

Тема 5.5. ПОТУЖНІСТЬ ДВИГУНА, ВИТРАТА ЕНЕРГІЇ, К. К. Д. УСТАНОВКИ ТА МАШИНИ

5.5.1 Потужність двигуна

Підйомний електричний двигун повинен працювати з навантаженням, коли протягом тривалого часу нагрівання його обмоток не перевищує допустимих норм. Двигун підйомної установки працює у важких умовах зі змінним обертовим моментом і частотою обертання, що змінюється, причому ці величини змінюються періодично, через проміжки часу, рівні тривалості підйомної операції. Тому в різні періоди підйомної операції змінюється кількість теплоти, що виділяється в обмотці двигуна.

Відповідно до характеру навантажувальних діаграм на підйомний двигун потужність його повинна задовольняти: нормальному нагріванню середнім квадратичним струмом: допустимим навантаженням, які мають місце як під час руху підйомних судин, так і в екстрених випадках. До останніх належить виконання маневрів, регулювання довжини підйомних канатів тощо. На підставі поняття про середній квадратичний струм впливає поняття про еквівалентне зусилля двигуна ялини при системах з органами навівки постійного радіуса та еквівалентному моменті звернення двигуна при системах з органами навівки змінного радіуса.

Еквівалентне зусилля (момент) - це абстрактне, постійне за величиною зусилля (момент), що діє безперервно, включаючи і паузу між рухами підйомних судин, і що викликає такий же нагрівання двигуна як фактичні зусилля (моменти), що мають місце, за навантажувальними діаграмами на двигун.

При підйомних системах з органами навівки постійного радіуса, статично врівноважених та триперіодній діаграмі швидкості (див. рис. 48, б) еквівалентне зусилля

$$F_{екв} = \sqrt{\frac{F_1^2 t_1 + F_3^2 t_2 + F_5^2 t_3}{T_n}} \quad (141)$$

Знаменник підкореного виразу формули (141)

$$T_n' = k_{уд} (t_1 + t_3) + t_2 + k_n t_n \quad (142)$$

де $k_{уд}$ та k_n - коефіцієнти, які враховують погіршення умов охолодження під час відповідно прискореного та уповільненого руху, а також паузи між рухом підйомних судин; за даними акад. М. М. Федорова $k_{уд} = 1$ і $k_n = 0,38$ ХЕМЗ рекомендує $k_{уд} = 0,5$ і $k_n = 0,25$.

При підйомних системах з органами навівки постійного радіуса без врівноважуючого та з важким врівноважуючим канатом, коли протягом кожного періоду підйомної операції змінюються F_1 до F_2 F_3 до F_4 і т.д. та при триперіодній діаграмі швидкості (див. рис. 48, а та в) еквівалентне зусилля

$$F_{екв} = \sqrt{\frac{(F_1^2 + F_1 F_2 + F_2^2) \frac{t_1}{3} + (F_3^2 + F_3 F_4 + F_4^2) \frac{t_2}{3} + (F_5^2 + F_5 F_6 + F_6^2) \frac{t_3}{3}}{T_n'}} \quad (143)$$

У загальному випадку для підйому систем з органами навівки постійного радіуса за будь-яких діаграм швидкості

$$F_{екв} = \sqrt{\frac{\sum F^2 t}{T_n'}} \quad (144)$$

Те саме, з органами навівки змінного радіуса

$$F_{екв} = \sqrt{\frac{\sum M^2 t}{T_n'}} \quad (145)$$

Необхідно мати на увазі, що при визначенні $F_{екв}$ (або $M_{екв}$) при механічному гальмуванні негативні зусилля (моменти) у підкорене вираз не вводяться, а при електричному гальмуванні — вводяться, тому що в першому випадку вони не сприяють нагріванню двигуна, а в другому сприяють.

Відношення максимального рушійного зусилля при системі з постійним радіусом навивки по навантажувальній діаграмі (або максимального моменту, що обертає) до $F_{екв}$ (або $M_{екв}$) називається коефіцієнтом перевантаження при підйомі

$$k_{под} = \frac{F_{max}}{F_{екв}} \quad (146)$$

При асинхронному двигуні $k_{под} \leq 1,6...1,8$ при системі приводу з двигуном постійного струму $k_{под} \leq 1,8...2$.

Крім перевантаження під час підйому має місце перевантаження від екстрених зусиль (моментів).

За наявності кулаків максимальні екстрені зусилля (моменти) при маневрах можуть бути у таких випадках:

1) при підніманні верхньої навантаженої кліті, коли нижня, стоїть на кулаках,

$$F_{ек}^e = [Q_c + (1 + \frac{k-1}{2})Q_n + (q - p)H]g \quad (147)$$

$$M_{ек}^e = [Q_c + (1 + \frac{k-1}{2})Q_n]gR_k - pH_gR_H \quad (148)$$

де $\frac{k-1}{2}$ - коефіцієнт опору руху однієї підйомної судини та її області каната; R_k і R_H - відповідно кінцевий та початковий радіуси навивки;

2) при подовженні каната, коли нижня кліть з порожніми вагонетками піднімається, а верхня стоїть на кулаках,

$$F_{ек}^e = (Q_c + \frac{k-1}{2}Q_n + pH)g \quad (149)$$

$$M_{ек}^e = (Q_c + \frac{k-1}{2}Q_n + pH)gR_H \quad (150)$$

За відсутності кулаків або наявності їх тільки на верхньому приймальному майданчику, а внизу при наявності площадок, що коливаються, і коли при підйомі нижня порожня кліть масою Q з піднімається без вагонеток (при регулюванні каната),

$$F_{ек} = (Q_c - m_B + \frac{k-1}{2}Q_n + pH)g \quad (151)$$

$$M_{ек} = (Q_c - m_B + \frac{k-1}{2}Q_n + pH)gR_H \quad (152)$$

де m_B - маса порожніх вагонеток.

Коефіцієнт перевантаження від екстрених зусиль (моментів)

$$k_e = \frac{F_{ек.max}}{F_{екв}} \quad (153)$$

Для асинхронного двигуна допускається $k_e \leq 1,8...2$ та для системи приводу з двигуном постійного струму $k_e \leq 2...2,2$.

При системах з органами навивки змінного радіусу $k_{под}$ і k_e визначають як відношення відповідно M_{max} , і $M_{ек.max}$ та $M_{екв}$.

Значення k_e і $k_{под}$ не повинні перевищувати допустимих значень, причому для дотримання цього може виникнути необхідність збільшення $F_{екв}$, (або $M_{екв}$). Збільшення має бути не більше 30% при асинхронному двигуні та не більше 40% при системі приводу з двигуном постійного струму. В іншому випадку зменшення $k_{под}$ і k_e досягається не збільшенням $F_{екв}$ (або $M_{екв}$), а зменшенням F_{max} (або M_{max}) і $F_{ек.max}$ (або $M_{ек.max}$). У зв'язку з цим може виникнути необхідність зменшення прискорення a_1 (або ε_1).

Визначивши $F_{екв}$ (або $M_{екв}$), що задовольняє умовам допустимого нагрівання двигуна струмом та допустимого перевантаження при підйомі та від екстрених зусиль, знаходимо еквівалентну потужність (кВт) підйомного двигуна:

при системах з органами навивки постійного радіусу

$$N_{екв} = \frac{F_{екв}v_{max}}{1000\eta_n} \quad (154)$$

те ж, змінного радіусу

$$N_{екв} = \frac{M_{екв}\omega_{max}}{1000\eta_n} \quad (155)$$

Будівельна потужність підйомного двигуна встановлюється збільшенням $N_{екв}$ до найближчої потужності за каталогом, причому її рекомендується брати на 10 - 15 % більше

еквівалентної.

5.5.2 Коефіцієнт корисної дії підйомної установки та машини

Корисна потужність (кВт) для підйому 1 т вантажу

$$N_n = \frac{1000Hg}{1000T} = \frac{Hg}{T} \quad (165)$$

Корисна витрата енергії (кВт год) за одну підйомну операцію протягом Т (с) на підйом 1 т вантажу

$$W_{\Pi} = N_{\Pi}T = \frac{Hg}{3600T}T = 0.00272H \quad (166)$$

підйомної установки (без урахування втрат в електромережі)

$$\eta_y = \frac{W_n}{W_T \eta_c} \quad (167)$$

К.п. д. підйомної машини буде більше к. п. д. установки, так як при цьому не враховуються опори в стовбурі, що направляють шківів, і жорсткість каната, тобто.

$$\eta_{\text{маш}} = k\eta_{\text{в}} \quad (168)$$

Розділ 5.6. ЕЛЕКТРОПРИВОД. АПАРАТУРА УПРАВЛІННЯ ТА ЗАХИСТУ ПІДЙОМНИХ УСТАНОВОК

5.6.1 Асинхронний електропривод

На рис. 53 показано принципову схему електроприводу з асинхронним двигуном, на рис. 54 - діаграма його механічних характеристик - залежності між моментом, що обертає, і частотою обертання. Діаграма має чотири області: руховий режим, генераторний режим (рекуперативне гальмування), гальмування противключення, динамічне гальмування.

Якщо навантаження на двигун більше максимального моменту, що розвивається ним, робоча точка А (див. рис. 54) переходить на нестійку гілку характеристики, показану штрихпунктиром; та двигун зупиняється. На нестійкій частині характеристики працювати не можна.

При вимкненому реостаті (ротор замкнутий коротко) частота обертання асинхронного двигуна практично не залежить від навантаження (жорстка характеристика у вигляді пологої кривої - природна характеристика двигуна). При включенні реостата залежність частоти обертання двигуна від навантаження зростає (м'які характеристики як крутих кривих).

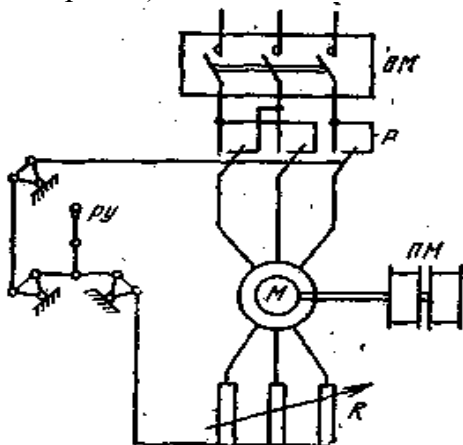


Рис. 53 - Принципова схема електроприводу з асинхронним підйомним двигуном:

ВМ - масляний вимикач;

Р - реверсор;

РУ - рукоятка управління;

М - підйомний асинхронний двигун;

R - реостат у ланцюзі ротора для регулювання частоти обертання

двигуна; ПМ - підйомна машина

Припустимо, що в період пуску двигун повинен розвивати крутий момент M_1 . При металевому реостаті момент, що обертає, буде коливатися в заздалегідь обраних межах $M_1' < M_1 < M_1''$, причому різниця граничних значень M_1' і M_1'' визначає число ступенів

реостату. У середньому положенні рукоятки управління РУ (див. рис.53) двигун відключений від мережі і в ланцюг ротора повністю включено опір реостата. На початку підйомної операції машиніст виводить рукоятку управління із середнього положення, пересуваючи її у певному напрямку; при цьому в ланцюг ротора повинен бути включений такий опір R3 (див. рис. 54) реостата, яке сприяло б отриманню моменту, що обертає M_1' .

Так як $M_1' > M_1$ то двигун, починаючи обертання з частотою n_1 , поступово її збільшує. При цьому крутний момент зменшуватиметься. Це зменшення слід допустити до M_1'' , що відповідає частоті обертання двигуна n_2 після чого необхідно вимкнути ступінь реостата так, щоб при цій же частоті крутний момент збільшився від M_1'' до M_1' . Це досягається при опорі реостату R4.

У зв'язку зі зміною крутного моменту, що розвивається двигуном, прискорення a підйомної системи буде змінним і при органах навивки постійного радіусу на підставі виразу (82):

$$a = \frac{F - F_{cm}}{m_n} \quad (169)$$

При передчасному вимкненні ступеня реостату момент, що обертає, стає більше M_1' і тому збільшується прискорення. Змінюючи швидкість переміщення ручки управління, можна зменшувати або збільшувати тривалість прискореного руху. При швидкому переміщенні рукоятки можна отримати неприпустимо велике прискорення і, отже, перевантаження двигуна.

Якщо при досягненні крутного моменту M_1'' не вимкнути черговий ступінь, тобто не перейти на опір реостату R4, то він буде зменшуватися доти, доки не зрівняється зі статичним моментом опору (точка на рис. 54). Потім обертовий момент двигуна буде слідувати за всіма змінами статичного моменту опору. Це невигідно через непродуктивну витрату енергії в реостаті, тим більше, чим більший опір реостату і тривалість роботи з ним, тривалість підйомної операції збільшиться в порівнянні з розрахунковою, так як частота обертання двигуна менше номінальною.

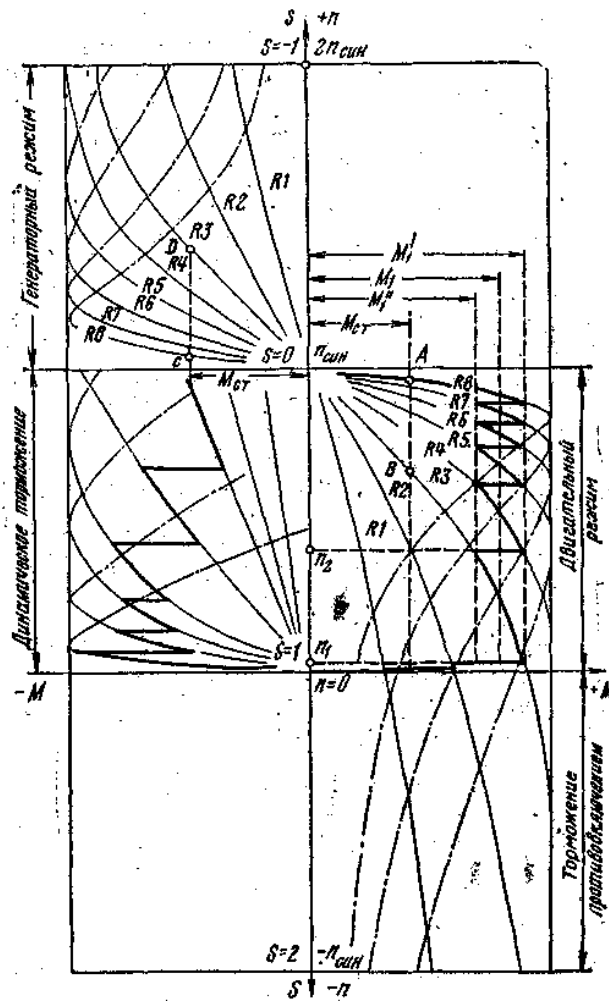


Рис. 54 - Діаграма механічних характеристик електроприводу з асинхронним двигуном

Тому, коли зі збільшенням частоти обертання момент знову досягне значення M_1'' , виводять наступний ступінь і працюють при опорі реостата R5. Ці перемикання виконують доти, поки весь опір реостата буде виведено з ланцюга ротора (двигун працює на пологій - природній характеристиці).

Після вимикання всіх ступенів реостата обертальний момент двигуна зменшується до збігу зі статичним моментом опору системи і слідує за всіма його змінами (точка A).

Діаграма швидкості підйому в період прискореного руху виконується шляхом виведення у певні моменти часу з ланцюга ротора щаблів реостату. Машиніст у цей період спостерігає за показанням амперметра (струм у ланцюгу статора пропорційний обертовому моменту двигуна), прагнучи утримати коливання струму в заданих межах.

Управління двигуном під час прискореного руху може бути автоматизовано. Ступені реостата послідовно автоматично шунтуються, причому тривалість роботи на кожному ступені забезпечується відповідним налаштуванням реле часу.

При рівномірному русі з максимальною розрахунковою швидкістю рух судин всі щаблі реостата вимкнені, чому відповідає природна характеристика двигуна. Якщо при рівномірному русі необхідна швидкість, менша максимальної розрахункової, реостат до кінця періоду прискореного руху повністю не виключається, причому для підтримки постійного її значення при статичному моменті, що змінюється (неврівноважена підйомна система) доводиться переходити на нову характеристику двигуна, що забезпечує рух із заданою швидкістю. Особливі труднощі в управлінні виникають при малих навантаженнях, коли для отримання швидкостей руху, менших за максимальну, доводиться працювати на характеристиках, при яких найменша зміна статичного моменту викликає значні зміни

частоти обертання двигуна. У цьому випадку для отримання стійкої швидкості руху підйомний двигун необхідно навантажувати, застосовуючи механічне гальмування підйомної машини.

У період уповільненого руху потрібно особливо точне дотримання заданого швидкісного режиму. Порушення його веде до передчасної зупинки або перепідйому. У цей час руху момент опору (зусилля) має невеликі позитивні чи негативні значення. У першому випадку точне дотримання розрахункового режиму руху важко, тому що двигун працює при включеному реостаті, а навантаження на нього змінне. Крім того, якщо при підйомі розрахункового вантажу в період уповільнення мають місце позитивні зусилля (руховий режим), то при меншому навантаженні можуть виникнути негативні зусилля, і дотримання того ж швидкісного режиму необхідно застосовувати гальмування. Тому машиністу підйому залежно від навантаження доводиться використовувати один, то інший спосіб управління, що є серйозним недоліком даної підйомної системи. При негативному моменті опору (зусилля) системи під час уповільненого руху працюють із застосуванням механічного чи електричного гальмування. Тут також є труднощі в управлінні, пов'язані зі змінним навантаженням на машину.

Генераторний режим (рекуперативне гальмування) заснований на тому, що асинхронний двигун при частоті обертання ротора вище синхронної стає генератором, що віддає енергію в електричну мережу. Якщо в руховому режимі крутний момент збігається з напрямком руху, то в генераторному режимі він спрямований проти руху, тобто стає гальмівним моментом. Рекуперативне гальмування можна застосовувати у випадку, коли підйомна судина, що опускається, навантажена більше, ніж піднімається, і при частоті обертання двигуна вище синхронної; при цьому максимальна швидкість підйому перевищує розрахункову на 3 - 5%. На початку уповільненого руху двигун відключається від мережі та машину зупиняють механічним гальмом.

При роботі асинхронного двигуна в генераторному режимі (рис. 54) гальмівний момент двигуна зростає зі збільшенням частоти обертання ротора. Введення опору реостата в ланцюг ротора викликає надмірне збільшення швидкості спуску вантажу; щоб уникнути цього ротор в генераторному режимі замикається коротко.

Практично рекуперативне гальмування здійснюється в такий спосіб. Машиніст відгальмовує машину, яка під дією вантажу, що опускається, починає рухатися. При цьому рукоятка керування у міру зростання швидкості переміщається машиністом у напрямку руху машини так, щоб при досягненні синхронної частоти обертання ротор двигуна був замкнений коротко (крайнє положення рукоятки). Після того як частота обертання ротора стане більш синхронною, гальмівний момент, що розвивається двигуном, почне збільшуватися, а прискорення вантажу, що опускається, зменшуватися. Коли гальмівне зусилля F (або момент M) двигуна дорівнюватиме статичному зусиллю $F_{ст}$ (або моменту $M_{ст}$) підйомної системи, що рухається, то відповідно до формули (169) прискорення а системи стане рівним нулю, і вона рухатиметься з рівномірною швидкістю, що визначається ординатою точки C (див. рис. 54). Якби ротор двигуна було включено опір реостата, відповідне, наприклад, характеристиці R_3 , то при тому ж гальмівному моменті двигун працював би з надмірно великою частотою обертання, що визначається ординатою точки D , що неприпустимо. Тому в генераторному режимі ротор при синхронній частоті обертання автоматично замикається коротко.

Рекуперативне гальмування в порівнянні з механічним має переваги, так як при ньому гальмівний момент, що розвивається двигуном, автоматично пристосовується до рушійної сили вантажу, що опускається, що забезпечує стійке значення швидкості руху судин; не зношуються гальмівні колодки; енергія вантажу, що опускається, перетворюється на електричну і віддається в мережу.

Т о р м о ж е н н е п р о т и в о в к л ю ч е н н я здійснюється переміщенням рукоятки управління в напрямку, протилежному руху машини. При цьому магнітне поле статора обертається в напрямку, протилежному обертанню ротора підйомного двигуна, тому

виникає гальмівний по відношенню до підйомної системи крутний момент.

В область гальмування противключенням потрапляють стійкі частини механічних характеристик при великому опорі реостата ланцюга ротора (див. 34).

Так як при гальмуванні противключення тільки перші два-три ступені реостата забезпечують стійкі характеристики двигуна, то регулювання гальмівного моменту двигуна буде грубим.

У зв'язку з грубим регулюванням гальмівного моменту двигуна, необхідністю особливої уваги машиніста при зупинці машини, витратою енергії в реостаті гальмування противключенням не набуло широкого поширення.

Динамічне електромагнетичне гальмування здійснюється відключенням статора від мережі змінного струму та живленням його постійним струмом при замкнутому коротко або на пусковий реостат роторі. При цьому статор утворює нерухоме в просторі магнітне поле, яке індукуює в роторі, що обертається, змінний струм. Взаємодія цього струму з магнітним полем статора створює гальмівний момент, який можна регулювати зміною величини постійного струму та опору реостата ланцюга ротора.

При з'єднанні статора обмоток в зірку постійний струм подають у дві фази обмоток, а третя вільна.

Механічні характеристики двигуна при цьому гальмуванні (див. рис. 54) за своєю формою нагадують характеристики рухового режиму і відрізняються від останніх тим, що вони починаються в точці, що відповідає нерухомому ротору і величина максимального моменту двигуна залежить від зміни постійного струму в статорі, зростаючи при збільшенні струму. Якщо в обмотках статора протікає постійний струм, що дорівнює номінальному змінному струму двигуна, то максимальний гальмівний момент його приблизно дорівнює номінальному моменту двигуна. Для отримання максимального гальмівного моменту, що дорівнює дворазовому номінальному моменту двигуна, необхідно, щоб величина постійного струму була приблизно в 2 рази більша за номінальний змінний струм у руховому режимі. Величина струму в статорі, отже, і гальмівний момент обмежуються допустимим нагріванням обмоток.

Механічні характеристики в режимі динамічного гальмування (рис. 54) мають такі недоліки: 1) наявність нестійкої частини, на якій робота - двигуна можлива при моменті опору, що перевищує максимальний момент двигуна, а також при неправильному керуванні під час уповільнення, коли машиніст закорочує ротор двигуна без витримки часу; в останньому випадку гальмівний момент двигуна буде меншим за необхідний, а тому частота обертання його ротора буде збільшуватися; 2) м'якість показників під час роботи на високих швидкостях з великим опором реостата в ланцюзі ротора.

Для усунення цих недоліків необхідно забезпечити збільшення струму збудження статора при зростанні струму в роторі, тобто компенсувати зростаючий магнітний потік ротора. Це робиться автоматично у функції частоти обертання ротора. Механічні характеристики виходять жорсткими і тому при зміні навантаження частота обертання двигуна змінюється у невеликих межах.

Динамічне гальмування дає можливість отримати будь-яке стійке значення частоти обертання в межах від 100% і приблизно до 1% номінальної, що дуже важливо при спуску людей та вантажів на знижених швидкостях.

Асинхронний двигун стосовно підйомних установок повинен задовольняти наступним вимогам: кратність максимального моменту по відношенню до номінального не менше 2,0...2,3; посилена ізоляція обмоток статора та ротора; міцність ротора має забезпечити можливість збільшення номінальної частоти обертання до 50%.

На підйомних установках застосовують асинхронні двигуни серії АК, АКН, ДАФ при напрузі 6 кВ.

Застосування одиночного асинхронного підйомного двигуна рекомендується за потужності до 1200 кВт. Це обмеження викликано труднощами у виготовленні пускорегулюючої апаратури потужних двигунів. При потужності асинхронного приводу до

2200 кВт застосовують два двигуни, що працюють на загальний вал підйомної машини.

При асинхронному електроприводі не може повна автоматизація роботи підйомних установок через м'які характеристики його, коли включені щаблі реостата.

З розвитком силової напівпровідникової техніки вдосконалення асинхронного приводу йде у напрямку застосування каскадних схем та частотного регулювання.

У системі асинхронно-вентильного каскаду (АВК) для плавного регулювання частоти обертання підйомного двигуна в обмотку ротора його вводиться проти з. д. с, узгоджена з напругою ротора по фазі та частоті. Джерелом проти-е. д. с. є інвертор на тиристорах, який рекуперує в мережу енергію ковзання ротора при регулюванні частоти обертання рухового режиму і в режимі динамічного гальмування.

Система АВК забезпечує плавне регулювання швидкості, економічніша порівняно з релейно-контакторною системою, але має більш високу вартість.

При частотному регулюванні асинхронного приводу частота обертання підйомного двигуна в періоди уповільнення та дотягування регулюється зміною частоти струму. З цією метою використовують регульовані тиристорні перетворювачі низької частоти.

Частотне регулювання забезпечує високу керованість, економічність та надійність асинхронного приводу.

Із застосуванням каскадних схем та частотного регулювання зростає надійність автоматичного керування асинхронним приводом.

5.6.2 Привід із двигуном постійного струму

Привід системи Р-Д (генератор-двигун), як показано на рис. 55 складається з підйомного двигуна постійного струму М2 з незалежним збудженням і перетворювальної групи, в яку входять двигун М1 (асинхронний або синхронний), генератор Г з незалежним збудженням для живлення двигуна М2, збудник, подає струм в обмотки збудження ОВПД двигуна М2 і ОВГ генератора Г. Крім того, на рис. 55 показані: ОВВ - обмотка збудження збудника; АУ - апарат управління, пов'язаний з рукояткою управління для зміни частоти та напрямки обертання; ВМ - масляний вимикач; ПМ - підйомна машина.

Перетворювальна група працює як під час підйомних операцій, і під час пауз між ними.

Обертальний момент двигуна пропорційний магнітному потоку Φ_d і току I_a в якорі. Частота обертання двигуна М2

$$n = \frac{E_g}{C_d \Phi_d} - \frac{I_a R_a}{C_d \Phi_d} \quad (170)$$

де E_g - е. д. с. генератора Р; $I_a R_a$ - падіння напруги в ланцюзі якорів М2 і Г; R_a - Опір ланцюга якорів; C_d - коефіцієнт, що залежить від конструкції обмоток і має постійне значення для даного двигуна.

З можливих способів регулювання частоти обертання двигуна постійного струму в системі Г-Д прийнятий найбільш досконалий та економічний, заснований на зміні е. д. з генератора Г.

Управління двигуном М2 проводиться за допомогою реостата апарату управління АУ зміною струму збудження генератора Г, що викликає зміну е. д. с. на щітках останнього, отже, і напруги на щітках двигуна М2.

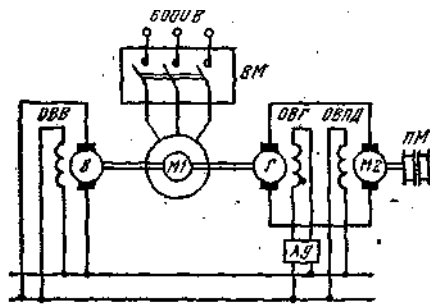


Рис. 55 - Принципова схема електроприводу

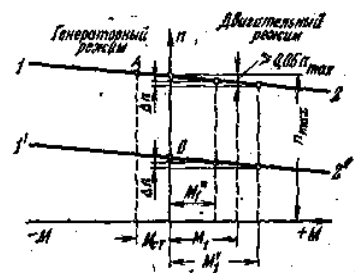


Рис. 56- Механічні характеристики системи Г-Д із двигуном постійного струму електроприводу із двигуном постійного струму

Зміна частоти обертання двигуна М2 пропорційно напрузі з його затискачах. Реверсування двигуна досягається перемиканням обмотки збудження генератора Г, що викликає зміну його полярності.

Перший член правої частини формули (170) визначається положенням рукоятки управління АУ, так як величина E_{Γ} залежить від струму в ланцюзі обмотки збудження ОВГ генератора Г. Другий член залежить від навантаження машини, так як струм I_{Δ} пропорційний моменту двигуна М2, що обертає.

Апарат управління має малі габарити, тому що він включений у ланцюг обмотки збудження генератора Г, де протікає порівняно невеликий струм.

Для зменшення розмірів апарату управління, що важливо при приводах великої потужності, застосовують квадратичну схему Г-Д, в якій є окремі збудники живлення для обмоток збудження генератора Г і двигуна М2. Апарат управління включається в ланцюг обмотки збудження генератора збудника Г.

Для поліпшення регульовальних властивостей приводу системи Д-Д застосовують електромашинний підсилювач (ЕМУ), що подає харчування на обмотку збудження генератора. Зміна величини напруги і полярності на затискачах цієї обмотки роблять зміною, величини та напрямки сили, що намагнічує, в ЕМУ.

Двигун. Механічна характеристика приводу підйомної установки в руховому режимі при повністю вимкненому реостаті апарату управління зобразиться прямою лінією 1-2 (рис. 56). Нахил цієї лінії залежить від другого члена правої частини виразу (170), який при нормальному навантаженні зазвичай менше 5% першого члена. При переміщенні рукоятки управління у бік включення реостата ланцюг обмотки збудження генератора механічні характеристики зобразяться паралельними лініями. Зміна крутного моменту двигуна від M_1' до M_1'' при будь-яких положеннях рукоятки управління викликає однаково незначну зміну частоти обертання на величину Δn (див. рис. 56). Механічні характеристики виходять жорсткими, зміна струму в ланцюгу якорів майже не впливає на частоту обертання двигуна. Частота обертання двигуна визначається тільки величиною струму в обмотці збудження генератора, тобто положенням рукоятки управління, що спрощує керування машиною.

Привід описуваної системи характеризується точним регулюванням і тому може виконати і прямолінійні, і криволінійні діаграми швидкості.

Генераторний режим. Під дією вантажу, що опускається, частота обертання двигуна збільшується і зростає е. д. с, що індуктується в його якорі. За певної частоти обертання е. д. с. двигуна E_{Δ} та е. д. с. генератора E_{Γ} стануть рівними і в ланцюзі їх якорів

$$I_{\Delta} = \frac{E_{\Gamma} - E_{\Delta}}{R_{\Delta}} \quad (171)$$

струм стане рівним нулю, а отже, і крутний момент дорівнюватиме нулю (точка 0 на. рис. 56). При подальшому збільшенні частоти обертання двигуна E_{Δ} стане більше E_{Γ} , тому

змінюється напрям струму в ланцюгу якорів, напрям магнітного потоку в обмотках збудження обох машин залишиться таким же, як і в руховому режимі. Тому розвивається двигуном момент спрямований проти обертання якоря, т. е. став гальмівним моментом. Двигун стає генератором, що обертається вантажем, що опускається, і віддає енергію генератору, який, ставши двигуном, розвиває крутний момент, що збігається з напрямком обертання свого якоря. Під дією цього моменту асинхронний двигун перетворювальної групи збільшує свою частоту обертання до переходу в генераторний режим, коли він розвине гальмівний момент, що дорівнює моменту генератора. При синхронному двигуні перетворювальної групи частота його обертання в генераторному режимі двигуна М2 не змінюється.

Механічні характеристики двигуна в генераторному режимі виходять продовженням характеристик рухового режиму. При спуску вантажу частота обертання, що встановилася, виходить такою, при якій гальмівний момент двигуна дорівнює крутному моменту, що створюється вантажем, що опускається (точка А на рис. 56). Завдяки жорсткості механічних характеристик частота обертання двигуна практично визначається положенням рукоятки керування та не залежить від навантаження. Залежно від положення рукоятки управління можна отримати необхідну швидкість, як у руховому, так і в генераторному режимі, тому спуск вантажу при гальмуванні генератора можна проводити з меншою швидкістю, ніж максимальна швидкість підйому.

У приводі системи Д-можливе порушення пропорційності між струмом збудження генератора і частотою обертання двигуна, причинами якого є реакція якорів, падіння напруги в якорях, залишковий магнетизм в полюсах генератора. Для однозначної залежності між положенням рукоятки керування та швидкістю підйому зазначені причини повинні усунутись.

Реакція якоря усувається застосуванням додаткових полюсів і компенсаційних обмоток у генераторі та двигуні, а падіння напруги — зсувом щіток щодо нейтралі. Для генератора при зсуві щіток у напрямку обертання виходить ослаблення основного магнітного потоку та навпаки.

Залишковий магнетизм спостерігається при встановленні рукоятки управління в середнє положення, коли в обмотці збудження ОВГ (див. рис. 55) генератора струм не протікає. Завдяки залишковому магнетизму в обмотці якоря генератора індуктується деяка е. д. с. і незагальмована машина продовжуватиме рухатися, а при включеному механічному гальмі в головному якорному ланцюзі протікає струм, який за величиною може досягти приблизно половини номінального. Для усунення залишкового магнетизму застосовується з'єднання, що самогасить. При установці рукоятки управління в середнє положення обмотка збудження ОВГ генератора Г, від'єднана від шин збудження, за допомогою апарату управління включається через запобіжники плавкі на затискачі якоря генератора, е. д. с. поля залишкового магнетизму створює в обмотці збудження струм, через що виникає магнітний потік, що гасить поле залишкового магнетизму.

Потужність $N_{\text{екв}}$ двигуна постійного струму, так само як і будь-якого електричного двигуна підйомної установки, визначається за еквівалентним моментом або зусиллям. Потужності генератора Г і двигуна М1 перетворювальної групи (з огляду на те, що вони при безперервному обертанні мають кращі умови охолодження) приймають рівними потужності підйомного двигуна. Потужність збудника зазвичай дорівнює 2,5% $N_{\text{екв}}$.

Привід системи Г-Д у порівнянні з асинхронним приводом має такі переваги; однозначна залежність між положенням рукоятки управління та швидкістю підйому, завдяки чому спрощується автоматизація установки; більш економічне регулювання швидкості; можливість безпосереднього з'єднання валу двигуна із валом органу навивки. Недоліком цього приводу є велика кількість електричних машин та велика його вартість.

Привід з керованим ртутним випрямлячем (система УРВ-Д) відрізняється від системи Г-Д тим, що тут замість машинної перетворювальної групи для живлення двигуна постійного струму застосовують більш простий ртутний випрямляч, що не має рухомих

елементів. Регулювання випрямленої напруги проводиться за допомогою сітки, що керується, вбудованої між анодом і катодом випрямляча.

Подальшим удосконаленням приводу із двигунами постійного струму є заміна машинних збудників тиристорними.

Інститутом ВНДІЕлектропривод стосовно рудничних підйомних установок з двигунами постійного струму розроблена система приводу тиристорний перетворювач - двигун (ТП-Д) з керованим випрямлячем на тиристорах. Порівняно з системами Р- Д та У РВ-Д система ТП-Д має переваги: менші габарити і маса, вищий к. п. д., простіше експлуатація, більш довговічна. Недоліком тиристорних перетворювачів є чутливість до перенапруг.

Привід із двигуном постійного струму рекомендується застосовувати за потужності понад 1200 кВт.

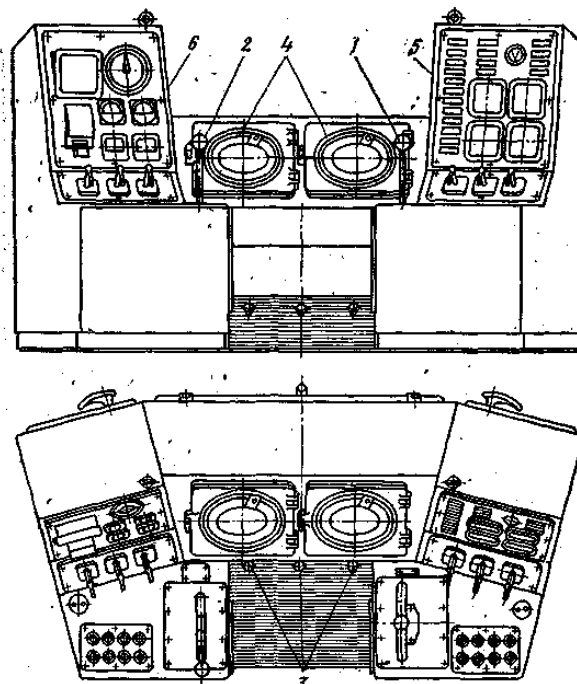
5.6.3. Пульт керування, пристрої для реверсування та регулювання швидкості

На пульті управління зосереджені апарати, що впливають на електропривід і гальмо в режимі місцевого управління, апаратура контролю експлуатаційних параметрів агрегатів підйомної установки, швидкості та місцезнаходження судин, сигналізації.

Пульт шахтного підйому ПШП призначений для місцевого та дистанційного керування підйомними установками при різних поєднаннях всіх типів підйомних машин та електроприводу. Функціями пульта є: операції управління розгоном та уповільненням підйомного двигуна та дистанційне керування гальмом за допомогою командоапаратів; візуальний консоль положення підйомних судин за допомогою сільсинового показника глибини; візуальний контроль та запис діаграми швидкості підйому; контроль навантаження на підйомний двигун; вимикання підйомної машини кнопкою в аварійних випадках; фіксація кодових сигналів керування; сигналізація про наявність напруги в головних і оперативних ланцюгах, про тиск у гальмівній системі, про стан основних вузлів і агрегатів установки (бункери, кулаки, майданчики, що коливаються); керування допоміжними приводами.

Пульт ПШП (рис. 57) має з підйомною машиною електричний зв'язок і може бути встановлений як у машинному залі, так і на приймальному майданчику. При дистанційному керуванні встановлюють пульти місцевого та дистанційного керування із взаємним блокуванням.

На пульті є рукоятки: права 1 - для керування двигуном підйомної машини, ліва 2 -



для керування гальмом.

Рис. 57 - Пульт управління ППП

Під ногами машиніста розташовані кнопкові пости 3 аварійної зупинки та включення динамічного гальмування. У центральній частині пульта розташовані два сельсинові показчики глибини 4, на правій 5 і лівій 6 тумбах - вимірювальні прилади, реєструючий таховольтметр, лічильники кодових сигналів та циклів підйому, годинник, манометри гальм, універсальні перемикачі.

Реверсори РВМ-150 та РВМ-400 (реверсори високовольтні малогабаритні) призначені для асинхронних двигунів фазним ротором потужністю відповідно до 1200 та 4000 кВт на напругу 6 кВ.

Реверсор РВМ (Рис. 58) має три малогабаритні триполюсні контактори з головними контактами, поміщеними в металевій шафі. Два контактори 1 (В і Н) необхідні для включення в мережу та реверсування двигуна і один контактор 2 (ДП) - для включення постійного струму при динамічному гальмуванні або низької частоти струму при автоматичному керуванні.

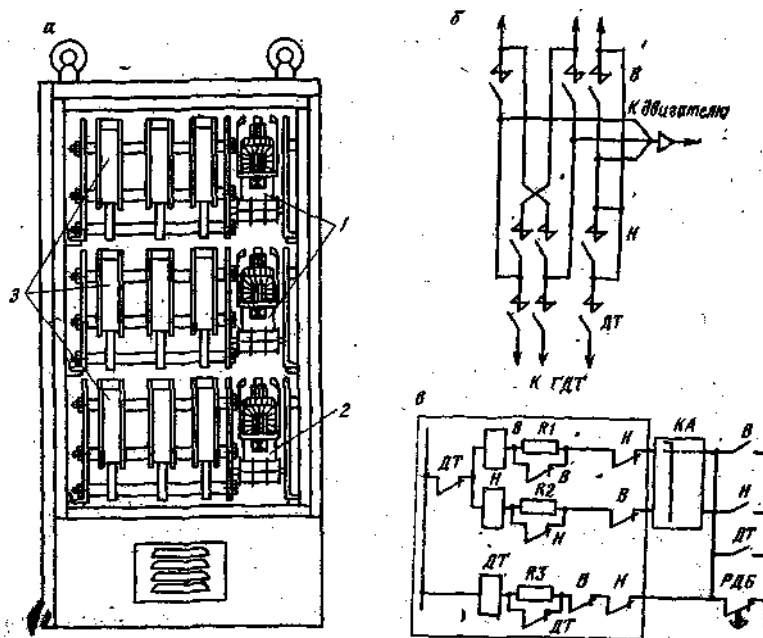


Рис. 58 - Реверсор РВМ: а - загальний вигляд; б - силовий ланцюг; в - ланцюги управління

Головні контакти контакторів розташовані в дугогасних камерах 3. У реверсорах РВМ застосовують високовольтні контактори з багаторазовими камерами гасіння дуги та магнітним дуванням.

Для усунення небезпеки одночасного включення двох контакторів, що призвело б до короткого замикання в реверсорі, реверсор забезпечений блокуванням, виконаним у вигляді блок-контактів котушок, Н і ДП. Однак таке блокування не виключає короткого замикання в реверсорі при дуже швидкому (менше 0,5 с) реверсуванні: контактор включається, коли, на контактах іншого, дуга, що тільки що відключився, ще не згасла. Для цього передбачається «дугове» блокування в ланцюзі котушок контакторів, що здійснюється реле часу РДБ. Контакт РДБ реле дугового блокування включений в ланцюг котушок контакторів, Н і ДТ, чим забезпечується необхідна для гасіння дуги витримка часу. Увімкнення реверсора здійснюється за допомогою контактів командоапарату КА.

Реостати, що застосовуються для регулювання швидкості асинхронних двигунів, бувають металеві та рідинні.

Металеві реостати збирають із ящиків опору ЯС із чавунними елементами або КФ зі спіралями фехралевої стрічки. Останні надійніші у роботі, оскільки фехраль не ламається при різких змін температури.

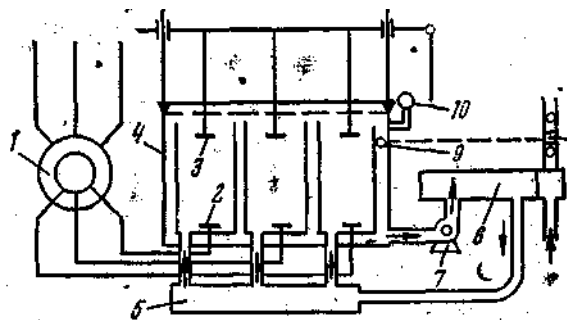


Рис. 59 - Схема рідинного реостату з рухомими електродами:
1 підйомний двигун; 2 і 3 - нерухомі та рухливі електроди реостату; 4 – бак; 5 - колектор; 6 - теплообмінник; 7 - насос; 8 - вентиль регулювання теплообміну; 9 - термоелемент; 10 - контроль рівня електроліту

Рідинні реостати бувають двох конструкцій: з нерухомими електродами при змінному рівні електроліту та з рухомими електродами при постійному рівні електроліту (рис. 59).

Для полегшення переміщення електродів та можливості застосування дистанційного та автоматичного керування використовується електричний або гідравлічний привід.

При застосуванні рідинного реостату можна отримати безліч характеристик двигуна, що дозволяє плавно змінювати крутний момент, розганяти двигун без зміни величини прискорення, тонко регулювати швидкість підйомних судин один і той же реостат в межах його потужності можна використовувати для широкого діапазону потужностей двигунів.

До недоліків рідинних реостатів відносяться: нестабільність їх опору, який залежить від температури та концентрації електроліту; випаровування електроліту.

Рідинні реостати виготовляються у нормальному (ЖРН) та у вибухобезпечному (ВЖР) виконаннях для двигунів потужністю відповідно до 2500 та 500 кВт.

Команди, пов'язані з рукояткою управління двигуном, є пристроями для включення і вимикання контакторних реверсорів і реостатів асинхронних двигунів. У середньому положенні рукоятки управління двигун знеструмлений і ланцюг ротора його введено весь опір реостата.

При переміщенні рукоятки в перше положення в напрямку «Вперед» статорна частина командоапарата КА (рис. 60) включає контактор реверсора, при цьому замикаються його контакти, і двигун М включається в мережу. При подальшому переміщенні рукоятки роторна частина командоапарата включає контактори К1, К2, К3, контакти яких у суворій послідовності шунтують щаблі R1, R2, R3 реостата; контактор К3 замикає ротор двигуна коротко.

Таблиця замикань контакторів командоапарату КА

Контактори	Вліво			0	Вправо		
	3	2	1		1	2	3
реверсора	В	Х	Х				
	Н				Х	Х	
реостата	К1	Х	Х				
	К2	Х	Х				
	К3	Х	Х				

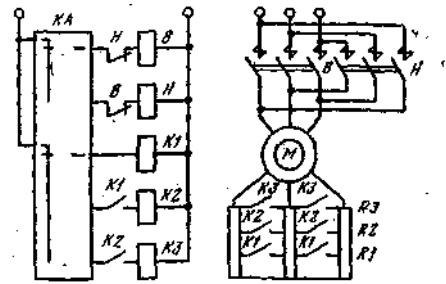


Рис. 60 - Схема контакторного керування реверсором та реостатом

Аналогічно за допомогою контактора Н відбувається керування двигуном при переміщенні рукоятки управління в напрямку «Назад». Блок-контакти В і Н необхідні для блокувань, що виключають можливість одночасного включення обох контакторів, а блок-контакти К1 і К2 не допускають одночасне включення двох і більше ступенів реостату.

В якості програмних і регулюючих апаратів у схемах керування електроприводом постійного струму системи Г-Д, регуляторів ходу, обмежувачів швидкості, динамічного гальмування, керування гальмами застосовують селісинові безконтактні командоапарати.

Безконтактні апарати в порівнянні з контактними більш досконалими відсутні контактні елементи в ланцюзі управління, забезпечуються безступінчасте плавне управління і висока надійність.

У схемах автоматичного управління підйомними машинами безконтактні командоапарати виконують з селісином, потенціалом-регулятором, що служить, або з індукційним датчиком кута повороту. Вторинна напруга на виході селісина (рис. 61) залежить від кута повороту між однофазною обмоткою збудження і електричною віссю двох фаз вторинної обмотки селісина. При $\varphi = 90^\circ$ однофазна напруга максимально а при $\varphi = 0^\circ$ воно дорівнює нулю. На цій залежності вихідної напруги від кута повороту ротора та засновано використання селісина як командоапарата управління. Напруга на виході селісина випрямляється мостом.

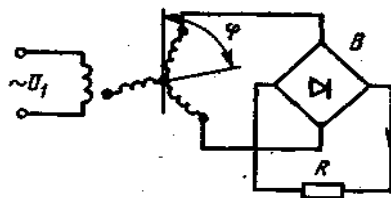


Рис. 61 - Схема командного апарату селісину

Станції управління підйомних машин є відкритими панелями з ізоляційних плит, на яких змонтовані контактори, реле і допоміжна апаратура. Випускаються станції рейкового виконання (без ізоляційних плит). Рейкові станції управління мають ряд переваг: хорошу оглядовість з будь-якого боку; можливістю швидкої заміни апарату, що вийшов з ладу; меншою масою на 25...30 % порівняно зі станціями з плит; значно простішим виготовленням. Станції керування машин з асинхронним приводом поділяються на статорні, роторні та динамічного гальмування.