюмінієвими жилами, прокладеним у повітрі (відкрито), загальні довжини кабелю – $L_6 - L_9$. Аварійна сигналізація живиться окремо від автономного джерела живлення.

Для компенсації реактивної потужності до розподільного пристрою РПО1 підключена компенсаційна батарея конденсаторів. Усі приймачі захищені плавкими запобіжниками.

У розрахунку системи електропостачання бурової установки необхідно провести обчислення та вибір:

- трансформаторів;
- конденсаторної установки, виходячи з умови, щоб загальний коефіцієнт потужності був не менше 0,9;
- площі перерізу всіх кабелів;
- запобіжників.

4.3.2. Визначення потрібної потужності, вибір конденсаторної батареї і трансформаторів

Потрібну потужність визначають за методом коефіцієнта опитування. Коефіцієнт опитування (K_0) – це відношення споживаної активної потужності до номінальної (встановленої).

Спочатку обчислюють розрахункову активну потужність бурової установки, кВт,

$$P_{\text{бв}} = \sum_{i=1}^n K_{0i} \cdot P_i, \quad (4.43)$$

де P_i – номінальна потужність електроприймача n -ої групи; K_{0i} – коефіцієнт опитування електроприймача n -ої групи.

Для такої системи електропостачання, враховуючи, що маємо 2 однакові бурові насоси та 4 однакові за навантаженням лінії освітлення, це рівняння можна розписати як

$$P_{\text{бв}} = 2K_{01} \cdot P_1 + K_{03} \cdot P_3 + K_{04} \cdot P_4 + K_{05} \cdot P_5 + 4K_{06} \cdot P_6.$$

Далі розраховують реактивну потужність, квар,

$$Q_{\text{бв}} = \sum_{i=1}^n K_{0i} \cdot P_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i, \quad (4.44)$$

де $\operatorname{tg} \varphi_i$ – значення, що відповідають коефіцієнту потужності електроприймача n -ої групи. Кут φ визначається через $\arccos \varphi_i$:

$$Q_{\text{бв}} = 2K_{01} \cdot P_1 \cdot \operatorname{tg} \varphi_1 + K_{03} \cdot P_3 \cdot \operatorname{tg} \varphi_3 + K_{04} \cdot P_4 \cdot \operatorname{tg} \varphi_4 + K_{05} \cdot P_5 \cdot \operatorname{tg} \varphi_5 + 4K_{06} \cdot P_6 \cdot \operatorname{tg} \varphi_6.$$

Для розрахунку потужності трансформаторів необхідно визначити сумарну активну й реактивну потужності всіх споживачів бурової установки, а потім споживачів, які підключені до РП2 та РП3 окремо.

Далі обчислюють $tg\varphi_{\delta y}$ бурової установки без урахування батареї конденсаторів, що компенсує,

$$tg\varphi_{\delta y} = \frac{Q_{\delta y}}{P_{\delta y}}. \quad (4.45)$$

З умови завдання необхідно компенсувати коефіцієнт потужності до заданої величини $\cos\varphi_{зад} = 0,9$. Для цього порівнюють величину $\cos(\arctg\varphi_{\delta y})$ з величиною 0,9.

Потім визначають величину $tg\varphi_{зад}$, за якої $\cos\varphi_{зад} = 0,9$.

$$tg\varphi_{зад} = tg[\arccos(0,9)] = 0,484. \quad (4.46)$$

Розрахункова реактивна потужність компенсаційної конденсаторної установки

$$Q_{ркб} = P_{\delta y} (tg\varphi_{\delta y} - tg\varphi_{зад}), \quad (4.47)$$

де $tg\varphi_{зад}$ – тангенс кута фазового зсуву між струмом і напругою, що допускається за умови експлуатації.

Потрібну конденсаторну батарею вибирають із додатка С за реактивною потужністю (вибирають рівну або більшу за розрахункову) –

$$Q_{кб} \geq Q_{ркб}.$$

Якщо отриманий за розрахунком коефіцієнт потужності перевищує задану величину 0,9, то компенсаційна батарея не потрібна.

Далі обчислюють повну розрахункову потужність бурової установки $S_{\delta y}$

$$S_{\delta y, роз} = \sqrt{P_{\delta y}^2 + (Q_{\delta y} - Q_{кб})^2}, \quad \text{кВА}. \quad (4.48)$$

Аналогічно визначаються повні потужності груп споживачів, що підключені до РП2 і РП3:

$$S_{2, роз} = \sqrt{(P_5 \cdot K_{05})^2 + (P_5 \cdot K_{05} \cdot tg\varphi_5)^2}, \quad (4.49)$$

$$S_{3, роз} = 4\sqrt{(P_6 \cdot K_{06})^2 + (P_6 \cdot K_{06} \cdot tg\varphi_6)^2}.$$

За знайденими повними розрахунковими потужностями з додатка Т вибирають типи і стандартні потужності силових трансформаторів на відповідні первинні та вторинні напруги за умови

$$S_{TV} \geq S_{роз}.$$

Перевіряють коефіцієнти завантаження трансформаторів

$$K_з = S_{роз} / S_{TV}. \quad (4.50)$$

Якщо $K \leq 0,75$, то доцільно встановити два паралельно працюючі трансформатори меншої потужності (типи й потужності трансформаторів повинні бути однаковими).

Одночасне встановлення двох паралельно працюючих трансформаторів підвищує надійність енергосистеми, тому що при виході з ладу одного з них інший може з припустимим 40-відсотковим перевантаженням забезпечити електропостачання більшої частини бурової установки.

4.3.3. Визначення площі перерізу жил кабелів

Спочатку визначають розрахунковий номінальний лінійний струм кожного споживача

$$I_{ni} = \frac{P_i \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot U_{ni} \cos \varphi_i \cdot \eta_i}, \quad (4.51)$$

де $P_i, U_{ni}, \cos \varphi_i, \eta_i$ – потужність, напруга, коефіцієнт потужності та ККД і-го споживача.

За знайденим струмом відповідно до заданого типу кабелю з додатка У вибирають необхідні площі перерізу жил кабелів довжиною L1 – L9 (допустимий струм обраного кабелю повинен дорівнювати або бути більшим за розрахунковий).

Для групи електроприймачів, що підключені до РП1, вибір кабелю здійснюють за сумарним струмом споживачів. Для такої схеми

$$I_{01} = 2I_1 + I_3 + I_4. \quad (4.52)$$

4.3.4. Перевірка обраних кабелів за падінням напруги

Згідно з вимогами ПУЕ припустимі втрати напруги у кабельних лініях із напругою 6 – 35 кВ приймають рівними 6%, а у кабельних лініях 220 – 380В – 5%.

Перевірку проводять тільки за активним опором, роблячи припущення, що індуктивний опір дроту дуже малий порівняно з активним (звичайно значення індуктивного опору становить менше 0,35 Ом/км). Падіння напруги визначають таким чином:

$$\Delta U \%_i = \frac{P_{ni} \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot U_{ni}^2} \cdot \frac{L_i}{\gamma_i \cdot S_i} \cdot 100\%, \quad (4.53)$$

де P_{ni}, L_i, U_{ni}, S_i – номінальні потужності (кВт), довжина кабелю (м), напруга (В) та площа перерізу дроту (мм^2) і-го приймача;

γ – питома провідність дроту $\left(\frac{\text{м}}{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2} \right)$;

для алюмінію $\gamma_{ал} = 34,5 \frac{\text{м}}{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}$; для міді $\gamma_{м} = 57 \frac{\text{м}}{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}$.

Якщо отримане значення ΔU для дротів довжиною L01, L1 – L4 буде $> 6\%$, а для дротів довжиною L5 – L9 $> 5\%$, варто вибрати більші площі перерізу провідників та повторити перевірку.

4.3.5. Вибір плавких вставок запобіжників

Для асинхронних двигунів із короткозамкненим ротором вибір плавких вставок здійснюється за пусковим струмом

$$I_{\text{пуск}} = (5 \dots 7,5) I_n . \quad (4.54)$$

Струм плавкої вставки визначається за умови

$$I_{\text{вст.роз.}} \geq \frac{I_{\text{пуск}}}{2,5} . \quad (4.55)$$

За розрахованими значеннями струму та відповідною напругою живлення з додатків Ф та И обирають найближче більше стандартне значення струму плавкої вставки запобіжника.

Вибір плавкої вставки запобіжника для групи електроприймачів (FU01) здійснюють за сумарним струмом, що складається з найбільшого струму, який буде проходити в провіднику в момент пуску АД з найбільшою потужністю (буровий насос), та номінальних струмів інших споживачів:

$$I_{\text{пуск01}} = (5 \dots 7) I_{n1} + I_{n2} + I_{n3} + I_{n4} , \quad (4.56)$$

$$I_{\text{вст.роз01}} \geq \frac{I_{\text{пуск01}}}{2,5} . \quad (4.57)$$

При цьому струм вставки має бути $I_{\text{вст}} \geq I_{\text{вст.роз}}$.

Для групи електроприймачів без пускових струмів (освітлювальна мережа) вибір плавкої вставки запобіжника здійснюється за номінальною напругою та номінальним сумарним струмом усіх приймачів. У такій системі

$$I_{\text{вст6}} \geq I_{n6} . \quad (4.58)$$

4.3.6. Перевірка захисту дротів електричних ліній від струмів короткого замикання

Правильність вибору сили струму плавкої вставки запобіжника, що служить для захисту мережі від струмів короткого замикання, при якому може опалитися ізоляція, перевіряють із співвідношення

$$\frac{I_{\text{вст}}}{I_{\text{др.ст}}} \leq 3 , \quad (4.59)$$

де $I_{\text{вст}}$, $I_{\text{др.ст}}$ – значення струмів обраних стандартних запобіжників та дротів.

У випадку, якщо нерівність не витримана, потрібно збільшити площу перерізу провідника, зберігаючи незмінним струм плавкої вставки.

Додаток А

Вихідні дані до розроблення електропривода бурового насоса

Для всіх варіантів: напруга живлення – 6000 В; частота мережі – 50 Гц.

Позначення:

$Q_{\text{ср}}$ – середня продуктивність насоса;

H – найбільший тиск на виході насоса;

n_0 – синхронна швидкість двигуна;

K – коефіцієнт, що враховує можливість перевантаження;

η_0 – об'ємний ККД бурового насоса;

η_r – гідравлічний ККД бурового насоса;

η_m – механічний ККД бурового насоса;

$\eta_{\text{п}}$ – ККД передачі між двигуном та насосом;

α – коефіцієнт зниження струму.

Параметр, одиниця вимірювань	Передостання цифра № залікової книжки									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$Q_{\text{ср}}$, л/с	14	14	10	13	12	16	11	12	10	10
H , Мпа	35	24	30	35	24	24	30	40	35	25
n_0 , об/хв	1500	1500	1000	1500	750	1000	750	1500	1000	750
Клас ізоляції	Е	Е	В	F	F	F	В	В	F	F
K	1,02	1,02	1,03	1,03	1,04	1,04	1,03	1,03	1,05	1,05

Параметр, одиниця вимірювань	Остання цифра № залікової книжки									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
η_0	0,95	0,96	0,96	0,96	0,97	0,95	0,95	0,96	0,96	0,95
η_r	0,97	0,97	0,97	0,98	0,98	0,98	0,97	0,97	0,98	0,98
η_m	0,90	0,90	0,90	0,88	0,88	0,95	0,92	0,92	0,88	0,88
$\eta_{\text{п}}$	0,92	0,92	0,94	0,94	0,90	0,90	0,95	0,95	0,92	0,90
α	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,7	0,7	0,55	0,55	0,65

Додаток Б

Вихідні дані до розроблення електропривода верстата-качалки

Для всіх варіантів: напруга живлення – 380 В;

частота мережі живлення – 50 Гц.

Позначення:

$M_{\max 0}$ – максимальний крутний момент при робочому ході верстата-качалки;

$M'_{\max 0}$ – максимальний крутний момент при холостому ході верстата-качалки;

$M_{\text{сер}0}$ – середній крутний момент за період роботи верстата-качалки;

n_k – кількість коливань верстата-качалки за хвилину;

n_0 – синхронна швидкість двигуна;

$\eta_{\text{п}}$ – ККД передачі;

K – коефіцієнт, що враховує можливість перевантаження.

Параметр, одиниця вимірюв.	Передостання цифра № залікової книжки									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Тип верстата- качалки	СКД 6-2,5- 2800	СКД 6-2,5- 2800	СКД 3-1,5- 710	СКД 3-1,5- 710	СКД 8-3- 4000	СКД 8-3- 4000	СКД 8-3- 4000	СКД 12-3- 5600	СКД 12-3- 5600	СКД 12-3- 5600
$M_{\max 0}$, кН·м	20	28	3	7,1	11,6	18,8	30,1	9,3	14,2	56
$M'_{\max 0}$, кН·м	16	22,4	2,4	5,68	9,28	15,0	24,1	7,44	11,6	44,8
$M_{\text{сер}0}$, кН·м	8,8	12,32	1,32	3,12	5,1	8,27	13,2	4,09	6,25	24,6
n_k	14	14	15	15	12	12	12	12	12	12

Параметр, одиниця вимірюв.	Остання цифра № залікової книжки									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
n_0 , об/хв	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500
$\eta_{\text{п}}$	0,9	0,91	0,9	0,92	0,92	0,92	0,9	0,9	0,91	0,92
K	1,25	1,3	1,3	1,35	1,35	1,25	1,3	1,35	1,35	1,3

Додаток В

Вихідні дані до розроблення системи електропостачання бурової установки

Параметри електродвигунів бурових насосів, ротора та лебідки

Параметр	Передостання цифра № залікової книжки									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P1,кВт	630	800	1000	500	400	630	800	1000	400	500
$\eta_1, \%$	94,7	95	94,2	95,2	95	95,3	95,5	96	93,6	94,4
$\cos\varphi_1$	0,85	0,86	0,85	0,79	0,78	0,84	0,85	0,87	0,83	0,86
K₀₁	0,8	0,82	0,84	0,86	0,88	0,8	0,82	0,84	0,86	0,88
L1, м	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105
L01, м	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105
P3,кВт	75	90	110	132	160	75	90	110	132	160
$\eta_3, \%$	92,5	92	93	93	93,5	92,5	92	93	93	93,5
$\cos\varphi_3$	0,85	0,87	0,86	0,88	0,89	0,85	0,87	0,86	0,88	0,89
K₀₃	0,65	0,66	0,67	0,68	0,69	0,70	0,71	0,72	0,73	0,74
L3, м	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110
P4,кВт	200	200	250	250	200	200	250	315	315	315
$\eta_4, \%$	92,5	93	93,5	92,5	92,2	92	92,5	93,6	93,3	93,8
$\cos\varphi_4$	0,85	0,77	0,83	0,75	0,75	0,77	0,78	0,85	0,82	0,80
K₀₄	0,34	0,36	0,38	0,40	0,26	0,28	0,30	0,32	0,24	0,25
L4, м	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110

Параметри електродвигунів допоміжних механізмів та мережі освітлення

Параметр	Остання цифра № залікової книжки									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P5,кВт	45	46	47	48	49	50	49	48	47	46
$\eta_5, \%$	90	91	91,5	92	92,5	93	93,5	94	94,5	95
$\cos\varphi_5$	0,83	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89	0,90	0,91	0,92
K₀₅	0,4	0,35	0,36	0,37	0,38	0,39	0,41	0,42	0,43	0,44
L5, м	65	60	70	75	80	85	90	95	100	105
P6,кВт	4,5	4,4	4,6	4,7	4,8	4,9	5,0	4,3	4,2	4,1
$\eta_6, \%$	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
$\cos\varphi_6$	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
K₀₆	0,9	0,85	0,94	0,92	0,95	0,88	0,91	0,86	0,89	0,87
L6, м	80	70	60	50	55	65	75	45	85	90

Додаток Г

Технічні дані асинхронних двигунів типу А4

Напруга живлення – 6000 В, частота – 50 Гц

Тип двигуна	Потужність, кВт	Частота обертання п. об/хв	Ковзання S, %	ККД, %	Cos φ	Струм статора, А	$\frac{M_{\text{макс}}}{M_{\text{ном}}}$	$\frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{ном}}}$	$\frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{ном}}}$	Момент інерції ротора, кг·м ²
A4-400X-4Y3	500	1500	1,3	94,7	0,88	58,0	2,3	1,2	5,7	11
A4-400Y-4Y3	630			95,1		72,5				13
A4-450X-4Y3	800		1,2	95,2	92,0	21				
A4-450Y-4Y3	1000			95,5	0,89	113,5	2,1	1,1		25
A4-400XK-6Y3	315	1000	1,5	93,6	0,85	38,0	2,1	1,0	5,4	15
A4-400X-6Y3	400			94,0		47,5				18
A4-400Y-6Y3	500			94,4	59,5	21				
A4-450X-6Y3	630		1,4	94,7	0,86	74,5	2,0			32
A4-450Y-6Y3	800			95,0		94,5				38
A4-400X-8Y3	250	750	1,5	93,2	0,81	32,0	1,9	1,1	4,8	19
A4-400Y-8Y3	315			93,3	0,82	39,5				22
A4-450X-8Y3	400		1,4	93,6	0,83	50,0				36
A4-450YK-8Y3	500			94,2		61,5				42
A4-450Y-8Y3	630			94,5		77,5				49
A4-400X-10Y3	200	600	2,2	92,0	0,77	27,5	1,9	1,1	4,8	19
A4-400X-10Y3	250			92,5	0,78	33,5				22
A4-400X-10Y3	315			93,0	0,82	40,0				37
A4-400X-10Y3	400			93,4		50,0				42

Додаток Г (продовження)
Технічні дані асинхронних двигунів типу ДА304
 Напряга живлення – 6000 В, частота – 50 Гц

Тип двигуна	Потужність, кВт	Частота обертання n_0 , об/хв	Ковзання S , %	ККД, %	$\cos \varphi$	Струм статора, А	$\frac{M_{\text{макс}}}{M_{\text{ном}}}$	$\frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{ном}}}$	$\frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{ном}}}$	Момент інерції ротора, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$									
ДА304-400Х-4У1	400	1500	1,1	94,3	0,87	47,0	2,8	1,5	7,5	12									
ДА304-400У-4У1	500			94,7		58,5													
ДА304-450Х-4У1	630		1,0	94,7	0,88	73,5	2,6	1,3											
ДА304-450У-4У1	800			95,0		92,0													
ДА304-400ХК-6У1	250	1000	1,3	93,5	0,83	31,0	2,6	1,3	6,5	16									
ДА304-400Х-6У1	315			93,8		38,0					2,5	19							
ДА304-400У-6У1	400		1,2	94,2	0,85	48,0	2,5			33									
ДА304-450Х-6У1	500			94,4		60,0													
ДА304-450У-6У1	630			94,7		75,5					39								
ДА304-400Х-8У1	200	750	1,3	93,0	0,77	27,0	2,4	1,2	6,0	20									
ДА304-400У-8У1	250		1,2	93,5	0,79	32,5				2,4	1,2	6,0	23						
ДА304-450Х-8У1	315			93,7	0,80	40,5							2,4	1,2	6,0	37			
ДА304-450УК-8У1	400			94,0	0,81	50,5										2,4	1,2	6,0	43
ДА304-450У-8У1	500			94,3	0,82	62,0													50
ДА304-400Х-10У1	200	600	1,8	92,5	0,75	28,0	2,3	1,3	6,0	23									
ДА304-450Х-10У1	250			92,9	0,79	33,0				2,3	1,3	6,0	38						
ДА304-450У-10У1	315			93,3	0,80	40,5							43						
ДА304-450Х-12У1	200	500	1,8	92,2	0,75	28,0	2,3	1,3	5,5	41									
ДА304-450У-12У1	250			92,7	0,75	34,0				46									

Додаток Д

Блоки резисторів та ящиків резисторів

Тип	Кількість елементів, їх тип	Опір одного ступеня, Ом	Припустимий тривалий струм, А
ББС-2	6(ЛФ11Б)	0,52	до 270
БЛФ-1	9(ЛФ1)	2,88	до 140
БЛФ-2	9(ЛФ2)	4,05	до 155
БТС-7	5(ЛФИ)	3,32	до 350
ЛФ-238	4(ЛФ10)	1-0,22	190
ЛФ-238	4(ЛФ10)	2-0,037	265
ЛФ-238	4(ЛФ10)	3-0,019	400
ЛФ-269	3(ЛФ116)	1-0,351	100
ЛФ-269	3(ЛФ116)	2-0,132	150
ЛФ-269	3(ЛФ116)	3-0,089	200
ЯС-1	40(ЭС)	3,0-8,0	39-24
ЯС-2	20(ЭС)	0,1-1,6	215-54
ЯС-4	5	0,098-6,85	24-215
ЯСТ-1	12x3	0,9x3-2,4x3	39-24
ЯСТ-2	6x3	0,03x3-0,48x3	215-54

Додаток Е

Технічні дані асинхронних двигунів серії 4AP із підвищеним пусковим моментом (закриті, що обдуваються)

Напруга живлення – 380В, частота мережі живлення – 50 Гц.

Двигуни призначені для роботи механізмів у тривалому режимі роботи S1.

Тип двигуна	$P_{ном}$, кВт	n_0 , об/хв	n_n , об/хв	ККД η , %	$\cos\varphi$	$\frac{M_{макс}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{пуск}}{M_{ном}}$	$\frac{I_{пуск}}{I_{ном}}$	Момент інерції J , кг·м ²
4AP100S4Y3	3,0	1500	1435	82,0	0,83	2,2	2,0	7,0	$86,8 \cdot 10^{-4}$
4AP100L4Y3	4,0	1500	1430	84,0	0,84	2,2	2,0	7,0	$1,13 \cdot 10^{-2}$
4AP112M4Y3	5,5	1500	1445	85,5	0,85	2,2	2,0	7,0	$1,75 \cdot 10^{-2}$
4AP132S4Y3	7,5	1500	1455	87,5	0,86	2,2	2,0	7,0	$2,75 \cdot 10^{-2}$
4AP132M4Y3	11,0	1500	1460	87,5	0,87	2,2	2,0	7,0	$4,0 \cdot 10^{-2}$
4AP160S4Y3	15,0	1500	1465	87,5	0,87	2,2	2,0	7,5	$10,3 \cdot 10^{-2}$
4AP160M4Y3	18,5	1500	1465	88,5	0,87	2,2	2,0	7,5	$12,8 \cdot 10^{-2}$
4AP180S4Y3	22,0	1500	1460	90,0	0,87	2,2	2,0	7,5	$19 \cdot 10^{-2}$
4AP180M4Y3	30,0	1500	1460	90,0	0,87	2,2	2,0	7,5	$23,3 \cdot 10^{-2}$
4AP200M4Y3	37,0	1500	1470	91,0	0,88	2,2	2,0	7,5	$36,8 \cdot 10^{-2}$
4AP200L4Y3	45,0	1500	1470	92,0	0,88	2,2	2,0	7,5	$44,5 \cdot 10^{-2}$
4AP225M4Y3	55,0	1500	1475	92,5	0,88	2,2	2,0	7,0	$44,5 \cdot 10^{-2}$
4AP250S4Y3	75,0	1500	1475	93,0	0,87	2,2	2,0	7,5	1,02
4AP250M4Y3	90,0	1500	1475	93,0	0,88	2,2	2,0	7,5	1,17
4AP280S4Y3	110	1500	1470	92,5	0,90	2,2	2,0	7,5	2,3
4AP280M4Y3	132	1500	1480	93,0	0,90	2,2	2,0	7,5	2,48
4AP315S4Y3	160	1500	1480	93,5	0,92	2,2	2,0	7,5	3,08
4AP315M4Y3	200	1500	1480	94,0	0,92	2,2	2,0	7,5	3,63
4AP112MA6Y3	3,0	1000	955	81,0	0,76	2,2	2,0	7,0	$1,75 \cdot 10^{-2}$
4AP112MB6Y3	4,0	1000	950	82,0	0,81	2,2	2,0	7,0	$2,0 \cdot 10^{-2}$
4AP132S6Y3	5,50	1000	965	85,0	0,80	2,2	2,0	7,0	$4,0 \cdot 10^{-2}$
4AP132M6Y3	7,5	1000	970	85,5	0,81	2,2	2,0	7,0	$5,75 \cdot 10^{-2}$
4AP160S6Y3	11,0	1000	975	86,0	0,86	2,2	2,0	7,0	$13,8 \cdot 10^{-2}$
4AP160M6Y3	15,0	1000	975	87,5	0,87	2,2	2,0	7,0	$18,3 \cdot 10^{-2}$
4AP180M6Y3	18,5	1000	975	88,0	0,87	2,2	2,0	7,0	$22,0 \cdot 10^{-2}$
4AP200M6Y3	22,0	1000	975	90,0	0,90	2,2	2,0	7,0	$40,0 \cdot 10^{-2}$
4AP200L6Y3	30,0	1000	980	90,5	0,90	2,2	2,0	7,5	$45,3 \cdot 10^{-2}$
4AP225M6Y3	37,0	1000	980	91,0	0,89	2,2	2,0	7,5	$73,8 \cdot 10^{-2}$
4AP250S6Y3	45,0	1000	985	91,5	0,89	2,2	2,0	7,5	1,16
4AP250M6Y3	55,0	1000	985	91,5	0,89	2,2	2,0	7,5	1,26
4AP280S6Y3	75,0	1000	985	92,0	0,89	2,2	2,0	7,5	2,93
4AP280M6Y3	90,0	1000	985	92,5	0,89	2,2	2,0	7,5	3,38
4AP315S6Y3	110	1000	985	93,0	0,90	2,2	2,0	7,5	4,0
4AP315M6Y3	132	1000	985	93,5	0,90	2,2	2,0	7,5	4,5
4AP355S6Y3	160	1000	985	93,5	0,90	2,2	2,0	7,5	7,33
4AP355M6Y3	200	1000	985	94,0	0,90	2,2	2,0	7,5	8,8

Додаток Ж

**Технічні дані автоматичних вимикачів серій
АЕ, АК, АП, А, АС**

Тип	Номинальний струм, А	Номинальна напруга, В	Кількість полюсів	Струм уставки, А	Граничний струм відключення, кА
АК-63	63	200 – 400	2, 3	0,63 – 63	9
АК-50	50	320 – 400	2, 3	2 – 50	9
АП-50	50	220 – 500	2, 3	1,6 – 50	0,3 – 2
А-63	25	110 – 220	1	0,63 – 25	2,5
АЕ-1000	25	240	1	6 – 25	1,5
АЕ-2000	25, 63, 100	220 – 500	1, 2, 3	1,6 – 100	16
АС-25	10, 25	220 – 500	2, 3	1 – 20	2
А3710Ф	160	220 – 380	2,3	–	25
А3120	200	220	2,3	15 – 100	18

Додаток И

**Технічні дані запобіжників із закритими патронами
напругою до 1000 В**

Тип	Номинальна напруга, В	Номинальний струм, А		Струм межі відключення, кА	
		запобіжника (патрона)	плавкої вставки	~380 В	–220 В
НПН2-60	~500	60	6, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 60	10	—
ПН2-40	~380	40	6,10,15,20,25,30,40	20	–
ПН2-100	~380	100	30, 40, 50, 80, 100	100	100
ПН2-250	~380	250	80, 100, 120, 150, 200, 250	100	100
ПН2-400	~380	400	200, 250, 315, 355, 400	40	60
ПН2-600	–220	600	300, 400, 500, 600	25	40
ПР-2	~220	15	6, 10, 15	8	—
ПР-2	–440	60	15, 20, 25, 35, 45, 60	4,5	—
ПР-2	~500	200	100, 125, 160, 200	—	—
				11	10
	–440	350	200, 225, 260, 300, 350	13	11
		600	350, 430, 500, 600	23	20
	~380	1000	600, 700, 850, 1000	20	20

Додаток К

Реле електротеплові типів РТЛ, РТТ (напруга 380 В)

Тип реле	Номинальний струм, А	Номинальний струм теплового елемента, А	Діапазон регулювання струму неспрацьовування, А
РТТ-0	10	0,2 – 10	0,17 – 10
РТТ-1	25	0,2 – 25	0,17 – 25
РТЛ-10	25	0,14 – 0,21	0,1 – 25
РТТ-2	63	10 – 63	8,5 – 63
РТЛ-20	80	27 – 71,5	23 – 80
РТТ-3	160	50 – 160	42,5 – 160
РТЛ-30	200	90 – 175	75 – 20
РТТ-4	630	125 – 630	106 – 630

Додаток Л

Технічні характеристики трансформаторів

Тип	Номинальна потужність, кВ А	Номинальна напруга, В		Втрати, Вт		Напруга к. з., % від номінальної напруги	Струм х. х., % від ном. струму
		ВН	НН	х. х. при ном. напрузі	к. з. при ном. струмові		
ТС3-10	10	$\frac{380}{500,600}$	$\frac{230}{400}$	90	280	4,5	7,0
ТС3-16	16	$\frac{380}{500,600}$	$\frac{230}{400}$	125	400	4,5	5,8
ТС3-25	25	$\frac{380}{500,600}$	$\frac{230}{400}$	180	560	4,5	4,8
ТС3-40	40	$\frac{380}{500,600}$	$\frac{230}{400}$	250	800	4,5	4,0
ТС3-100	100	$\frac{380}{500,600}$	$\frac{230}{400}$	500	1500	4,5	2,7
ОСМ-0,10	0,10	220	12,24	-	-	9	24
ОСМ-0,16	0,16	380	36,42	-	-	7	23
ОСМ-0,25	0,25	660	110	-	-	5,5	22

Додаток М

Технічні характеристики контакторів змінного струму

Тип	Номинальна напруга, В	Номинальний струм, А	Кількість полюсів	Час спрацьовування, с
КТ6000	380 і 660	100	2,3,4 і 5	0,03
		160		0,03
		250		0,04
		400		0,05
		630		0,05
КТ7000	380 і 660	100	2,3,4 і 5	0,034
		160		0,3
КНТ	380	10	2,3	0,6
		25		0,6
		60		0,6
		100		0,6

Додаток Н

Технічні характеристики електромагнітних реле напруги

Тип	Номинальна напруга, В	Кількість контактів		Напруга спрацьовування, у % від номінальної
		З	Р	
РП-25 (проміжне)	~100, ~127, ~220	2	3	85
РП-311 (проміжне)	~100, ~127, ~220	2	2	70
РП-230 (проміжне)	~24, ~36, ~48, ~110	1	3	70
РН-50	~12 ...~400	1	1	80

Додаток II

Технічні характеристики реле часу

Реле	Особливість конструкції	Напруга, В	Діапазон витримки часу, с	Кількість контактів		Струм через контакти, А		
				З	Р	Тривалий	Вимикаючий	Вмикаючий
РСВ-810	Постійного струму Механізм загальмований за допомогою магнітного демпфірування	12, 24, 48, 110 та 220	0,25-3,8	1,2	1,2	10	1-40	20-10
Е-510	Моторні пост. струму (програмні)	110 та 220	1-360	—	4	5	2	—
ЭВ-100	Постійного струму з анкерним механізмом	24, 48, 110 та 220	0,1-20	1	—	3-5	1-5	—
ЭВ-200	Змінного струму з анкерним механізмом	127, 220, 380	0,1-20	1	1	3-5	2,5	—
РВ-4	Моторні змінного струму	127, 220, 380	0,1-20	1	1	—	—	—
РЭВ-800	Постійного струму з магн. демпфіруванням	12, 24, 48, 110, 220	0,25-5,5	1,2	1,2	10	1-15	10-80
РЭВ-201	Змінного струму Постійного струму	220 24,48,100	0-220	—	2	5	—	—
PCU-520	Змінного струму багатofункціональне	230	0,1с – 24 доби	2	2	8	—	—

Реле автоматики

Найменування	Тип реле	Номинальна напруга або струм спрацьовування
Сигнальне реле	СЭ-2	від 0,01 до 1,0 А
Реле лічильно-імпульсне	Е-531	220 і 380 В
Реле обриву фаз	Е-511	380 В
Реле обриву фаз	Siemens 3UG4512	160-690 В
Реле кутової швидкості	РС-2М	220 В
Реле контролю напруги	РЭВ-820	12-220 В

Додаток Р

Універсальні перемикачі

Серія	Тип	Кількість секцій	Номінальна напруга, В	Номінальний струм, А
УП5300, УП5400	УП5311, УП5402	2	~500(50, 60 Гц), —440	16
	УП5312, УП5404	4		
	УП5313, УП5406	6		
	УП5314, УП5408	8		
	УП5315, УП5410	10		
	УП5316, УП5412	12		
	УП5317, УП5416	16		
	УП5310-2	20		
	УП5412-2	(10x2) 24 (12x4)		
ПКУ3	ПКУ3-11	1....16	~24....500 (50, 60, 400 Гц), —220	10
	ПКУ3-12	1....16		
	ПКУ3-14	1...8		
	ПКУ3-16	1...8		
	ПКУ3-38	1....3		
	ПКУ3-54	1...6		
	ПКУ3-58	1...6		
	ПКУ3-64	1...2		
	ПКУ3-68	1...2		
ПКУ2	ПКУ2-11	1....12	~660 (50, 60, 400 Гц), —220	12

Кнопки керування

Серія	Тип	Номінальна напруга, В	Номінальний струм, А
КМЕ	КМЕ4110	~24...500 (50, 60 Гц), —440	10
	КМЕ4210		
	КМЕ4510		
	КМЕ5110		
	КМЕ5510		
	КМЕ6110		
ПУ ПМП	ПУ11	~ 380	6-25
	ПМП	~ 380	10-30

Додаток С

Комплектні конденсаторні установки 6(10) кВ

	Типове позначення	Номінальна потужність, кВАР
1.	КУ2-1	100
2.	КУ3-1	150
3.	КУ4-1	200
4.	КУ-6-1	330
5.	КУ-10-1	330
6.	КУН6-ІІ	420
7.	УК- 6,3-450П(Л)УЗ	450
8.	УК- 10,5-450П(Л)УЗ	450
9.	КУ10-ІІ	500
10.	УК- 6,3-900П(Л)УЗ	900
11.	УК- 10,5-900П(Л)УЗ	900
12.	УК- 6,3-1125П(Л)УЗ	1125
13.	УК- 10,5-11250П(Л)УЗ	1125

Додаток Т

Технічні характеристики силових трансформаторів

Тип	Номинальна потужність, кВА	Номинальна напруга, кВ		Втрати , Вт		Напруга к. з., % від номінальної напруги	Струм х. х., % від ном. струму
		ВН (висока)	НН (низька)	х. х. при ном. напрузі	к. з. при ном. струмі		
Клас напруги 6 – 10 кВ							
ТМ-10	10	$\frac{6; 6,3; 10; 10,5}{6; 10}$	$\frac{0,23}{0,4}$	65	260	4,5	3,6
ТМ-16	16	$\frac{6; 6,3; 10; 10,5}{6; 10}$	$\frac{0,23}{0,4}$	95	420	4,5	3,4
ТМ-25	25	$\frac{6; 6,3; 10; 10,5}{6; 10}$	$\frac{0,23}{0,4}$	130	600	4,5	3,2
ТМ-40	40	$\frac{6; 6,3; 10; 10,5}{6; 10}$	$\frac{0,23}{0,4}$	175	880	4,5	3
ТМ-63	63	$\frac{6; 6,3; 10; 10,5}{6; 10}$	$\frac{0,23}{0,4}$	240	1280	4,5	2,8
ТМ-100	100	$\frac{6; 6,3; 10; 10,5}{6; 10}$	$\frac{0,23}{0,4}$	330	1970	4,5	2,6
Клас напруги 35 кВ							
ТМН-630	630	35	$\frac{0,4}{6,3}$	1,6	1,8	6,5	1,5
ТМН-1000	1000		$\frac{0,4}{6,3}$	2,1	$\frac{12,2}{11,6}$	6,5	1,4
ТМН-1600	1600		$\frac{0,4}{6,3}$	2,9	$\frac{18}{16,5}$	6,5	1,3
ТМН-2500	2500		6,3	4,1	23,5	6,5	1
ТМН-4000	4000		6,3	5,6	33,5	7,5	0,9
ТМН-6300	6300		6,3	8	46,5	7,5	0,8

Додаток У

**Допустимий тривалий струм для дротів та шнурів із
полівінілхлоридною та гумовою ізоляцією**

Переріз жили, мм ²	Струмові навантаження (А) на дроти, прокладені:											
	Відкрито (двожилъ- ний)		у трубі									
	з мідними жилами	з алюмінієвими жилами	з мідними жилами					з алюмінієвими жилами				
			два одно- жилъних	три одно- жилъних	чотири одно- жилъних	один дво- жилъний	один три- жилъний	два одно- жилъних	три одно- жилъних	чотири одно- жилъних	один дво- жилъний	один три- жилъний
0,5	11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0,75	15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1	17	—	16	15	14	15	14	—	—	—	—	—
1,2	20	—	18	16	15	16	14,5	—	—	—	—	—
1,5	23	—	19	17	16	18	15	—	—	—	—	—
2	26	—	24	22	20	23	19	—	—	—	—	—
2,5	30	24	27	25	25	25	21	20	19	19	19	16
3	34	27	32	28	26	28	24	24	22	21	22	18
4	41	32	38	35	30	32	27	28	28	23	25	21
5	46	36	42	39	34	37	31	32	30	27	28	24
6	50	39	46	42	40	40	34	36	32	30	31	26
8	62	46	54	51	46	48	43	43	40	37	38	32
10	80	60	70	60	50	55	50	50	47	39	42	38
16	100	75	85	80	75	80	70	60	60	55	60	55
25	140	105	115	100	90	100	85	85	80	70	75	65
35	170	130	135	125	115	125	100	100	95	85	95	75
50	215	165	185	170	150	160	135	140	130	120	125	105
70	270	210	225	210	185	195	175	175	165	140	150	135
95	330	255	275	255	225	245	215	215	200	175	190	165
120	385	295	315	290	260	295	250	245	220	200	230	190
150	440	340	360	330	—	—	—	275	255	—	—	—

Додаток Ф

Технічні характеристики запобіжників типів ПКТ, ПКЭ

Тип	Номинальна напруга, кВ	Найбільше робоче навантаження, кВ	Номинальний струм запобіжника, А	Номинальний струм відключення, кА
ПКТ-101УЗ	6	7,2	2; 3,2; 5;8; 10; 16; 20	$\frac{40}{20}$
	10	12	2; 3,2; 5;8; 10; 16; 20	$\frac{31,5}{12,5}$
	35	40,5	2; 3,2; 5;8; 10	$\frac{8}{3,2}$
ПКТ-102УЗ	6	7,2	$\frac{31,5; 40; 50}{80}$	$\frac{31,5}{20}$
	10	12	$\frac{31,5; 40;}{50}$	$\frac{31,5}{12,5}$
	35	40,5	10, 16, 20	8
ПКТ-103УЗ	6	7,2	$\frac{80; 100}{160}$	$\frac{31,5}{20}$
	10	12	50, 80, 100	31,5; 20; 12,5
	35	40,5	31,5; 40	8
ПКТ-104УЗ	6	7,2	$\frac{160; 200}{315, 430}$	$\frac{31,5}{20}$
	10	12	100, 160, 200	31,5; 20; 12,5
ПКТ-105УЗ	6	7,2	80, 100	31,5
	10	12	50, 80	20
	35	40,5	31,5; 40	8
ПКЭ-106У2	6	7,2	$\frac{5, 8, 10, 16, 20}{31,5}$	$\frac{40}{20}$
	10	12	5, 8, 10, 16, 20	12,5
ПКЭ-107У2	6	7,2	31,5; 40; 50	31,5
	10	12	31,5; 40	12,5
ПКЭ-108У2	6	7,2	80, 100	31,5
	10	12	50, 80	12,5

Питання до захисту курсової роботи
«Розрахунок електрообладнання та електропостачання
об'єктів нафтогазової промисловості»

1. Як розрахувати потужність двигуна бурового насоса?
2. Як визначається номінальний момент електродвигуна?
3. Як перевірити двигун на перевантажувальну здатність?
4. Як перевірити двигун на можливість пуску?
5. Як визначити номінальний струм двигуна?
6. Як визначити потужність двигуна верстата-качалки?
7. Як визначити еквівалентний момент за навантажувальною діаграмою?
8. Як побудувати механічну характеристику двигуна? Привести основні рівняння.
9. Як вибирають: – автоматичні вимикачі; – запобіжники;
– теплові реле; – контактори;
– реле часу; – проміжні реле?
10. Як розрахувати активну, реактивну та повну потужності бурової установки?
11. Як підібрати батарею конденсаторів?
12. Як визначити площу перерізу жил кабелю?
13. Як вибрати запобіжник для мережі освітлення?
14. Як розрахувати $\cos \varphi$ бурової установки?
15. Як працює схема керування електроприводом бурового насоса? Які вона має захисти?
16. Як працює схема керування електроприводом верстата-качалки? Які вона має захисти?

ЛІТЕРАТУРА

1. Паначевний Б.І., Свергун Ю.Ф. Загальна електротехніка: підручник / Б.І. Паначевний, Ю.Ф. Свергун. – Київ: Каравела, 2018. – 296 с.
2. Матвійчук А.Я. Електротехніка: навчально-методичний посібник / А.Я. Матвійчук, В.Л. Стінянський; Вінницький державний педагогічний університет ім. М. Коцюбинського. – Вінниця, 2017. – 270 с.
3. Блантер С.Г., Суд И.И. Электрооборудование нефтяной и газовой промышленности / С.Г. Блантер, И.И. Суд. – М.: Недра, 1980. – 488 с.
4. Усатенко С.Т. Выполнение электрических схем по ЕСКД / С.Т. Усатенко, Т.К. Каченюк, М.В. Терехова. – М.: Издательство стандартов, 1983.– 325с.
5. Клименко Б.В. Электрические аппараты. Электромеханическая аппаратура коммутации, управления и защиты. Общий курс: учебное пособие (издание второе, доработанное и дополненное) / Б.В. Клименко. – Харьков: Изд-во «Точка», 2013. – 400 с.
6. Унифицированная серия асинхронных двигателей Интерэлектро / Под ред. В.И. Радина. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 416 с.
7. Электротехнический справочник: в 3-х т. Т.1 и Т.2 / Под общей редакцией профессоров МЭИ В. Г. Герасимова и др. – 7-е изд.– М.: Энергоатомиздат, 1985.
8. Чичеров Л.Г., Молчанов Г.В. Расчет и конструирование нефтепромышленного оборудования / Л.Г. Чичеров, Г.В. Молчанов. – Москва: Недра, 1987. – 422 с.
9. Ивановский В.Н. и др. Оборудование для добычи нефти и газа / В.Н. Ивановский, В.И. Дарищев, А.А. Сабиров, В.С. Каштанов. – М.: Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2002. – 768 с.
10. Єрмілова Н.В. Навчальний посібник з дисципліни "Електротехніка та електропостачання" для студентів спеціальності 185 «Нафтогазова інженерія та технології». – Полтава: ПолтНТУ, 2019. – 177 с. // Режим доступу: <http://reposit.nupp.edu.ua/handle/PoltNTU/6386>
11. Дьяков В.И. Типовые расчеты по электрооборудованию / В.И.Дьяков. – М.: Высш. шк., 1991. – 160 с.

ЗМІСТ

Вступ	3
Розділ 1. Основи електропривода. Типові режими роботи електроприводів	4
Розділ 2. Електричні апарати	12
Розділ 3. Електропостачання об'єктів НГП.....	20
Розділ 4. Виконання курсової роботи «Розрахунок електрообладнання та електропостачання об'єктів нафтогазової промисловості»	28
Література	74

Електрообладнання та електропостачання об'єктів нафтогазової промисловості. Навчальний посібник

Навчально-методичне видання

Єрмілова Наталія Василівна

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

**ДО САМОСТІЙНОГО ВИВЧЕННЯ МАТЕРІАЛУ
«ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ТА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ
ОБ'ЄКТІВ НАФТОГАЗОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ»**

**З ДИСЦИПЛІНИ
«ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ»**

для студентів спеціальності 185

«Нафтогазова інженерія та технології»

Комп'ютерна верстка Н.В. Єрмілова
Коректор І.Л. Петренко

Друк RISO
Обл.-вид. арк. 3,2

Поліграфічний центр
Національного університету
«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
36601, м. Полтава, Першотравневий проспект, 24
Свідоцтво внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготовників і розповсюджувачів
видавничої продукції
Серія ДК № 3130 від 06.03.2008

Віддруковано з оригінал-макета ПЦ
Національного університету імені Юрія Кондратюка