

ПАВЛОВ
Владислав
Олександр
ович

Модернізація електромеханічного проф.
обладнання компресорної станції в Титюк
умовах цеху ГЗП-4 ПАТ «ЦГЗК» В.К.

ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

Розділ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ОБ'ЄКТУ ТА ЙОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

1.1 Ротаційні компресори

Ротаційні компресори застосовують при низькому тиску (двоступеневі до 1 МПа), при малій і середній продуктивності. За конструктивними ознаками ротаційні компресори поділяють на пластинчасті і гвинтові. У пластинчастих машинах ротор знаходиться в циліндрі компресора ексцентрично відносно циліндра так, що він ледь не дотикається в одному місці стінки циліндра. У роторі вифрезеровано радіальні або під кутом до радіусу глибокі пази. У них рухаються пластини, що розділяють серповидно простір між ротором і корпусом на кілька частин. Відцентровою силою пластини при обертанні ротора притискаються до стінки циліндрів. Камера або осердя, що знаходиться напроти отвору, через який всмоктується повітря, має найбільший обсяг. При обертанні ротора камера виходить з контакту зі всмоктуючим отвором і обсяг її починає зменшуватися, настає поступове стиснення повітря (таке ж, як у компресора зі зворотно-поступальним рухом поршня) і далі нагнітання.

Перевагами пластинчастих компресорів є: рівномірний обертаючий момент, що виключає використання маховика, відносно мала маса, відсутність механічних коливань, масивного фундаменту, всмоктуючих і в більшості випадків нагнітальних клапанів, невеликий «шкідливий» простір. Недоліками їх є: великі втрати на тертя і значні втрати внаслідок нещільності, що видається

в деяких випадках при роботі сильний шум високого тону, великий знос деталей і вимагається при їх виготовленні висока точність.

У порівнянні з відцентровими компресорами вони мають відносно високий К.К.Д. при малій подачі. У сучасних конструкціях пластинчастих компресорів зі сталевими пластинами передбачені чавунні розвантажувальні кільця, що обертаються разом з пластинами, трохи меншого діаметру, ніж циліндр. Кільця сприймають відцентрові зусилля від пластин і забезпечують невеликий зазор між пластиною і стінкою циліндра. При відсутності кілець

відбувається значний знос пластин в місці зіткнення їх з циліндром. Для запобігання перетікання стиснутого повітря через розвантажувальні кільця на зовнішній поверхні кілець є канавки (від 15 до 30) з вкладеними невеликими пластинками, відцентрові зусилля від яких і знос, невеликі.

Коефіцієнти подачі і продуктивності пластинчастих компресорів залежать від збереження мінімальних зазорів між ротором з пластинами і циліндром з його кришками, особливо при великих відносинах тисків. Тому слід приділяти особливу увагу температурних деформацій, а також точності виготовлення і обмеження виникають внаслідок зносу зазорів.

Подальшим щаблем розвитку двороторних компресорів є гвинтові компресори. Їх ротори мають форму зубчатих коліс зі спіральним зубом з великим кроком нахилу спіралі. На відміну від пластинчастих компресорів повітря в них стискається поступово. Перший ротор має три-чотири зуби, другий - чотири-п'ять чи шість порожніх виїмок профілю, відповідаючого профілю зубів першого ротора. Профіль зуба асиметричний, складається з двох кривих або утворений дугою кола. У сучасних компресорів обидва ротора мають рівні зовнішні діаметри, зуби їх взаємно не стикаються, вали з'єднуються двома синхронізуючими шестернями з косими зубами. Зазор між зубами шестерень менше, ніж між зубами роторів. Відношення чисел їх зубів дорівнює відношенню чисел зубів роторів. Зубчасті колеса передають лише невеликий момент обертання (максимум 10% від моменту приводу).

Робочий цикл гвинтового компресора має наступні фази.

1. Всмоктування. На торці ротора, що має внизу всмоктувальний отвір, виступи ротора при обертанні виходять з западини, розходяться і в утворену щілину через отвір засмоктується повітря. При подальшому обертанні ротора простір між зубами збільшується до тих пір, поки у протилежного торця зуби не вийдуть із зачеплення.

Далі зв'язок простору каналу між зубами з всмоктуючим отвором припиняється і повітря без зміни тиску (якщо знехтувати витоками через нещільності) передається на верхню частину, де в западину між зубами першого ротора починає входити зуб другого ротора.

2. Стиснення. Зуб входить з торцевого боку всмоктуючого отвору і далі переміщується вздовж каналу ротора, утвореного зубами другого ротора, в результаті чого відбувається стиснення повітря, що знаходиться в осередку.

3. Нагнітання. Після з'єднання каналу між зубами з початком нагнітального отвору, що знаходиться в циліндричній та торцевій частинах корпусу, відбувається нагнітання з поступовим зменшенням обсягу в каналі. Очевидно, що якщо зміниться відношення тисків, то будуть додаткові втрати роботи. Частота обертання у гвинтових компресорів дуже висока. Ці компресори виникли для подачі стисненого повітря в газову турбіну і мали привод безпосередньо від турбіни. Невеликі компресори мають частоту обертання до 12000 хв^{-1} , великі - близько 6000 хв^{-1} , окружна швидкість на зовнішньому діаметрі зуба при цьому становить $50-100 \text{ м/с}$ і навіть більше. При такій високій швидкості компресори мають невеликі розміри і малу масу. Однак швидкість не настільки велика, щоб потрібні були спеціальні матеріали - ротор виконують зі звичайної вуглецевої сталі. Коефіцієнт продуктивності і адіабатичний ККД досягають дуже високих значень.

Гвинтові компресори при тиску нагнітання до $0,3 \text{ МПа}$ виготовляють одноступінчастими продуктивністю $0,05-4 \text{ м}^3/\text{с}$, при тиску нагнітання $0,7-1,0 \text{ МПа}$ -двоступінчастими.

Потужність холостого ходу гвинтових компресорів невелика. Перевагою цих машин є наявність дуже пологої кривої залежності адіабатичного К.К.Д. від

частоти обертання, це пояснюється тим, що вплив нещільностей зі зростанням частоти обертання падає, в той же час механічні і гідравлічні втрати зростають.

Гвинтові компресори вимагають дуже точної обробки. При діаметрах роторів 100-500 мм зазори між зубами роторів, між вершиною зуба і стінкою циліндра, а також між торцями ротора і кришкою циліндра знаходяться в межах 1,0-0,5 мм. Ротори мають внутрішнє водяне або масляне охолодження. Охолоджуюча рідина підводиться через отвір вала, що зменшує зазор на початку роботи. У робочому просторі компресора відсутній контакт металу по металу, тому виключаються мастило і забруднення стисненого повітря, що дозволяє використовувати такі компресори при пневматичному транспорті сипучих речовин і при стисненні повітря.

Гвинтові компресори мають ще ряд переваг, такі як економія масла, відсутність зносу циліндра, спокійний хід, простота пристрою і дуже малий фундамент (в деяких випадках він взагалі відсутній). При достатній амортизації та звуковій ізоляції гвинтові компресори можуть розміщуватися на верхніх поверхах будівель. Недоліком гвинтових компресорів є викликаний перервами всмоктування і нагнітання повітря шум високої частоти.

Для зменшення шуму в нагнітальному і всмоктуючому трубопроводах поблизу машини встановлюються глушники, відрегульовані на відповідну частоту коливань. В залежності від частоти обертання і числа зубів ротора частоти власних коливань становлять 200-1500 Гц. Поряд з цим є значно більш слабкі коливання вищих порядків.

1.2 Продуктивність і потужність

Об'ємна продуктивність гвинтового компресора дорівнює сумі обсягів порожнин, заповнених газом, поданим в одиницю часу. При відсутності втрат повітря компресор мав би теоретичну подачу, яка визначалася б геометричними розмірами гвинтів і частотою обертання. Але так як втрати подачі завжди мають місце, то дійсна продуктивність компресора менше теоретичної.

Для кожного окремо взятого гвинта обсяги всіх його порожнин між зубами, обмеженими зовнішньої циліндричної поверхнею, однакові. Якщо повна

площа однієї западини між зубами гвинта в торцевому перетині f_{Π} , то обсяг порожнини на довжині dz уздовж осі гвинта $dv = f_{\Pi} dz$, а повний обсяг порожнини на довжині гвинта l

$$V = \int_0^l f_{\Pi} dz = f_{\Pi} l, \quad (1.1)$$

так як площа f_{Π} має постійне значення по довжині гвинта.

Теоретична продуктивність компресора дорівнюватиме сумі продуктивностей ведучого і веденого гвинтів:

$$V_{T1} = \tau_1 n_1 V_{01}; V_{T2} = \tau_2 n_2 V_{02}, \quad (1.2)$$

де V_{01} і V_{02} - об'єм однієї порожнини гвинтів відповідно ведучого і веденого; n_1 і n_2 - частота обертання гвинтів відповідно ведучого і веденого; m_1 і m_2 - число зубів гвинтів відповідно ведучого і веденого.

Теоретична об'ємна продуктивність компресора може бути представлена з урахуванням формули (1.1) таким чином: $V_T = \tau_1 f_{1\Pi} n_1 l + m_2 n_2 f_{2\Pi} l$, але так як $\tau_1 n_1 = \tau_2 n_2 = \tau n$, то

$$V_T = l m n (f_{1\Pi} + f_{2\Pi}). \quad (1.3)$$

Площі западин $f_{1\Pi}$ і $f_{2\Pi}$ в практичних розрахунках знаходяться аналітично і рідше визначаються планіметриванням.

Ступінь використання діаметрального габариту гвинта характеризується відношенням сумарної площі западин (живого перерізу) в торцевому перетині гвинта $f_{\Pi m}$ до площі кола, обмеженого зовнішнім колом гвинта. Назвемо це відношення коефіцієнтом корисної площі торцевого перетину гвинта Ω .

Тоді для ведучого гвинта

$$\Omega_1 = \frac{4 f_{1\Pi} m_1}{\pi \cdot d_1^2}, \quad (1.4)$$

для веденого гвинта

$$\Omega_2 = \frac{4f_{2i} m_2}{\pi \cdot d_2^2}, \quad (1.5)$$

де d_1 і d_2 - зовнішній діаметр гвинта відповідно ведучого і веденого.

Підставляючи $f_{1П}$ і $f_{2П}$ з формул (1.3) і (1.4) в (1.2), отримуємо формулу для визначення теоретичної об'ємної продуктивності гвинтового компресора (м³/с), віднесену до умов всмоктування,

$$V_T = \frac{\pi}{4} n_1 l \cdot (\Omega_1 d_1^2 + i_{21} \Omega_2 d_2^2), \quad (1.6)$$

де i_{21} - передавальне число (лінійні розміри підставляються в метрах).

Таким чином, для визначення продуктивності компресора, крім основних габаритів і частоти обертання гвинтів, необхідно знати ще й коефіцієнти корисної площі торцевого перетину гвинтів.

Дійсна об'ємна продуктивність компресора, віднесена до умов всмоктування, дорівнює добутку теоретичної об'ємної продуктивності на коефіцієнт продуктивності, $V_B = V_T \lambda$, де λ - коефіцієнт продуктивності гвинтового компресора.

Дійсна продуктивність гвинтового компресора буде менше на величину протікання повітря через нещільності.

Гвинтові компресори можуть розвивати продуктивність від 0,06 до 7,0 м³/с при кінцевому тиску 0,3 МПа (для одноступінчатого компресора) і до 1,0 МПа (для двоступінчатого компресора) при частоті обертання ротора 50-200 с⁻¹.

Тиск повітря в кінці стиснення в гвинтовому каналі не залежить від тиску в нагнітальному патрубку і визначається тільки конструкцією роторів і розташуванням вихлопного вікна.

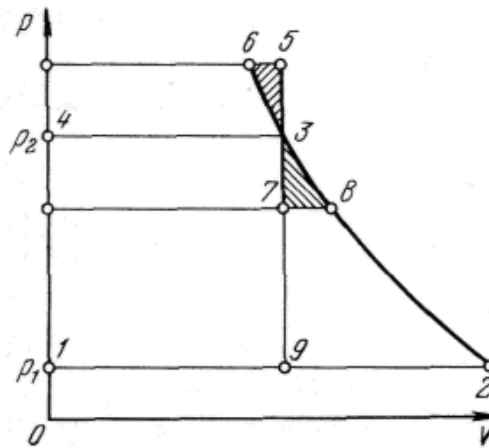


Рис. 1.2 - Діаграма гвинтового компресора

На рис. 1.2 показана залежність тиску повітря p в одній з порожнин компресора від її обсягу V , де позначено: 1-2 - всмоктування; 2-3 - стиснення; 3-4 - виштовхування стисненого повітря. Ця діаграма відповідає періоду, коли тиск в порожнині в момент з'єднання її з вихлопним вікном дорівнює тиску повітря в нагнітальному патрубку. Якщо тиск в нагнітальному патрубку вище номінального, то перед виштовхуванням відбувається ізохорне дожимання повітря в порожнині за рахунок зворотного потоку стисненого повітря з нагнітального трубопроводу (лінія 3-5). При цьому робота гвинтового компресора при тій же мірі підвищення тиску буде більше, ніж робота поршневого компресора з клапанним повітророзподільником, на величину площі 3-5-6-3.

Якщо тиск в нагнітальному патрубку нижче номінального, то на початку виштовхування відбувається ізохорне розширення повітря з порожнини (лінія 3-7) і робота гвинтового компресора буде перевищувати роботу поршневого на величину площі 3-7-8-3. Коли гвинтовий компресор працює на вихлоп (в атмосферу), робота визначається площею 2-3-9-2.

1.3 Регулювання продуктивності ротаційних компресорів

Надійна і безпечна експлуатація ротаційних компресорів в значній мірі визначається системою регулювання.

Регулювання продуктивності ротаційних компресорів здійснюється різними способами в залежності від виду привода компресора.

1. Регулювання зміною частоти обертання є найекономічнішим. Для регулювання ротаційних компресорів таким способом характерна полого крива адіабатичного К.К.Д. зі зміною в широкому діапазоні частоти обертання, оскільки відносне зростання втрат від нещільності при падінні частоти обертання в значній мірі компенсується зменшенням гідродинамічних втрат.

2. Регулювання зупинками і пусками застосовується для малих компресорів, обладнаних електродвигунами з короткозамкненими роторами. Електродвигун компресора зупиняється і включається автоматично регулятором тиску. Швидкі зміни температур окремих частин компресора, що виникають при частих пусках і зупинках, викликають збільшення зазорів, що небажано.

3. Регулювання зміною ефективної довжини гвинтів, що застосовується для малих і середніх компресорів, є простим і економічним. Ефективність такого способу підвищується при здійсненні ще й регулювання якості режиму роботи гвинтового компресора. Суть даного способу полягає в наступному. У місці перетину розточень корпусу під гвинти розташовується золотник, який має свободу переміщення уздовж осі гвинтів. При перевищенні тиску нагнітання встановленої величини спрацьовує клапан тиску, золотник переміщується в бік вікна нагнітання і частина порожнини стиснення з'єднується з атмосферою або вікном всмоктування. Тому частина всмоктуваного повітря випускається в атмосферу (в камеру всмоктування), а початок процесу стиснення переміщається в сторону нагнітання.

4. При регулюванні перепускним клапаном частина повітря з компресора ще до початку процесу стиснення випускається в камеру всмоктування за допомогою клапана, встановленого на корпусі компресора. Клапан відкривається при перевищенні тиску повітря на нагнітанні компресора номінальної величини. Цим способом можна знизити продуктивність компресора до 40%.

5. Регулювання закриванням всмоктуючого патрубку часто застосовується для компресорів середньої продуктивності. При такому способі регулювання компресорна станція повинна мати повітрярозбірник, обсяг якого значно менше обсягу,

необхідного при регулюванні зупинками і пусками, оскільки число включень регулювання може бути значно більше.

6. При регулюванні дроселюванням потоку повітря на всмоктуванні продуктивність компресора змінюється плавно, тому динамічні навантаження на напіvmуфти і привід менше, ніж при регулюванні закриванням всмоктуючого патрубкa. Даний спосіб регулювання дещо економічніше попереднього, однак зі збільшенням глибини регулювання економічність його знижується.

7. При регулюванні зміщенням граней всмоктувальних вікон проти напрямку руху ротора зменшується кількість всмоктуваного повітря. Такий спосіб регулювання дещо економічніше регулювання дроселюванням потоку повітря на всмоктуванні, проте система регулювання в конструктивному відношенні складніше, тому він застосовується рідко.

8. Комбіноване регулювання зміною частоти обертання приводу компресора і дроселюванням потоку повітря на всмоктуванні часто застосовують на практиці.

Зазвичай при такому способі регулювання продуктивності на 20-40% здійснюється зміною частоти обертання, а більш глибоке регулювання - дроселюванням.

Регульовані електродвигуни, зокрема, частотні перетворювачі, дозволяють досягти важливої економії енергії, зниження експлуатаційних витрат і витрат на технічне обслуговування. Частотні перетворювачі входять до складу різних технологічних ліній і систем. Регулятори нового покоління набагато компактніше і більш надійні, ніж будь-які їхні замінники. При прийнятті рішення про доцільність їх впровадження частотні перетворювачі додатково забезпечують наступне: знижується спрацьовування комутаційної апаратури, так як її перемикання відбувається за відсутності струму; двигуни працюють при оптимальному навантаженні, не допускаючи їх перенавантаження, підвищуючи тим самим надійність; зменшується небезпека аварій за рахунок виключення динамічних ударів; знижується зношування підшипників двигуна, за рахунок плавної зміни числа оборотів, відсутність

великих пускових струмів, забезпечення копіювання параметрів ПЧ в пульт і назад, що робить зручним передачу параметрів.

Тому в якості системи управління приводним двигуном гвинтового компресора приймемо частотне управління, закон якого узгоджений з законом зміни статичного навантаження від швидкості.

1.4 Компресор 6BB-20/9M1

Призначення: постачання стисненим повітрям пневматичних систем та інструментів.

Компресор 6BB-20/9 M1 є гвинтовим і поставляються у вигляді повністю комплектного агрегату, змонтованого на єдиній рамі.

Компресор 6BB-20/9 з успіхом застосовуватися замість застарілих і зношених поршневих машин. Кожен компресор 6BB-20/9 випробовується під навантаженням на заводських стендах. Компресори марки HBE і з індексом M1 мають повітряне охолодження.

Таблиця 1.1 - Характеристики компресора 6BB-20/9 M1.

Тип компресора	6BB-20/9M1
Кліматичне виконання	УХЛ4
Номінальна продуктивність, м ³ /хв.	20
Тиск нагнітання надлишковий, кГс/см ²	8
Потужність електродвигуна, кВт	160
Напруга живлення електродвигуна, В	380
Частота обертання електродвигуна, об/хв.	3000
Охолодження масла та повітря	Повітряне
Кількість тепла, що виділяється блоком повітряного охолодження, кВт	95
Вміст масла в стиснутому повітрі, мГ/м ³	1
Витрата масла на винесення, г/год, не більше	30
Температура повітря на всмоктуванні (з приміщення), °С	-40...+40
Температура повітря кінцева на розрахунковому номінальному режимі, °С	45
Маса установки, кг	3800
Габарити: довжина, ширина, висота (мм)	3200x1600x2040

Компрессоры 6ВВ-20/9 М1 с повітряним охолодженням використовують для стиснення атмосферного повітря.



Рис. 1.3 - Зовнішній вигляд компресора 6ВВ-20/9М1

1.5 Вибір електродвигуна

Розрахуємо потужність двигун для компресора за формулою:

$$P = \frac{k_3 \cdot Q \cdot A}{1000 \cdot \eta_k \cdot \eta_n}, \text{ кВт} \quad (1.7)$$

де Q - продуктивність компресора, $\text{м}^3/\text{с}$

$$Q = 20 \text{ м}^3/\text{хв} = 20/60 \text{ м}^3/\text{с} \quad k_3 = (1,1 \div 1,2)$$

η_k – к.к.д. компресора (приймається рівним $0,6 \div 0,8$)

η_n – к.к.д. передачі $\eta_n = 0,97$

A – робота, яка витрачується на стиснення 1 м^3 повітря до заданих робочих тисків, Па

За таблицею робота, яка витрачується на стиснення 1 м^3 повітря до заданих робочих тисків $8 \text{ кгс}/\text{см}^2 = 8 \cdot 0,981 \cdot 10^5 \text{ Па} \approx 7,9 \cdot 10^5 \text{ Па}$ рівна $242000 \text{ Дж}/\text{м}^3$.

$$P = \frac{1,2 \cdot 20 \cdot 242000}{1000 \cdot 0,7 \cdot 0,97 \cdot 60} = 142,56 \text{ кВт}$$

В якості приводного двигуна для компресора 6BB-20/9 M1. використовується асинхронний короткозамкнений двигун АЗ-315S-2УЗ, який підходить по потужності і забезпечує необхідну швидкість обертання вала.

Паспортні дані приводного двигуна:

Тип	АЗ-315S-2УЗ
Номінальна потужність, кВт	160
Номінальна напруга, В	220/380
Схема з'єднання обмоток	Δ / Y
Номінальна швидкість, об / хв	2965
Номінальна ковзання, %	1.1
Номінальний струм, А	300
Номінальний к.к.д.	0.94
Номінальний коефіцієнт потужності	0.9
Кратність максимального моменту	2.1
Кратність пускового моменту	1.0
Кратність пускового струму	6.0

1.6 Вибір частотного перетворювача

Принципова можливість регулювання кутової швидкості асинхронного двигуна зміною частоти напруги живлення впливає з формули $\omega = 2\pi f (1-s) / p$. При регулюванні частоти також виникає необхідність регулювання амплітуди напруги джерела, що впливає з виразу $U \approx E = k\Phi f$. Якщо при незмінній напрузі змінювати частоту, то потік буде змінюватися обернено пропорційно частоті. Так, при зменшенні частоти потік зростає, і це призведе до насичення стали машини і як наслідок до різкого збільшення струму і перевищення температури двигуна; при збільшенні частоти потік зменшуватиметься і як наслідок буде зменшуватися допустимий момент.

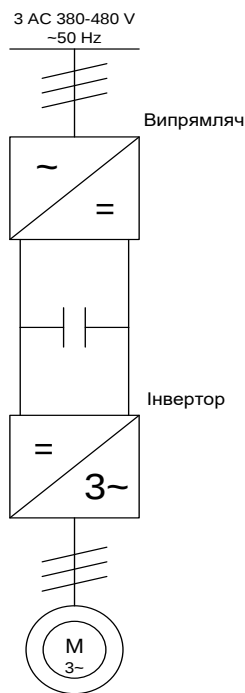


Рисунок 1.4 - Структурна схема перетворювача частоти

Для найкращого використання асинхронного двигуна при регулюванні кутової швидкості зміною частоти необхідно регулювати напругу одночасно в функції частоти і навантаження, що реалізовується тільки в замкнутих системах електроприводу. У розімкнутих системах напруга регулюється лише в функції частоти по деякому закону, залежному від виду навантаження.

З усіх можливих способів регулювання цей спосіб дозволяє плавно змінювати кутову швидкість в найбільш широкому діапазоні (до 10: 1, а іноді і більше). Для його здійснення потрібно, щоб двигун (або група двигунів) отримував живлення від окремого джерела. В якості такого джерела можуть бути використані електро-механічні або статичні перетворювачі частоти. У зв'язку з розвитком напівпровідникової техніки в даний час найбільш переважними є напівпровідникові статичні перетворювачі фірми АВВ.

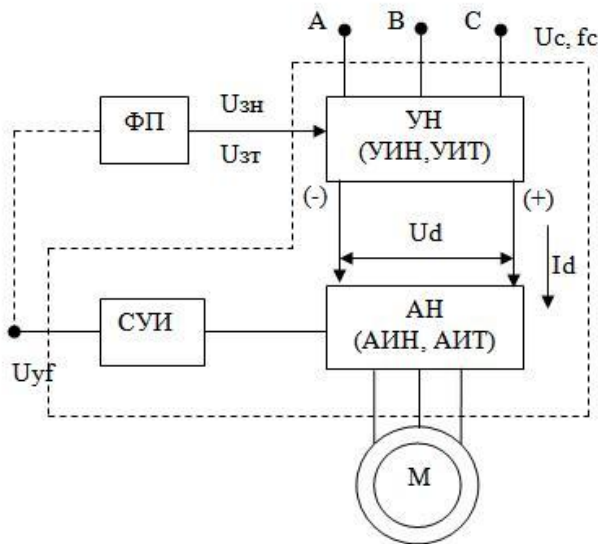


Рисунок 1.5 - Принципова схема інвертора ПЧ – АД

УВП - керуючий джерело напруги;

УІТ - керуючий джерело струму.

УІ - керуючий джерело;

АІ - автономний інвертор.

ФП - функціональний перетворювач

Компактні перетворювачі частоти ABB серії ACS перекривають діапазон потужностей 0,55 кВт - 1,5 МВт для трифазних напруг 200/400/500/690 В. Перетворювачі частоти ABB задовольняють найжорсткішим вимогам директивам електромагнітної сумісності, встановлених ЄС. Висока перешкодостійкість і невелике випромінювання електромагнітних перешкод досягнуті за рахунок спеціальної оболонки, вбудованого дроселя змінного струму, фільтра радіочастотних перешкод, а також інших технічних рішень. Вхідний дросель знижує також рівень вищих гармонік, що генеруються перетворювачем частоти в живильну мережу. Сучасна технологія векторного керування без датчиків зворотного зв'язку по швидкості, швидкодіючий інтегрований ланцюг управління, а також безпосереднє вимірювання струму в трьох фазах гарантують якісне управління електродвигуном і адаптованість перетворювача частоти навіть до найскладніших умов застосування. З іншого боку, завдяки докладним посібникам, зручною панелі управління і спеціалізованим

програмним продуктам для персонального комп'ютера робота з перетворювачами частоти АВВ у всіх випадках не становить труднощів.

- Перетворювачі частоти АВВ орієнтовані на світовий ринок. Вони виготовляються відповідно до європейських норм, фахівцями з високою кваліфікацією і багатим виробничим досвідом.

- Висока якість забезпечує вибором найкращих технічних рішень і комплектуючих.

- Кожен перетворювач частоти піддається вихідного контролю і випробуванням в граничних умовах експлуатації.

- До кожного перетворювача частоти додається акт випробувань.

- Перетворювача мають різноманітні функції.

- Передбачається блокування параметрів, що підвищує безпеку виробу під час експлуатації.

- Розрахунковий термін служби перетворювача частоти — більш 500.000 годин.

Термін служби в граничних умовах експлуатації (100% навантаження, максимальна температура навколишнього середовища, безперервна робота протягом 24 годин повну тиждень) становить 50.000 годин.

Перетворювачі частоти АВВ мають малі габарити і легко вбудовується в різні системи.

Побудовані за блочно-модульним принципом макропрограми полегшують введення в експлуатацію перетворювача частоти на різних об'єктах. Крім базової макропрограми в розпорядженні користувача є:

- Стандартна макропрограми.
- макропрограми "Місцеве / дистанційне управління".
- макропрограми з набором фіксованих швидкостей.
- макропрограми з ПІ-регулюванням.
- Універсальна макропрограми.

- макропрограми управління насосами і вентиляторами (з функцією вирівнювання моторесурсу агрегатів).

Перетворювачі частоти АВВ відрізняються великою простотою в експлуатації.

- Детальні керівництва російською мовою, а також більш ніж на 20 мовах.
- Завдяки макропрограми кількість параметрів настройки зведено до мінімуму.

- Спеціалізовані програмні продукти та керівництва можна отримувати з Інтернету.

- Прості в експлуатації панелі управління (стандартні, буквено-цифрові, графічні).

- Попередньо встановлено основних параметрів: досить ввести в перетворювач частоти дані двигуна, зазначені в заводській бирці; інше АВВ зробить сам.

- Зручні приєднання ланцюгів вводу-виводу, роз'ємні клемники.

- Вихід RS232C для персонального комп'ютера.

- Мережеві адаптери для всіх локальних промислових мереж.

Всі ці переваги роблять перетворювач частоти АВВ зручним і надійним в експлуатації і надають необмежені можливості в регулюванні швидкості різних виробничих механізмів, в нашому випадку, гвинтового компресора.

В межах одного діапазону напруги вказані значення струмів залишаються незмінними не залежно від напруги живлення. Для забезпечення номінальної потужності електродвигуна, зазначеної в цій таблиці, номінальний струм перетворювача АСх 60х повинен бути більше або дорівнює номінальному струму електродвигуна.

Примітка 1. Максимально допустима потужність на валу електродвигуна обмежена значенням $1,5 \cdot P_{hd}$. У разі перевищення цієї межі автоматично

обмежуються крутний момент електродвигуна і 2/15-секундний ток I_{2hdmax} . Ця функція захищає від перевантаження вхідний міст перетворювача ACS 600.

Таблиця 2.1 - Технічні характеристики перетворювача ACS 604-0210-3

Звичайне використання				Використання у важкому режимі						Типо- розмір шасі
Робочий цикл 1/5 хв		S _N [кВА]	P _N [кВт]	Робочий цикл 1/5 хв		Робочий цикл 2/15 с		S _{hd} [кВА]	P _{hd} [кВт]	
I _{2N} 4/5хв [А]	I _{2Nmax} 1/5хв [А]			I _{2hd} 4/5 хв [А]	I _{2hdmax} 1/5хв [А]	I _{2hd} 13/1 5с [А]	I _{2hdma} x 2/15с [А]			
316	348			210	160	260	390			

Примітка 2. Навантажувальна здатність перетворювача (за струмом і потужності) знижується при установці на висоті більше 1000 м над рівнем моря або, якщо температура навколишнього повітря перевищує 40 ° С (або 35 ° С для агрегатів АСх 60х-0120-03 і АСх 60х-0140-05 , що використовуються для приводу насосів і вентиляторів).

Примітка 3. Наведені характеристики не відносяться до випадку використання перетворювачів для приводу насосів і вентиляторів при наявності фільтрів du/dt. Фільтри du/dt Обачного встановлюються на виході перетворювачів, розрахованих на напругу від 525 до 690 В і призначених для живлення електродвигунів з всипною обмоткою. Для електродвигунів з шаблонної обмоткою такі фільтри, як правило, не потрібні.

Звичайне використання (перевантажувальна здатність 10%):

I_{2N} - номінальний вихідний струм (ефективне значення);

I_{2Nmax} - струм перевантаження (ефективне значення, допускається протягом 1 хв з періодом 5 хв);

S_N - номінальна удавана вихідна потужність;

P_N - типова потужність електродвигуна.

Використання у важкому режимі (перевантажувальна здатність 50 або 100%):

I_{2hd} - номінальний вихідний струм (ефективне значення);

I_{2hdmax} - струм перевантаження (ефективне значення, допускається протягом 1 хв з періодом 5 хв або протягом 2с з періодом 15с);

Shd - номінальна удавана вихідна потужність;

Phd - типова потужність електродвигуна.

Підключення електромережі

Напруга (U_1): трифазна напруга 380/400/415В $\pm$ 10%

Стійкість до короткого замикання: Номінальний короткочасний струм, який витримує перетворювачем АСх 600 протягом 1 с, становить 50 кА.

Вимірювання характеристик перетворювачів (до 400 кВА) виконується відповідно до стандартів США і застосовні при живленні від мережі, здатної подавати симетричний струм не більше 65 кА еф. при напрузі не більше 480 В (агрегати на 500 В) і при напрузі не більше 600 В (агрегати на 690 В).

Частота: від 48 до 63 Гц, максимальна швидкість зміни 17% / с

Асиметрія: Не більше $\pm$ 3% від номінальної міжфазної вхідної напруги.

Основний коефіцієнт потужності ($\cos\phi_1$): 0,97 (при номінальному навантаженні).

Підключення електродвигуна

Напруга (U_2): від 0 до U_1 , трифазне симетричне

Частота: режим DTC (пряме управління крутним моментом): від 0 до $3,2 \cdot f_{FWP}$. Максимальна частота 300 Гц.

$$f_{FWP} = (U_{N \text{ мережі}} / U_{N \text{ двигуна}}) \cdot f_{N \text{ двигуна}} \quad (2.1)$$

f_{FWP} - частота в точці ослаблення поля;

$U_{N \text{ мережі}}$ - напруга мережі (вхідний харчування);

$U_{N \text{ двигуна}}$ - номінальна напруга електродвигуна;

$f_{N \text{ двигуна}}$ - номінальна частота електродвигуна.

Режим скалярного управління: від 0 до 300 Гц

З фільтром du/dt (режими DTC і скалярного управління): від 0 до 120 Гц

Дискретність управління частотою: 0,01 Гц

Гранична потужність: $1,5 \cdot Phd$

Ток відключення при перевантаженні: $3,5 \cdot I_{2hd}$

Точка ослаблення поля: від 8 до 300 Гц

Частота комутації: 3 кГц (середня).

Рекомендована максимальна довжина кабелю електродвигуна: 300 м.

Підшипники електродвигунів потужністю понад 90 кВт: на стороні, протилежній підключеного обладнання, рекомендується застосовувати ізольовані підшипники.

Коефіцієнт корисної дії і спосіб охолодження.

Коефіцієнт корисної дії: приблизно 98% при номінальному рівні потужності.

Спосіб охолодження: внутрішній вентилятор з напрямком потоку знизу вгору.

Розділ 2 ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ТА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

2.1 Розрахунок електричних навантажень

Розрахунок електричних навантажень проводиться за допомогою методу коефіцієнту максимуму. Підраховуємо загальну потужність споживачів власних потреб підстанції ГЗП-4. Результати зводимо до таблиці 2.1.

Сумарна розрахункова потужність трансформаторів власних потреб підстанції визначається:

$$S_{роз} = K_{см} \cdot S_{спож} = 0,8 \cdot 417,14 = 333,712 \text{ кВА} \quad (2.1)$$

де $K_{см} = (0,8 \div 0,85)$ – коефіцієнт збігу максимуму навантаження.

Розрахункова потужність трансформатора:

$$S_{тр.роз.} = \frac{S_{роз} \cdot 0,75 \cdot K_{розв}}{K_{нав}} = \frac{333,712 \cdot 0,75 \cdot 1,15}{1,5} = 191,88 \text{ кВА} \quad (2.2)$$

де $K_{нав}$ - коефіцієнт перевантаження трансформатора;

$K_{розв}$ - коефіцієнт, що враховує зростання електричних навантажень протягом майбутніх 5 років і становить 15% від загальної розрахункової потужності власних потреб підстанції;

0,75 – коефіцієнт, що враховує забезпечення 75% навантаження одним трансформатором при виході з ладу другого.

Виходячи з розрахункового навантаження власних потреб підстанції і категорії споживачів встановлюємо 2 двохобмоткових трансформатора типу ТМ-250/6, дані яких відображено у табл. 2.2.

Таблиця 2.1 Потужності споживачів

№п/п	Найменування споживача	Потужність споживача Сспож, кВА
1	Обдув вимкненого Т-1	2,2
2	Обдув вимкненого Т-2	2,2
3	Освітлення ВРП-150кВ	3,55
4	Освітлення ВРП-150кВ	4,4
5	Освітлення ВРП-150кВ	2,3
6	Освітлення ВРП-150кВ	3,55
7	Освітлення ВРП-150кВ	2,3
8	Освітлення ГЩУ	2,3
9	Освітлення пішохідної доріжки	2,1
10	Освітлення ЗРП-35кВ	2,2
11	Охолодження Т-1	2,1
12	Охолодження Т-2	2,1
13	Зварювальний пост КРП-6кВ	1,32
14	Зварювальний пост ВРП-150кВ	4,4
15	Зварювальний пост Т-1 та Т-2	7,05
16	Зварювальний пост ЗРП-35кВ	2,25
17	РПН - Т-1	1,74
18	РПН - Т-2	1,33
19	Обігрів ЗРП-35кВ	1,3
20	Обігрів коридору	2,1
21	Обігрів ОД та КЗ на ВРП-150кВ	2,3
22	ВАЗП-1	3,52
23	ВАЗП-2	5,28
24	Калорифер	2,64
25	Опалення ГЩУ(ліва сторона)	2,21
26	Опалення ГЩУ(права сторона)	2,65
27	Опалення побутового приміщення	2,2
28	Вентиляція ЗРП-6кВ	5,25

29	Вентиляція ЗРП-35кВ	5,3
30	Блокування	2,15
31	Телемеханіка	2,05
32	АВР-35 та 6кВ	2
33	Розподільчий щиток ЗРП-35кВ	2,25
34	Компресор №1	160
35	Компресор №2	160
36	Опалення компресорної установки	2,35
37	Освітлення компресорної установ- вки	2,2
ВСЬОГО		417,14

Таблиця 2.2 Каталожні дані трансформаторів

Тип трансформатора	S _{ном} , кВА	U _{ном}		U _к , %	Втрати, кВт		I _х , %
		ВН	НН		ΔP _{xx}	ΔP _{кз}	
ТМ-250/6	250	6,0	0,4	4,5	0,82	3,7	2,3

На основі даних каталогу обчислюємо опір обмоток трансформатора та втрати холостого ходу:

Втрати реактивної потужності:

$$\Delta Q_{xx} = 0,01 \cdot I_{xx} \cdot S_{тр.ном} = 0,01 \cdot 2,3 \cdot 250 = 5,75 \text{ кВар}, \quad (2.3)$$

$$\Delta Q_k = 0,01 \cdot U_k \cdot S_{тр.ном} = 0,01 \cdot 4,5 \cdot 250 = 11,25 \text{ кВар}, \quad (2.4)$$

Коефіцієнт завантаження трансформаторів:

$$K_{зг} = \frac{S_{тр.розр}}{n \cdot S_{тр.ном}} \cdot 100\% = \frac{191,88}{2 \cdot 250} \cdot 100 = 38\% \quad (2.5)$$

При відключенні або виході з ладу одного з трансформаторів, другий повинен забезпечити добове навантаження власних потреб підстанції. При цьому коефіцієнт заповнення добового графіку навантаження підстанції:

$$\alpha = \frac{S_{сеп}^{сут}}{1,4S_H} \leq 0,75 \quad (2.6)$$

$$\alpha = \frac{143,91}{1,4 \cdot 250} = 0,41, \text{ що задовольняє ПУЕ.}$$

У післяаварійному режимі трансформатор, що залишився в роботі буде перевантажений у період максимуму на $\frac{333,712 - 250}{250} \cdot 100\% = 33\%$, що менше 40%- рівня, який встановлено ПУЕ.

2.2 Розрахунок струмів короткого замикання

Для проектованої підстанції необхідно вибрати електричні апарати, шини і кабелі, які при напрузі вище 1000 кВ перевіряють на стійкість до струмів короткого замикання. Тому перед вибором електроустаткування РП передуює розрахунок струмів короткого замикання. При необхідності передбачаються заходи для обмеження струмів короткого замикання (установка реакторів тощо).

Розрахункова схема для визначення струмів короткого замикання приведена на рис.3.1. Розрахункові точки короткого замикання прийняті з умов визначення значень струмів короткого замикання, що протікають через відповідні струмові частини та електричні апарати.

Для мережі 6 кВ розраховуються струми трифазного короткого замикання, а в мережі напругою 150 кВ – струми трифазного та однофазного короткого замикання

Струми двохфазного короткого замикання визначаються для перевірки гнучких струмопровідників на зхльостування та термічну стійкість апаратів на генераторній напрузі.

Розрахунок проводиться у відносних одиницях для нормального стану схеми для шини 6 кВ, що живиться від одного силового трансформатора (менший сумарний опір короткого замикання мережі).

Базисний струм на i -тій ступені:

$$I_{61} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{cp1}} = \frac{100 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 157,5 \cdot 10^3} = 366,57 \text{ A} \quad (2.7)$$

$$I_{62} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{cp2}} = \frac{100 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 6,3 \cdot 10^3} = 9164,29 \text{ A} \quad (2.8)$$

$$I_{63} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{cp3}} = \frac{100 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 0,42 \cdot 10^3} = 137464,35 \text{ A} \quad (2.9)$$

де S_{δ} - базисна потужність; $S_{\delta} = 100$ МВА;

U_{cp2} - середнє значення напруги, що на 5% перевищує номінальне значення напруги мережі на і-тій ступені.

Опір ланцюга від джерела живлення до шин підстанції (опір системи):

$$X_{*c} = \frac{S_{\delta}}{S_{кз}} = \frac{100}{4000} = 0,025 \text{ в. о.}, \quad (2.10)$$

де $S_{кз} = 4000$ МВА - потужність к.з. на шинах 150 кВ підстанції, МВА.

Опір живильної лінії 150 кВ:

$$X_{*б,плеп} = X_0 \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{cp1}^2} \cdot l_{плеп} = 0,4 \cdot \frac{100}{(157,5)^2} \cdot 72 = 0,116 \text{ в. о.} \quad (2.11)$$

Опір лінії споживачів:

$$X_{*б,клеп} = X_0 \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{cp2}^2} \cdot l_{клеп} = 0,4 \cdot \frac{100}{(6,3)^2} \cdot 0,7 = 0,141 \text{ в. о.} \quad (2.12)$$

$$X_{*б,клеп0,4} = X_0 \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{cp2}^2} \cdot l_{клеп} = 0,4 \cdot \frac{100}{(0,42)^2} \cdot 0,15 = 3,401 \text{ в. о.} \quad (2.13)$$

де X_0 -активний і індуктивний опір на 1 км лінії Ом/км;

$l=72$ км- довжина лінії електропередачі.

Опір трифазного двохобмоточного трансформатора при $\gamma \approx 0$ та $X_{н.т\%} \approx U_{к\%}$

$$X_{*б.тр} = \frac{U_k}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{тр.ном}} = \frac{18}{100} \cdot \frac{100}{63} = 0,286 \text{ в. о.} \quad (2.14)$$

$$X_{*б.тсн} = \frac{U_k}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{тр.ном}} = \frac{4,5}{100} \cdot \frac{100}{0,25} = 18 \text{ в. о.} \quad (2.15)$$

де U_k - напруга к.з. трансформатора.

Відносний опір реактора, приведений до базисних умов:

$$X_{*б.реакт} = \frac{X_{реакт}}{100} \cdot \frac{I_{\delta} \cdot U_{реакт.ном}}{I_{реакт.ном} \cdot U_{\delta}} = \frac{4}{100} \cdot \frac{9,16 \cdot 6}{1 \cdot 6,3} = 0,349 \text{ в. о.}, \quad (2.16)$$

Вихідні дані реактора:

$X_{реакт} = 4\%$ - опір реактора;

$I_{реакт.ном} = 1000$ А - номінальний струм реактора;

$U_{реакт.ном} = 6$ кВ

Струм к.з. від системи (періодична складова) у точці К1 (початкова величина I_{K1}):

$$I_{K1} = \frac{I_{б2}}{X_{*б.с} + X_{*б.плеп} + X_{*б.реакт} + X_{*б.тр} + X_{*б.ТСН}} = \frac{9164,29}{0,025 + 0,116 + 0,349 + 0,286 + 18} = 488,085 \text{ А} \quad (2.17)$$

Ударний струм к.з. (миттєве значення) у точці К1:

$$I_y = K_y \cdot \sqrt{2} I_{K1} = 1,92 \cdot \sqrt{2} \cdot 488,085 = 1325 \text{ А} \quad (2.18)$$

K_y -ударний коефіцієнт для часу 0,01с:

$$K_y = 1 + e^{\frac{-t}{T_{ac}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,115}} = 1,92 \quad (2.19)$$

$T_{ac} = 0,115$ с - постійна часу згасання аперіодичної складової струму к.з.

Періодична складова за час t у точці К1:

$$I_{nt1} = I_{K1} \cdot \cos \omega t = 488,085 \cdot \cos(314 \cdot 0,01) = 487 \text{ А} \quad (2.20)$$

$$\omega = 2\pi f = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314 \text{ рад/с}, \quad (2.21)$$

де ω - циклічна частота, рад/с;

f - частота мережі, $f=50$ Гц.

Аперіодична складова у точці К1:

$$i_{at1} = \sqrt{2} \cdot I_{K1} \cdot e^{\frac{-t}{T_{ac}}} = \sqrt{2} \cdot 488,085 \cdot e^{\frac{-0,01}{0,115}} = 633 \text{ А} \quad (2.22)$$

Струм короткого замикання на шинах 0,4кВ (за трансформатором власних потреб) в точці К2.



Опір мережі до точки К2:

$$\begin{aligned} X_{*K2} &= X_{*б.с} + X_{*б.плеп} + X_{*б.реакт} + X_{*б.тр} + X_{*б.ТСН} + X_{*б.клеп} = (2.23) \\ &= 0,025 + 0,116 + 0,349 + 0,286 + 18 + 3,401 \\ &= 22,177 \text{ в. о.} \end{aligned}$$

Початкове значення струму к.з. від системи:

$$I_{K2} = \frac{I_{б3}}{X_{*K2}} = \frac{137464,35}{22,177} = 6199 \text{ А}, \quad (2.24)$$

де $I_{б3}$ - базисний струм к.з.

Періодична складова струму к.з. для точки К2:

$$I_{nt2} = I_{K2} \cdot \cos \omega t = 6199 \cdot \cos(314 \cdot 0,01) = 6189 \text{ А} \quad (2.25)$$

Аперіодична складова струму к.з. згасає з постійною часу T_{ac} і для любого моменту часу t визначається:

$$i_{at2} = \sqrt{2} \cdot I_{K2} \cdot e^{\frac{-t}{T_{ac}}} = \sqrt{2} \cdot 6199 \cdot e^{\frac{-0,01}{0,065}} = 919 \text{ А} \quad (2.26)$$

Ударний струм к.з. (миттєве значення):

$$I_{y2} = K_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{K2} = 1,85 \cdot \sqrt{2} \cdot 6199 = 16218 \text{ А} \quad (2.27)$$

K_y -ударний коефіцієнт для часу 0,01с:

$$K_y = 1 + e^{\frac{-t}{T_{ac}}} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,065}} = 1,85 \quad (2.28)$$

$T_{ac} = 0,065$ с постійна часу згасання аперіодичної складової струму на шинах 0,4кВ.

Струми підживлення точок к.з. від електродвигунів (АД та СД) не враховані через те, що двигуни знаходяться на відстані далі аніж 150 метрів від шин підстанції та комутаційної апаратури і, як наслідок, не мають суттєвого впливу на сумарний струм к.з в точках К1, К2.

2.3 Вибір провідникової та комутаційної апаратури

Визначення робочих струмів для вибору електричних апаратів провідників

Розрахунковий робочий струм $I_{рн}$ живлячої лінії у номінальному режимі дорівнює:

$$I_{р.ном} = \frac{n_{тр} \cdot S_{тр.ном}}{n_{ліній} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{н1}} = \frac{2 \cdot 250}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 6} = 24,06 \text{ А} \quad (2.29)$$

Розрахунковий робочий струм автоматичного вимикача на вводі:

$$I_{р.ном2} = \frac{S_{тр.ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{н2}} = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 360,84 \text{ А} \quad (2.30)$$

Обираємо автоматичні вимикачі типу А3790 400А 380В 50Гц.

Розрахунковий струм вводу у важкому(форсованому) режимі при відключенні одного із вводів:

$$I_{р.форс1} = \frac{S_{тр.розр}}{\sqrt{3} \cdot U_{н}} = \frac{191,88}{\sqrt{3} \cdot 6} = 18,46 \text{ А} \quad (2.31)$$

Розрахунковий робочий струм у тяжкому режимі по низькій стороні 0,4кВ:

$$I_{р.форс2} = 1,3 \cdot I_{р.ном2} = 1,3 \cdot 360,84 = 469,09 \text{ А} \quad (2.32)$$

Для вводів обираємо автоматичні вимикачі типу А3790 630А 380В 50Гц

Розрахунковий робочий струм секційного вимикача дорівнює робочому струму секції:

$$I_{р.секц.} = \frac{S_{тр.розр}}{2\sqrt{3} \cdot U_{н2}} = \frac{191,88}{2\sqrt{3} \cdot 0,4} = 138,48 \text{ А} \quad (2.33)$$

Обираємо автоматичний вимикач типу А3790 160А 380В 50Гц

Номінальний струм компресорів:

$$I_{Н_{К1,2}} = \frac{S_{ном.К1,2}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{160}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 230,94 \text{ А} \quad (2.34)$$

де $S_{ном.К1,2}$ - номінальна потужність компресорів.

Обираємо автоматичний вимикач типу А3790 280 А 380В 50Гц

Розрахунковий струм споживачів:

$$I_{pi} = \frac{S_i}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \quad (2.35)$$

$$U_{ном} = 0,4 \text{ кВ}$$

В автоматичних вимикачах категорії А розчіплювач спрацьовує при досягнення струму 3-5 номінальних значень (застосовуються для захисту

електропроводок великої протяжності). Розрахунки для більшої зручності заносимо до таблиці 3.2.

Вибір кабелів 0,4 кВ.

Економічно доцільний переріз кабелю:

$$q_{ек} = \frac{I_p}{j_{ек}} = \frac{138,48}{1} = 138,48 \approx 139 \text{ мм}^2 \quad (2.36)$$

Розрахунковий робочий струм кабелю:

$$I_{тр.доп} = K_1 K_2 K_3 I_{н.тр.доп.} = 1 \cdot 1 \cdot 1,15 \cdot 139 = 159,85 \text{ А}, \quad (2.37)$$

де K_1 - поправочний коефіцієнт, що враховує число працюючих кабелів, що лежать поруч при прокладці в землі без труб (приймаємо $K_1 = 1$);

K_3 - коефіцієнт допустимого перевантаження кабелів у форсованому режимі;

Таблиця 3.2 Розрахунковий струм споживачів

№ п/п	Найменування споживача	S_i , кВА	I_{pi} , А	Обраний автоматичний вимикач	
				тип	Струм, А
1	Обдув вимкненого Т-1	2,2	5,50	А-3124	25
2	Обдув вимкненого Т-2	2,2	5,50	А-3124	25
3	Освітлення ВРП-150кВ	3,55	8,88	А-3124	40
4	Освітлення ВРП-150кВ	4,4	11,00	А-3124	50
5	Освітлення ВРП-150кВ	2,3	5,75	А-3124	25
6	Освітлення ВРП-150кВ	3,55	8,88	А-3124	40
7	Освітлення ВРП-150кВ	2,3	5,75	А-3124	25
8	Освітлення ГЩУ	2,3	5,75	А-3124	25
9	Освітлення пішохідної доріжки	2,1	5,25	А-3124	25
10	Освітлення ЗРП-35кВ	2,2	5,50	А-3124	25
11	Охолодження Т-1	2,1	5,25	А-3124	25
12	Охолодження Т-2	2,1	5,25	А-3124	25
13	Зварювальний пост КРП-6кВ	1,32	3,30	А-3124	15
14	Зварювальний пост ВРП-150кВ	4,4	11,00	А-3124	50
15	Зварювальний пост Т-1 та Т-2	7,05	17,63	А-3124	80
16	Зварювальний пост ЗРП-35кВ	2,25	5,63	А-3124	25
17	РПН - Т-1	1,74	4,35	А-3124	20

18	РПН - Т-2	1,33	3,33	А-3124	15
19	Обігрів ЗРП-35кВ	1,3	3,25	А-3124	15
20	Обігрів коридору	2,1	5,25	А-3124	25
21	Обігрів ОД та КЗ на ВРП-150кВ	2,3	5,75	А-3124	25
22	ВАЗП-1	3,52	8,80	А-3124	40
23	ВАЗП-2	5,28	13,20	А-3124	60
24	Калорифер	2,64	6,60	А-3124	30
25	Опалення ГЦУ(ліва сторона)	2,21	5,53	А-3124	25
26	Опалення ГЦУ(права сторона)	2,65	6,63	А-3124	25
27	Опалення побутового приміщення	2,2	5,50	А-3124	25
28	Вентиляція ЗРП-6кВ	5,25	13,13	А-3124	60
29	Вентиляція ЗРП-35кВ	5,3	13,25	А-3124	60
30	Блокування	2,15	5,38	А-3124	25
31	Телемеханіка	2,05	5,13	А-3124	25
32	АВР-35 та 6кВ	2	5,00	А-3124	25
33	Розподільчий щиток ЗРП-35кВ	2,25	5,63	А-3124	25
34	Компресор №1	160	400,00	А3790	504
35	Компресор №2	160	400,00	А3790	504
36	Опалення компресорної установки	2,35	5,88	А-3124	25
37	Освітлення компресорної установки	2,2	5,50	А-3124	25

K_2 - поправочний коефіцієнт, що враховує температуру оточуючого середовища, якщо вона відмінна від номінальної:

$$K_2 = \sqrt{\frac{\theta_{\text{доп}} - \theta_{\text{н.с.}}}{\theta_{\text{доп}} - \theta_{\text{ном}}}} = \sqrt{\frac{65 - 15}{65 - 15}} = 1, \quad (2.38)$$

Перевірка на термічну стійкість кабелю:

$$A_k = A_n + \frac{B_k}{q^2} = 500 + \frac{107 \cdot 10^6}{3 \cdot 150^2} = 6585 \text{ Дж/мм}^4, \quad (2.39)$$

По тим же кривим нагрівання знаходимо кінцеву температуру:

$$\theta_k = 94^\circ < \theta_{\text{доп}} = 200^\circ\text{C (для алюмінієвих жил кабелю)}$$

Мінімальний переріз провідника (за умовами термічної стійкості):

$$q_{\min} = \frac{1}{c} \sqrt{B_k} = \frac{1}{90} \sqrt{107 \cdot 10^6} = 115 \text{ мм}^2, \quad (2.40)$$

Прокладаємо три кабелі марки ААБ 3х150 з $i_{\text{тр.доп.}} = 385 \text{ А}$.

З перспективою удосконалення компресорної станції встановлюємо рубильники типу РПБ-6 з номінальним струмом 630А.

3.4 Розробка заходів енергозбереження системи електропостачання

Компресорна установка розташовується поруч з головними споживачами стисненого повітря з метою зниження втрат при транспортуванні стисненого повітря по трубопроводах. При цьому приплив свіжого зовнішнього повітря до компресорів обмежений, і для їхнього харчування вживається повітря приміщень, температура якого зазвичай перевищує температуру зовнішнього повітря. Відповідно до законів термодинаміки, стиснення теплого повітря вимагає великих витрат енергії, ніж холодного. У будь-якій технічній літературі йдеться про те, що кожні 5 °С підвищення температури на вході компресора вимагають збільшення споживаної потужності приблизно на 2%. Саме через це будь-яке зниження енергоспоживання може бути досягнуто лише за допомогою простої організації постачання компресора зовнішнім повітрям, особливо в зимовий період, коли в багатьох районах різниця між температурою зовнішнього повітря і температурою в приміщеннях може перевищувати 5 °С в кілька разів. Підведення зовнішнього повітря до компресора або компресорної в цілому може бути організовано за допомогою повітровода. В залежності від довжини останнього, може знадобитися установка додаткового вентилятора, енергоспоживання якого повинно бути враховано при плануванні цього заходу. Повітрозабірник повинен розташовуватися на північній стороні об'єкта або в такому місці, що більшу частину часу перебуває в тіні.

Екологічні переваги. Скорочення споживання первинних енергоресурсів. Як правило, компресори приводяться в дію електродвигунами.

Виробнича інформація. Оскільки при роботі компресора утворюється значна кількість тепла, в компресорних завжди спостерігається підвищена температура незалежно від того, організована чи утилізація цього тепла. Нерідко

температура повітря в компресорних навіть в зимовий період досягає 30-35 °С. Чим більше різниця між температурою в приміщенні і температурою зовнішнього повітря, тим більше потенціал енергозбереження. При цьому слід мати на увазі, що обсяги енергозбереження пропорційні часу роботи компресора.

Застосовність. Зниження температури повітря, що надходить у компресор, за рахунок холодного зовнішнього повітря можливе практично в будь-яких умовах. Іноді достатньо виконати в зовнішній стіні круглий отвір, з'єднавши його з компресором за допомогою повітропроводу. Якщо розташування компресорної робить подачу зовнішнього повітря скрутною, слід поліпшити її вентиляцію. Згідно з оцінками, подібні заходи застосовні в 50% випадків.

Економічні аспекти. Організація подачі холодного зовнішнього повітря не тягне за собою значних витрат, оскільки атмосферне повітря є безкоштовним, і пов'язана з такими економічними перевагами, як скорочення часу роботи компресорів або споживаної ними електричної потужності.

Мотивами впровадження є простота установки, енергозбереження і скорочення витрат.

СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

Розділ 3 Дослідження ЕП в системі ПЧ-АД в статичних режимах

3.1 Визначення параметрів двигуна за схемою заміщення

Розрахунок відсутніх параметрів двигуна проводимо за Т-подібною схемою заміщення (рис.3.1).

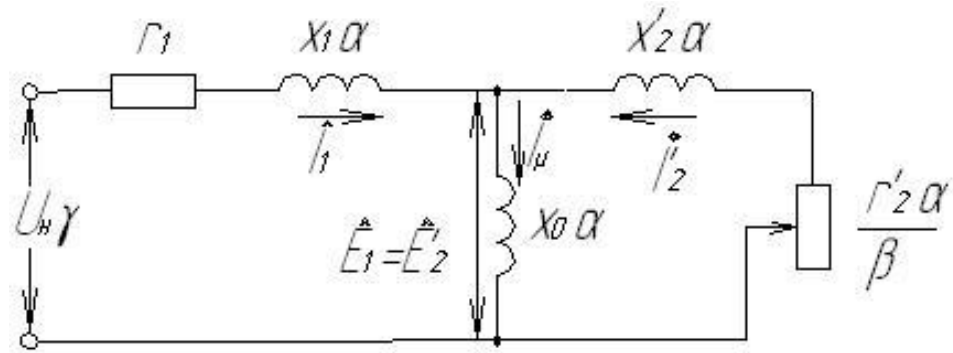


Рисунок 3.1 - Т-подібна схема заміщення фази асинхронного двигуна при частотному управлінні

Використовуючи паспортні дані двигуна визначимо значення опорів за схемою заміщення у відносних одиницях:

активний опір фази статора, в.о.

$$r1 := 0.3 \cdot (1 - KPDn) \cdot \cos \varphi_n \quad r1 = 0.016$$

приведене до статорної обмотки активний опір фази ротора, в.о.

$$r2' := \frac{M_{push} \cdot KPDn \cdot \cos \varphi_n}{I_{push}^2}$$

$$r2' = 0.024$$

$$X_k := \frac{1}{I_{push}} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{I_{push}^2 \cdot r1 + M_{push} \cdot KPDn \cdot \cos \varphi_n}{I_{push}} \right)^2} \quad (3.1)$$

$$X_{kr''} := \frac{1}{2 \cdot M_{kr} \cdot (KPDn \cdot \cos \varphi_n)}$$

$$X_{kr''} = 0.281$$

реактивний опір контуру намагнічування, в.о.

$$x0 := \frac{1}{\sin \varphi_n - X_{kr''}}$$

$$x0 = 6.474$$

реактивний опір фази статора і приведений до статорної обмотки опір фази ротора, в.о.

$$x1 := 0.5 \cdot X_k$$

$$x1 = 0.081$$

$$x2' := x1$$

$$x2' = 0.081$$

де $KPDn = 0.94$ - номінальний ККД двигуна;

$\cos \Phi_n = 0.9$ - номінальний коефіцієнт потужності;

$M_{\text{пуск}} = 1$ - кратність пускового моменту;

$M_{\text{кр}} = 2.1$ - кратність максимального моменту;

$I_{\text{пуск}} = 6$ - кратність пускового струму;

Визначимо дійсні значення опорів двигуна за схемою заміщення:

базисний опір, Ом

$$R_b := \frac{U_n}{I_n} R_b = 0.733$$

опори обмоток, Ом

$$r1 := r1 \cdot R_b \quad r1 = 0.012$$

$$r2' := r2' \cdot R_b \quad r2' = 0.017$$

$$x0 := x0 \cdot R_b \quad x0 = 4.748$$

$$x1 := x1 \cdot R_b \quad x1 = 0.059$$

$$x2' := x1 \cdot x2' = 0.059$$

3.2 Механічна характеристика навантаження

Механічною характеристикою механізму називають залежність його моменту опору від швидкості обертання вала. Для компресорів ступінь цієї залежності (α) знаходиться в межах $2,5 \div 3,5$. Для даного компресора приймемо $\alpha = 3$.

Тоді вираз для моменту опору:

$$M_c(\omega) = M_{c0} + (M_n - M_{c0}) \cdot (\omega / \omega_n)^\alpha, \quad (3.2)$$

де $M_n = P_n / \omega_n = 515.3 \text{ Н} \cdot \text{м}$ - номінальний момент двигуна;

$M_{c0} = 0.07 \cdot M_n = 36 \text{ Н} \cdot \text{м}$ - момент в режимі холостого ходу;

$\alpha = 3$ - показник ступеня залежності M_c від ω .

Остаточно маємо:

$$M_c(\omega) = 36 + 479.3 \cdot (\omega/310.5)^3 \quad (3.3)$$

3.3 Побудова механічних і швидкісних характеристик двигуна в статичних режимах

Вжитими допущеннями обумовлюється постійність опорів схеми заміщення при даній частоті; застосовується Т-подібна схема заміщення. Індуктивні опори x_0 , x_1 , x_2 відповідають номінальній частоті. При аналізі та розрахунках використовуються такі позначення.

Відносна частота статора - відношення частоти струму статора до її номінального значення:

$$\alpha = f_1/f_{1n} \quad (3.4)$$

Параметр абсолютного ковзання, або відносна частота ротора - відношення абсолютного ковзання $\Delta\omega$ до синхронної швидкості при номінальній частоті:

$$\beta = \Delta\omega/\omega_{1n} = (\omega_1 - \omega) / \omega_{1n} = f_2/f_{1n}, \quad (3.5)$$

Параметр β використовується замість ковзання s і пов'язаний з ним співвідношенням:

$$s = \Delta\omega/\omega_1 = f_2 f_{1n} / f_1 f_{1n} = \beta / \alpha, \quad (3.6)$$

Відносна напруга:

$$\gamma = U / U_n, \quad (3.7)$$

Коефіцієнт розсіювання відповідно для статора і ротора:

$$\tau_1 = x_1/x_0 \text{ і } \tau_2 = x_2 / x_0, \quad (3.8)$$

Загальний коефіцієнт розсіювання:

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_1 \tau_2, \quad (3.9)$$

Крім того, введемо позначення:

$$b = r_1 (1 + \tau_2); \quad (3.10)$$

$$c = x_0 \tau; \quad (3.11)$$

$$d = r_1/x_0; \quad (3.12)$$

$$\epsilon = 1 + \tau_1. \quad (3.13)$$

Аналіз і розрахунки усталеного режиму проводяться в діючих значеннях величин. З розрахунку схеми заміщення отримуємо:

- Електрорушійну силу

$$E_{1\alpha}(\omega) := U_{1nf} \cdot \gamma \cdot \sqrt{\frac{r_2'^2 + x_2'^2 \cdot \beta(\omega)^2}{(b^2 + c^2 \cdot \alpha^2) \cdot \beta(\omega)^2 + 2r_1 \cdot r_2' \cdot \alpha \cdot \beta(\omega) + (d^2 + e^2 \cdot \alpha^2) \cdot r_2'^2}} \quad (3.14)$$

- Потік в повітряному зазорі

$$\Phi_{\alpha}(\omega) := \frac{U_{1nf}}{c_1 \cdot f_n} \cdot \gamma \cdot \sqrt{\frac{r_2'^2 + x_2'^2 \cdot \beta(\omega)^2}{(b^2 + c^2 \cdot \alpha^2) \cdot \beta(\omega)^2 + 2r_1 \cdot r_2' \cdot \alpha \cdot \beta(\omega) + (d^2 + e^2 \cdot \alpha^2) \cdot r_2'^2}} \quad (3.15)$$

- Струм статора

$$I_{1\alpha}(\omega) := U_{1nf} \cdot \gamma \cdot \sqrt{\frac{(1 + \tau_2)^2 \cdot \beta(\omega)^2 + \frac{r_2'^2}{x_0^2}}{(b^2 + c^2 \cdot \alpha^2) \cdot \beta(\omega)^2 + 2r_1 \cdot r_2' \cdot \alpha \cdot \beta(\omega) + (d^2 + e^2 \cdot \alpha^2) \cdot r_2'^2}} \quad (3.16)$$

- Приведений струм ротора

$$I_{2\alpha'}(\omega) := U_{1nf} \cdot \gamma \cdot \frac{\beta(\omega)}{\sqrt{(b^2 + c^2 \cdot \alpha^2) \cdot \beta(\omega)^2 + 2 \cdot r_1 \cdot r_2' \cdot \alpha \cdot \beta(\omega) + (d^2 + e^2 \cdot \alpha^2) \cdot r_2'^2}} \quad (3.17)$$

- Струм намагнічування

$$I_{\mu\alpha}(\omega) := U_{1nf} \cdot \gamma \cdot \sqrt{\frac{\tau_2^2 \cdot \beta(\omega)^2 + \frac{r_2'^2}{x_0^2}}{(b^2 + c^2 \cdot \alpha^2) \cdot \beta(\omega)^2 + 2r_1 \cdot r_2' \cdot \alpha \cdot \beta(\omega) + (d^2 + e^2 \cdot \alpha^2) \cdot r_2'^2}} \quad (3.18)$$

- Електромагнітний момент двигуна

$$M_{\alpha}(\omega) := \frac{(m_1 \cdot U_{1nf}^2)}{\omega_0} \cdot \gamma^2 \cdot \frac{(r_2' \cdot \beta(\omega))}{[(b^2 + c^2 \cdot \alpha^2) \cdot \beta(\omega)^2 + 2 \cdot r_1 \cdot r_2' \cdot \alpha \cdot \beta(\omega) + (d^2 + e^2 \cdot \alpha^2) \cdot r_2'^2]} \quad (3.19)$$

де $c_1 = 4,44 \text{ w1kw}$ - конструктивна постійна фазної обмотки статора двигуна, знаходиться в межах $1.01 \div 1.06$, приймемо $c_1 = 1.03$.

$m_1 = 3$ - число фаз статора.

Діапазон регулювання визначаємо з урахуванням того, щоб пусковий момент двигуна дорівнював моменту навантаження при швидкості, що дорівнює 0. А також, критичний момент двигуна повинен бути більше статичного.

Верхньою межею є частота 50 Гц, а нижнім (з урахуванням вищенаведених умов) - 16 Гц. Для побудови сімейств механічних і швидкісних характеристик задамося кроком зміни частоти в 5 Гц.

Визначальними для асинхронної машини є втрати в міді статора і ротора, втрати в сталі статора від гистерезиса і вихрових струмів, а також механічні втрати. Основними втратами в сталі ротора можна знехтувати, оскільки при абсолютному ковзанні, не перевищуючому номінального (що має місце в сталому режимі при частотному управлінні), вони дуже малі.

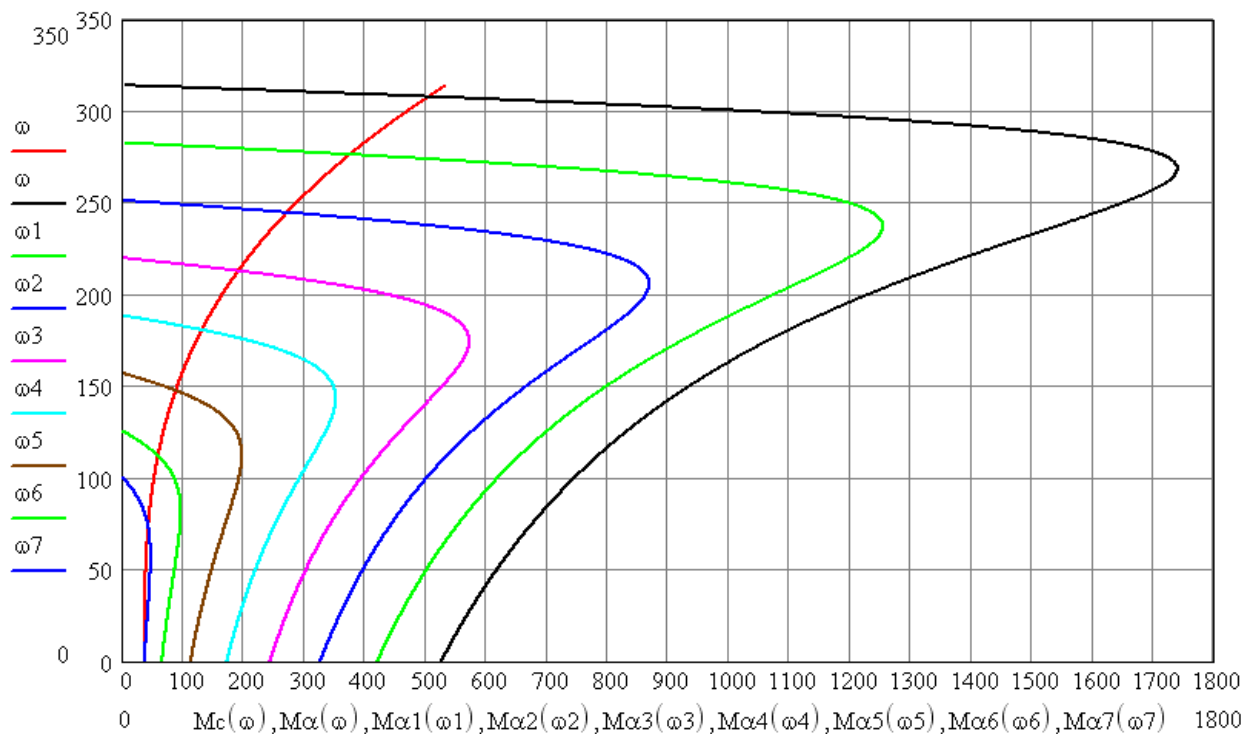


Рисунок 2.2 - Сімейство механічних характеристик

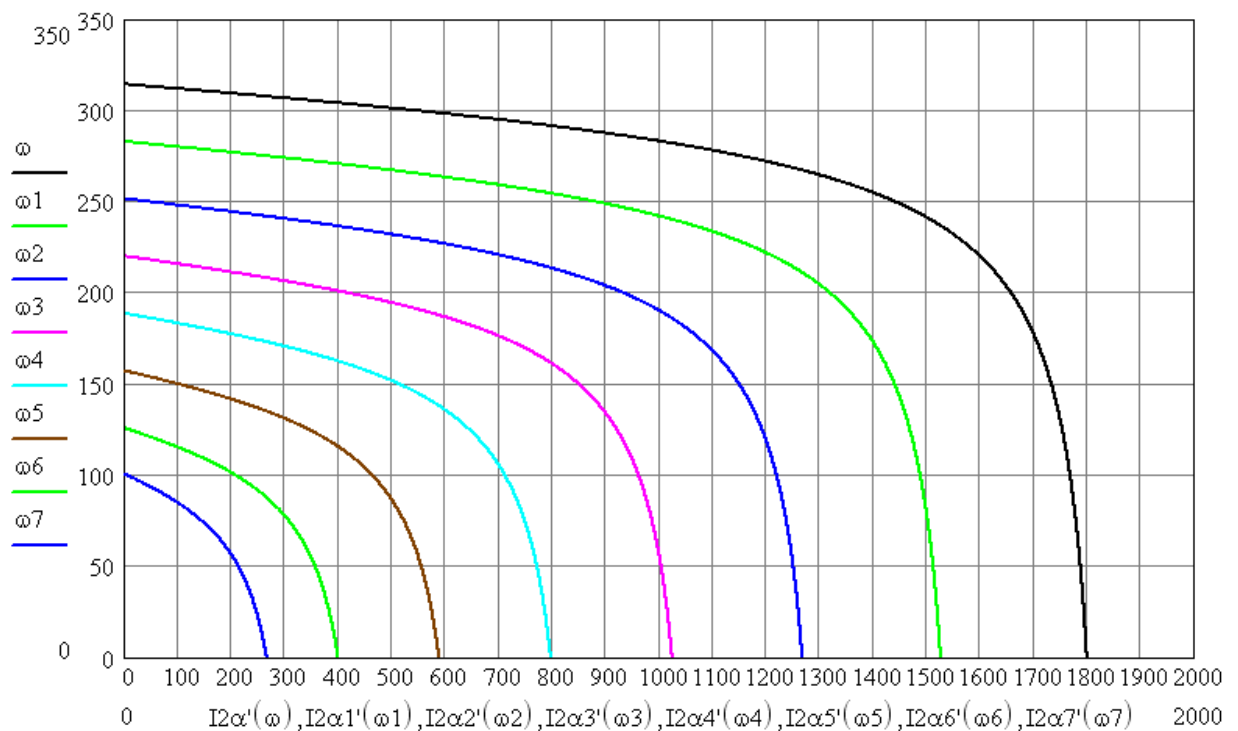


Рисунок 2.3 - Сімейство швидкісних характеристик

3.4 Дослідження енергетичних характеристик електропривода

Крім названих втрат в асинхронній машині ще виникають поверхневі і пульсаційні втрати в сталі статора і ротора; додаткові втрати головним чином в обмотці ротора і частково в обмотці статора, у сталі і металевих масивних частинах машини, обумовлені струмами, наведеними полями розсіювання та вищими гармоніками потоку. У сумі всі додаткові втрати становлять у середньому 1% споживаної двигуном потужності.

Втрати в міді статора доцільно уявити, як це прийнято, у вигляді суми втрат від струму холостого ходу (намагнічування) і втрат від робочого струму. Перетворюючи (3.15) з урахуванням (3.16) і (3.17), отримаємо вираз для струму статора:

$$I_{1\alpha} := \sqrt{(1 + 2\tau_2) \cdot \Gamma_{2\alpha}^2 + I_{\mu\alpha}^2}, \quad (3.20)$$

Втрати в міді статора:

$$\Delta P_{e1} := 3r_1 \cdot (1 + 2\tau_2) \cdot \Gamma_{2\alpha}^2 + 3r_1 \cdot I_{\mu\alpha}^2, \quad (3.21)$$

При дослідженні повних втрат двигуна і його механічного к. к. д. необхідно крім основних втрат врахувати ще поверхневі, пульсаційні, додаткові і механічні втрати. Слід також врахувати і додаткові втрати, що виникають при несинусоїдальній напрузі (струмі) джерела.

При експериментальному визначенні втрат в сталі (наприклад, з досвіду холостого ходу) отримують суму основних, поверхневих і пульсаційних втрат в сталі статора і ротора. Поділ цих втрат на окремі складові досвідченим шляхом вельми складний, а точність розрахунку магнітних втрат невисока (10 - 15%). Тому доцільно при аналізі к. к. д. в якості вихідної взяти величину повних втрат в сталі при холостому ході або при номінальному режимі і розділити їх тільки на втрати від гистерезиса і вихрових струмів; причому, враховуючи характер залежності окремих складових магнітних втрат, віднести все пульсаційні втрати до втрат від вихрових струмів, а всі поверхневі - до втрат від гистерезиса. Додаткові ж втрати ($0,5\% P_1$), які можна прийняти пропорційними квадрату струму, віднести до втрат в міді ротора. Такий розподіл додаткових втрат в достатній мірі еквівалентно їх реальному розподілу.

При необхідності врахування додаткових втрат, зумовлених вищими гармоніками напруги (струму) у разі живлення двигуна від джерела з несинусоїдальною формою напруги (струму), ці втрати також можуть бути розподілені. Так, можна показати, що при живленні від інвертора напруги основна частина додаткових втрат пропорційна квадрату потоку, але складним чином залежить від частоти, отже ці втрати можна віднести до втрат на збудження; при живленні від інвертора струму основна частина додаткових втрат пропорційна квадрату робочого струму, тобто може бути віднесена до змінних втрат. З цього випливає, що облік додаткових втрат не змінить структуру формули повних втрат, внісши лише деякі корективи у величину коефіцієнтів, в їх співвідношення. А так як самі додаткові втрати малі (особливо для інверторів напруги: 5-10% номінальних втрат) і знаходяться в межах точності визначення коефіцієнтів основних втрат машини, то в подальшому вони не враховуються.

Механічні втрати залежать від кутової швидкості

$$\Delta P_m := \Delta P_{meh} \cdot \left(\frac{\omega_c}{\omega_n} \right)^3 \quad (3.22)$$

де $\Delta P_{meh} = 0.01 P_n$ - номінальні механічні втрати;

ω_c - швидкість в статичному режимі, визначається перетинанням характеристики моменту опору і механічної характеристики двигуна при заданій частоті.

Побудуємо залежність сумарних втрат (механічних і втрат у міді статора) від швидкості:

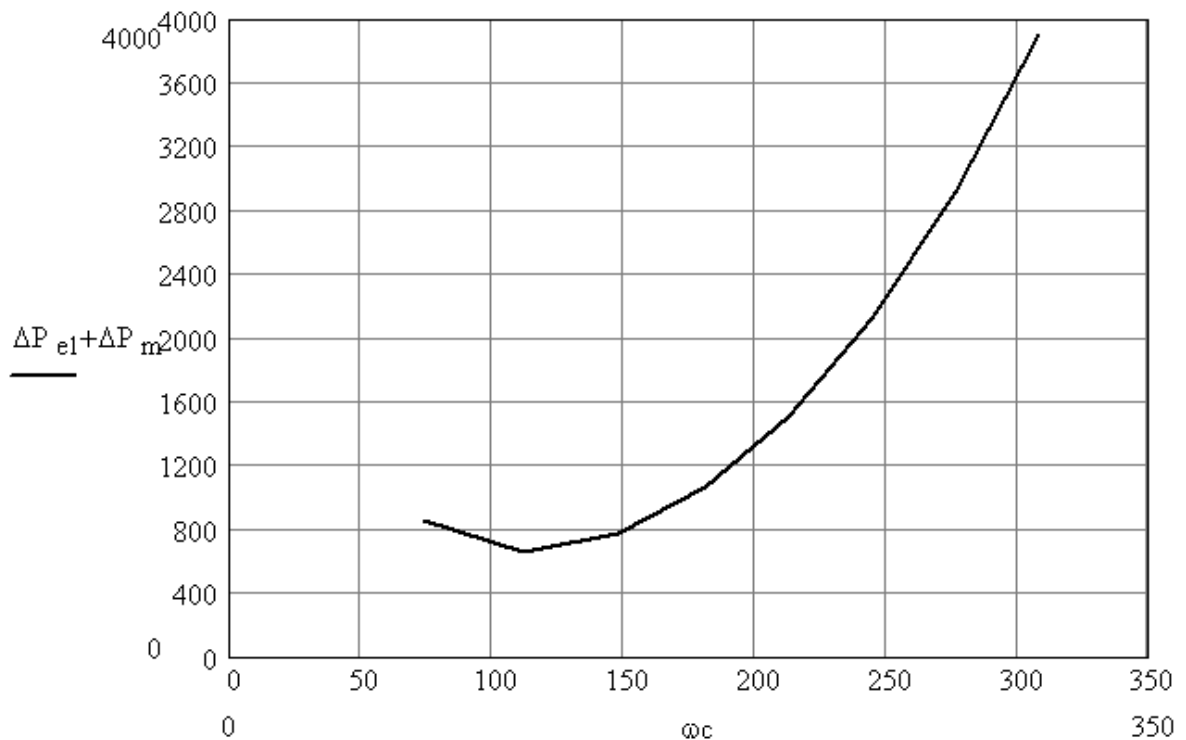


Рисунок 2.4 - Характеристика повних втрат, при $M_c = var$

К.К.Д. електроприводу визначається за формулою:

$$\eta := 1 - \frac{(\Delta P_{e1} + \Delta P_m)}{P_v + \Delta P_{e1} + \Delta P_m} \quad (3.23)$$

Коефіцієнт потужності електропривода

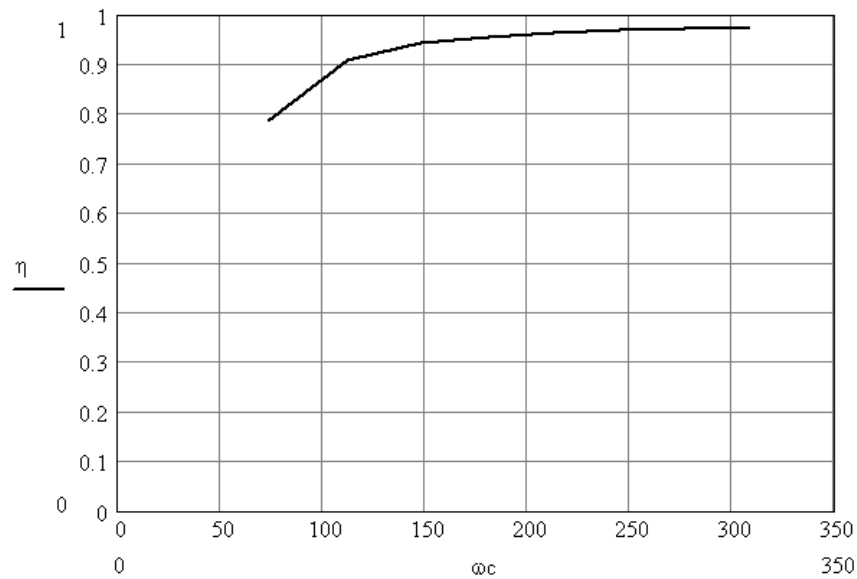


Рисунок 3.5 - Характеристика К.К.Д., при $M_c = \text{var}$

3.5 Динамічні характеристики приводного двигуна

Розрахунок динамічних характеристик при запуску асинхронного двигуна типу АЗ-315S-2У3 виконано за допомогою додатку IM Characteristics Calculator у середовищі MATLAB, розробленого на кафедрі електромеханіки. Цей додаток дозволяє за паспортними даними асинхронного двигуна розраховувати природні характеристики асинхронного двигуна, штучні характеристики асинхронного двигуна при обраному законі частотного керування та динамічні режими запуску асинхронного двигуна.

Головне вікно цього додатку зображено на рис. 3.5.

Field	Value
User Name	Паанов В.О.
Motor Type	A3-315S-2Y3
Power, kW	160
Line Voltage, V	380
Speed, rpm	2965
Efficiency, %	94
Power factor	0.9
Starting current, ...	6
Overload ability, ...	2.1

Calculate Parameters

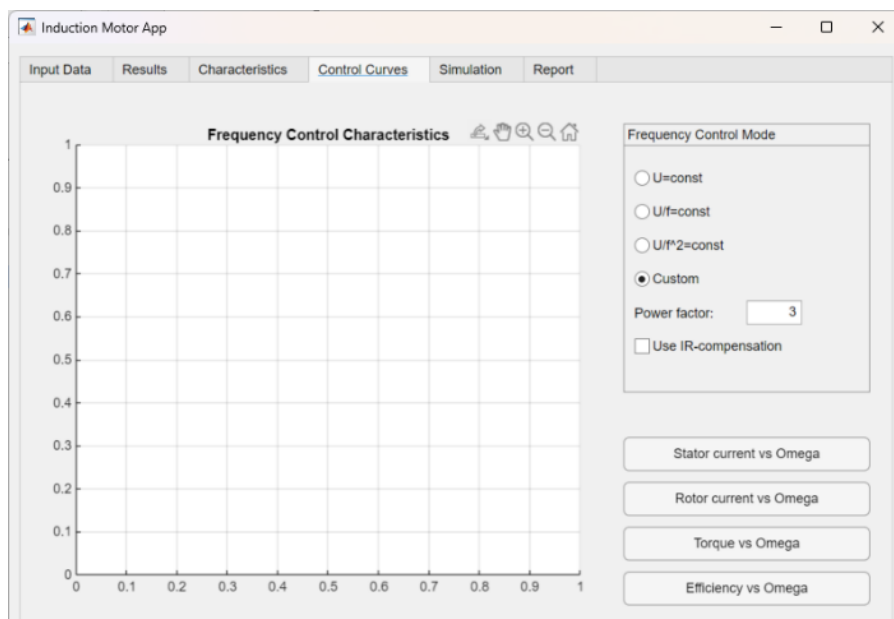
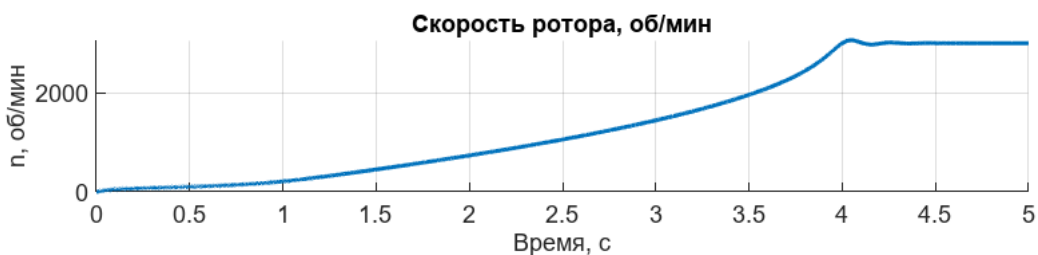


Рисунок 3.5 - Головне вікно додатку IM Characteristics Calculator

На рис. 3.6 наведено діаграми запуску електроприводу компресора. Су-марний приведенний момент інерції електроприводу складає 20 кгм^2 . Для вирі-шення рівнянь математичної моделі АД використано метод Дорманда-Прінса ode45 з автоматичним вибором кроку інтегрування.

Частота обертання ротора:



Фазні струми статора



Фазні струми ротора

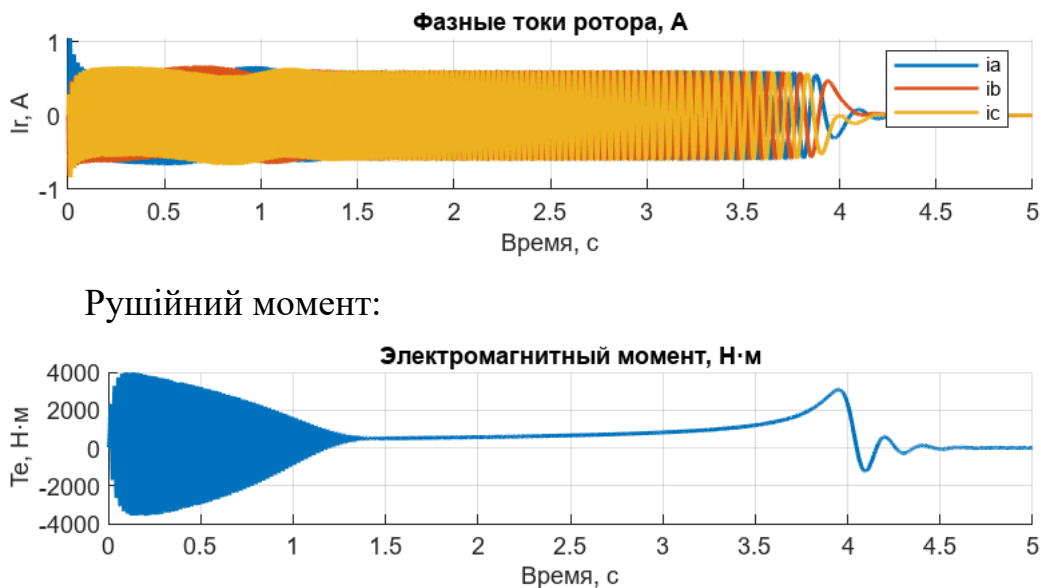


Рисунок 3.5 - Діаграми прямого запуску електродвигуна АЗД 13-52-12 УХЛ4

3.6 Заходи з енергозбереження електроприводом механізму.

Розглянемо більш докладно основні принципи економії енергії в електроприводі й засобами електропривода.

Розділимо можливі ситуації на дві великі групи:

- 1) регулювання швидкості не використовується;
- 2) нерегульований електропривод замінюється регульованим.

У першій групі основна можливість впливати на енергетичні процеси - правильний вибір основного обладнання, в першу чергу, електродвигуна і редуктора, якщо він використовується, а також застосування деяких заходів, що знижують втрати.

Вибір електрообладнання. Важливим і ще дуже мало використаним резервом енергозбереження служить правильний вибір основного електрообладнання в простому, самому масовому і енергоємному нерегульованому електроприводі.

Європейські експерти вважають, що середній коефіцієнт використання двигунів (відношення середньої потужності за цикл до номінальної)

становить 0,6. Як показує досвід, у вітчизняних умовах цей коефіцієнт іноді істотно нижче. Ситуація додатково ускладнилася у зв'язку з частковим згор-танням в 1990-і роки ряду виробництв. Виявилось, що нерідко частка енергетичних витрат на решту продукцію непомірно зростає, що робить виробництво нерентабельним. Істотний ефект в подібних випадках може дати проста заміна обладнання (двигунів), однак коректне рішення такого завдання передбачає досить високу кваліфікацію персоналу. Тут вельми ефективні прикладні комп'ютерні програми, орієнтовані на широкий круг фахівців, пов'язаних з електроприводом, і підтримують прийняття раціональних рішень. Досвід створення таких програм показав, що незважаючи на великі витрати праці, ефективність такого підходу: в руках фахівців виявляється потужний, зручний, дуже легко освоюваний інструмент, що дозволяє швидко вирішувати дуже непрості завдання. Був створений пакет програм, що охоплюють масовий електропривод змінного струму і дозволяють вирішувати завдання вибору і перевірки асинхронних двигунів АИР (AIC) з висотами осей обертання до 160 мм, оцінювати їх характеристики при відхиленні напруги від норми, визначати термін служби підшипників в будь-яких умовах їх роботи, оцінювати втрати в ремінних передачах в різних режимах та інше. На жаль, в період створення програм (1990-1994 рр..) Вітчизняні підприємства не були в достатній мірі оснащені комп'ютерами, тому програми інтенсивно експлуатувалися лише в європейських фірмах. Зараз становище змінилося, і цей вид підтримки інженерних рішень в сфері електроприводу може бути з успіхом перенесений у вітчизняну практику. Зменшення втрат в двигунах. У світовій практиці з середини 1970-х років активно пропагується використання енергозберігаючих двигунів (Energy Efficient Motors - EEM). Ідея дуже проста: в асинхронний двигун закладається на 25 ... 30% більше активних матеріалів (заліза, міді, алюмінію), за рахунок чого на 30% знижуються втрати і зростає ККД - на 5% в невеликих двигунах (одиниці кВт) і на 1% в двигунах 70...100кВт. Ціна двигуна зазвичай збільшується на 20 - 30%, термін окупності за даними європейських експертів складає

близько двох років. Існує безліч захоплених публікацій, що відносяться до ЕЕМ. Зокрема, вважається, що якщо б всі двигуни в Європі були замінені на ЕЕМ, то економія електроенергії була б еквівалентна закриттю шести електростанцій по 500 МВт. Особливо широкий розмах кампанія по просуванню ЕЕМ на ринок придбала в 1990-і роки в США. Десятки фірм - виробників ЕЕМ - використовують розвинену прикладну комп'ютерну програму Motor Master +, полегшуює користувачам вибір потрібних енергозберігаючих двигунів для заміни встановлених. Широко рекламується досягається ефект - економія близько 5% електроенергії, в цьому процесі бере участь Міністерство енергетики США, організований ряд спеціальних програм та інше. Однак цей напрямок енергозбереження містить ряд спірних і неочевидних обставин.

По-перше, мова йде про нерегульованому електроприводі, тобто заощадивши кілька відсотків на втратах в двигуні, в наймасовіших і енергоємних застосуваннях (насоси, вентилятори та інше.) можна продовжувати втрачати в десятки разів більше в агрегатах, що обслуговуються електроприводом.

По-друге, розрахункова економія буде досягатися лише при мало змінюється і близькою до номінальної навантаженні. При різко змінному навантаженні, наприклад при значній частці холостого ходу в циклі, економія буде істотно менше розрахункової.

По-третє, економія може бути помітною (рекламовані 4 ... 5%), якщо всі елементи силового каналу правильно вибрані і налаштовані. Так, втрати в ремінної передачі, часто використовуваної, наприклад, в електроприводі вентиляторів, можуть варіюватися від 5 до 10 ... 12% тільки за рахунок нераціонального вибору параметрів передачі і можуть різко зростати при невірному обранню натягу ременів. Таким чином, існує ряд причин, які можуть практично знецінити цей популярний в США і Європі спосіб енергозбереження в електроприводі. Зменшення втрат в живлячих мережах. Проблема втрат потужності виникає за рахунок низького, особливо при малих навантаженнях, коефіцієнта потужності ($\cos\phi$), в силу чого ток $I_{\text{лін}}$, що протікає в живильних лініях,

трансформаторах, вище струму I_a , пов'язаного з активною потужністю, отже, вище і втрати в лініях $3I^2 \text{лін} R_{\text{л}}$. Проблема компенсації реактивної потужності традиційно користується великим (іноді надмірно великим) увагою у вітчизняній практиці. Знайдено і застосовуються різні технічні рішення (перемикані конденсаторні батареї, синхронні компенсатори, фільтрокомпенсуючі пристрою та інше.). Однак більшість цих прийомів орієнтовані на нерегульований, а іноді й сильно недовантажений електропривод з асинхронними двигунами з короткозамкненим ротором. Досягнутий ефект може виявитися незрівнянно менше збитків від використання нерегульованого електропривода. До інших способів енергозбереження в нерегульованому електроприводі можна віднести:

- зниження часу холостого ходу;
- перемикання обмоток за схемами Δ -Y на час холостого ходу або малих навантажень;
- зміна типу гальмування в електроприводах з частими пусками і гальмуваннями.

Перехід від нерегульованого електропривода до регульованого. Цей перехід є генеральним напрямком енергозбереження, прийнятим в усьому світі і дає найбільший ефект як в частині економії електроенергії, так і в інших показниках технологічного процесу. Для цього в силовий канал включається додатковий елемент - перетворювач електричної енергії, що подає до асинхронного двигуна напругу з регульованими амплітудою і частотою. В результаті забезпечується подача кінцевому споживачеві необхідної (або оптимальної) потужності $P_{\text{вих}}$ і виключаються великі втрати в засувці. Одна з величин - витрата води - змінюється некеровано, оскільки вона визначається відкритими в даний момент кранами, а друга задається насосом і, отже, може управлятися. Одна з величин - витрата води - змінюється некеровано, оскільки вона визначається відкритими в даний момент кранами, а друга задається насосом і, отже, може управлятися.

В інших технологічних процесах вільні для управління обидві утворюють потужність величини. Так, при сопілці колод, обробці металів різанням існують оптимальні режими, які визначаються найкращим в окремих випадках поєднанням швидкості і сили різання: $P_{\text{опт}}^2 = M_{\text{опт}} \omega_{\text{опт}}$. Слід підкреслити, що в розглянутому випадку поряд з головним ефектом - істотним зниженням втрат у технологічній машині, що обслуговується електроприводом, і в інших елементах силового каналу досягається ряд додаткових, часто не менш важливих ефектів: раціоналізується весь технологічний процес, економляться інші ресурси, збільшується термін служби основного обладнання, знижується шум та інше. Тут особливо важливий вибір раціонального з технічної та економічної точок зору способу управління величиною (величинами), що утворює споживану технологічними машинами потужність. До середини 1980-х років єдиним доступним рішенням був електропривод постійного струму. Його загальновідомі недоліки - дорога машина і необхідність в обслуговуванні - обмежували використання випадками, коли без регульованого електроприводу обійтися було не можна (верстати, металургійні агрегати, потужні екскаватори та інше.). Електропривод постійного струму практично не використовувався в масових агрегатах (насоси, вентилятори та інше.), там абсолютно переважав нерегульований електропривод з асинхронними двигунами з короткозамкненим ротором. Зараз ситуація радикально змінилася: на широкому ринку з'явилися досконалі і доступні електронні перетворювачі частоти. Вони випускаються десятками зарубіжних і вітчизняних фірм, мають практично однакову структуру (некерований випрямляч-фільтр-автономний широтно-амплітудний модулятор (ШІМ-інвертор)) і розвинену систему мікропроцесорного керування, що забезпечує широкі функціональні можливості, надійний захист приводу і інші важливі для користувача функції. Саме ці пристрої справили переворот в сучасному електроприводі: різко (до 15%) знизили частку електроприводів постійного струму в загальному парку регульованих електроприводів, стали основним (і поки практично єдиним) засобом, що реалізує

високоякісний регульований асинхронний електропривод в масових застосуваннях. Разом з тим робилися спроби використовувати для регулювання швидкості асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором в тривалому режимі (насоси та ін) більш прості тиристорні регулятори напруги. Ці пристрої, широко і успішно застосовуються для плавного пуску і зупинки електроприводу («м'які» пускачі), за рідкісними винятками не можуть скільки-небудь ефективно використовуватися для безперервного тривалого регулювання швидкості. Вони вимагають, навіть при найсприятливішій вентиляторній навантаженні, збільшення потужності двигуна в 2-3 рази, спеціального виконання ротора (підвищене ковзання), інтенсивного незалежного охолодження і при цьому мають низьку надійність і низькі енергетичні показники. Настільки ж неефективні й інші способи регулювання швидкості асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором, засновані на зміні напруги при незмінній частоті (спеціальні «хитрі» асинхронні двигуни, муфти ковзання та ін.) Стають мало-ефективними і багатошвидкісні асинхронні двигуни. Вони важкі, дороги, вимагають багато контактної апаратури, вартість приводу порівнянна з вартістю системи перетворювач частоти - серійний двигун. Вихід на широкий ринок електронних перетворювачів частоти ставить нове завдання - створення асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором. Тут, мабуть, вдасться суттєво заощадити активні матеріали, знизити собівартість та інше. Отже, система електронний перетворювач частоти-асинхронний двигун з короткозамкненим ротором стає головним на найближчі роки технічним рішенням масового регульованого електроприводу. Вона особливо приваблива на стадії модернізації, так як зберігається все існуюче обладнання, але між мережею і двигуном включається новий елемент - перетворювач частоти, радикально змінює весь технічний і економічний вигляд системи.