

Лекція №25. Закони частотного регулювання асинхронними

двигунами.

25.1. Загальні визначення.

Використання асинхронного двигуна в регульованому електроприводі, особливо при його частотному управлінні, представляє особливий інтерес. Для реалізації цього способу керування живлення двигуна необхідно здійснювати від керованого перетворювача частоти. В якості перетворювачів частоти можуть використовуватися синхронні генератори, що обертаються зі змінною швидкістю, асинхронні перетворювачі частоти і статичні перетворювачі, що виконуються на базі автономних інверторів напруги і струму, а також на базі силових транзисторів.

При частотному управлінні АД виникає необхідність регулювати не тільки частоту, але і величину напруги, причому напруга має регулюватися не лише у функції частоти, але ще й у функції навантаження. Регулювання напруги тільки в функції частоти з урахуванням характеристик механізму може бути реалізоване у розімкнутих системах частотного управління, а в функції частоти і навантаження – лише в замкнутих системах. Верхня межа регулювання частоти, отже, швидкості двигуна, обмежується міцністю кріплення обмоток ротора і помітним збільшенням втрат в сталі статора. Нижня межа обмежена складністю реалізації джерела живлення з низькою частотою і можливістю нерівномірності обертання двигуна. Як правило, напруга регулюється лише вниз по відношенню до номінальної, а частота – вгору і вниз по відношенню до основної (номінальної).

При виборі співвідношення між частотою і напругою, що підводиться до статора АД, найчастіше виходять з умови збереження перевантажувальної здатності двигуна для будь-якої з його регульованих характеристик. Основним законом частотного регулювання є закон Костенко

$$\frac{U'_1}{U_1} = \frac{f'_1}{f_1} \cdot \sqrt{\frac{M'_C}{M_C}},$$

де M_C і M'_C – статичні моменти опору відповідні швидкості двигуна при частотах f_1 та f'_1 , а U_1 і U'_1 – відповідні цим частотам напруги.

У відносних одиницях цей закон має вигляд:

$$V_1 = \varphi_1 \cdot \sqrt{\mu_C},$$

$$\text{де } V_1 = \frac{U'_1}{U_1}; \varphi_1 = \frac{f'_1}{f_1}; \mu_C = \frac{M'_C}{M_C}.$$

З нього випливає, що закон зміни напруги визначається не тільки частотою джерела живлення, але і характером зміни моменту опору механізму на валу двигуна при зміні кутової швидкості. Відповідно до формули Бланка

$$M_C = M_0 + (M_{CH} - M_0) \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^x$$

або в відносних одиницях

$$\mu_c = \mu_0 + (1 - \mu_0) \cdot v^x = \mu_0 + (1 - \mu_0) \cdot \varphi^x,$$

так як

$$\omega = \frac{2\pi f_1}{\rho_{II}}; \quad \omega_H = \frac{2\pi f_{1H}}{\rho_{II}} \quad \text{і} \quad \frac{\omega}{\omega_H} = v = \frac{2\pi f_1}{\rho_{II}} \cdot \frac{\rho_{II}}{2\pi f_{1H}} = \frac{f_1}{f_{1H}} = \varphi_1.$$

Основний закон тепер можна представити у вигляді:

$$V_1 = \varphi_1 \cdot \sqrt{\mu_c} = \varphi_1 \cdot \sqrt{\mu_0 + (1 - \mu_0) \cdot \varphi_1^x}.$$

При постійному моменті на валу двигуна M_c , отже і μ_c , не залежить від швидкості, а значить і частоти. Тому $x = 0$ і

$$V_1 = \varphi_1 \cdot \sqrt{\mu_0 + (1 - \mu_0) \cdot \varphi_1^0} = \varphi_1 \quad \text{або} \quad \frac{V_1}{\varphi_1} = const, \quad \frac{U_1}{f_1} = const.$$

Отриманий закон – це закон пропорційного управління. Механічні характеристики двигуна при цьому законі зображені на рис.25.1.

Жорсткість характеристик зберігається порівняно високою. Однак при значному зниженні частоти (нижче $0,5f_{1H}$) зменшується критичний момент, отже перевантажувальна здатність двигуна.

Пояснюється це падінням напруги на активному опорі r_1 статора, в результаті чого до намагнічуючого кола двигуна підводиться тим менша напруга, чим менша частота, що, в свою чергу зменшує магнітний потік, від величини якого залежить $M_{кр}$. Плавне регулювання до $f_1 = 0$ при цьому законі неможливо. Нemoжливо також забезпечити сталу роботу двигуна при $M_c = const$ в широкому діапазоні регулювання частоти.

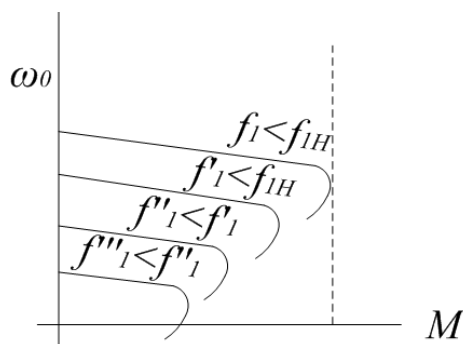


Рис.25.2.

Закон пропорційного регулювання доцільний тільки для великих двигунів, у який r_1 малий, а для малопотужних двигунів він малоефективний, тому що вже при $\varphi_1 < 0,5$ перевантажувальна здатність їх помітно знижується (у них великий r_1). Втрати в двигуні більші, ніж при основному законі.

При ідеальному вентиляторному моменті опору $x = 2$, $\mu_0 = 0$ і

$$V_1 = \varphi_1 \cdot \sqrt{0 + (1 - 0) \cdot \varphi_1^2} = \varphi_1 \sqrt{\varphi_1^2} \quad \text{або} \quad \frac{V_1}{\varphi_1^2} = const.$$

Механічні характеристики при цьому законі зображені на рис.25.2.

При постійній потужності статичного навантаження $P_c = const$

$$M_c = \frac{P_c}{\omega} = \frac{M_H \omega_H}{\omega} \quad \text{або} \quad \mu_c = \frac{1}{\varphi_1}.$$

В цьому випадку нехтуючи величиною $\mu_0 x = -1$ і закон управління має вигляд або.

Механічні характеристики при цьому законі зображені на рис.25.2.

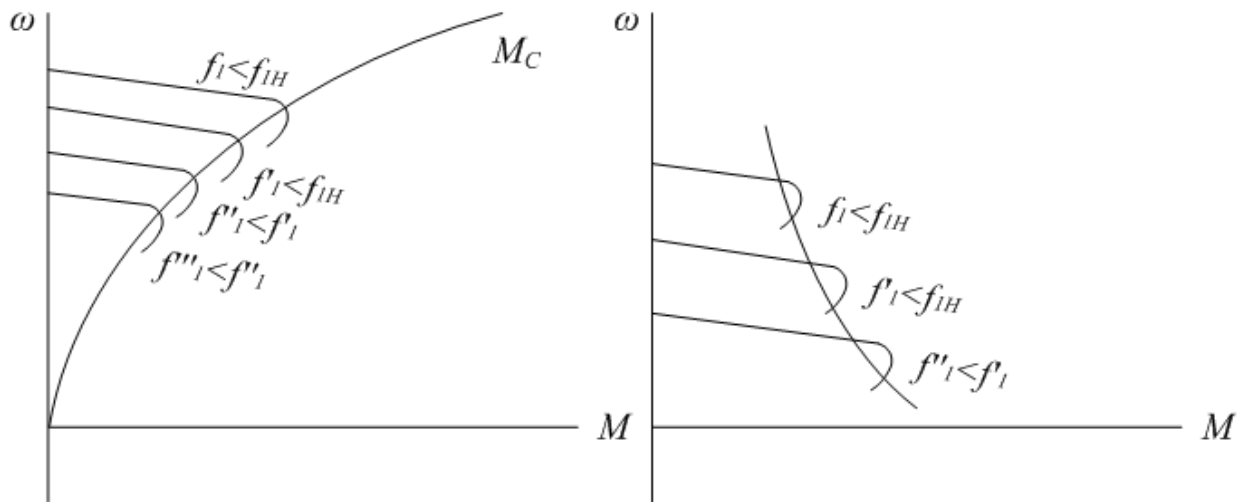


Рис.25.2.

Перераховані закони легко реалізуються в розімкнутих системах електроприводу, тому що напругу тут потрібно змінити тільки в функції частоти. Але змінювати напругу не тільки в функції частоти, але ще і в функції напруги, можливо тільки в замкнених системах електроприводу, що містять зворотні зв'язки. У цьому випадку повинні використовуватися закони, що забезпечують компенсацію падіння напруги на опорах обмоток статора і ротора двигуна, тому що падіння напруги залежить від навантаження. Тобто закони, що дозволяють підтримувати постійними потокозчеплення статора, ротора і взаємної індукції.

Тому напругу, що підводиться до статора і зміну частоти (навіть при її сталості) необхідно регулювати таким чином, щоб компенсувати падіння напруги на всіх елементах схеми заміщення АД, які є принципово важливими з точки зору передачі електромагнітної потужності. Цим самим можна забезпечити сталість потокозчеплення ψ , ψ_{12} і ψ_2 .

25.2. Система ПЧ-АД з електромашинним і статичним перетворювачем частоти і основні техніко-економічні показники.

25.1. Загальні положення.

У разі електромашинного перетворювача частоти асинхронні двигуни отримують живлення від синхронного генератора (СГ), що приводиться в обертання ДПС незалежного збудження, який, у свою чергу, отримує живлення від ТП або генератора постійного струму незалежного збудження. Як електромашинні перетворювачі частоти застосовуються і асинхронні перетворювачі, що обертаються асинхронним двигуном, який в ряді випадків поєднаний з перетворювачем в одному корпусі (для живлення електропил в лісовій промисловості).

В якості прикладу на рис.25.3. зображена схема одночасного частотного регулювання асинхронного ряду короткозамкнених АД, які отримують

живлення від СГ, швидкість якого, отже, частота вихідної напруги регулюється по системі ТП-Д.

Така схема застосовується в тих випадках, коли потрібно одночасно синхронно змінювати швидкість ряду короткозамкнених АД, а саме, для живлення рольгангів прокатного стану. У цій схемі забезпечується закон пропорційного регулювання, тобто $\frac{U_1}{f_1} = const$.

Управління і регулювання швидкості ведеться в цій схемі по двох каналах: канал управління частотою, що впливає на швидкість СГ і канал керування напругою, що впливає на збудження СГ. Перший канал має структуру системи ТП-Д і володіє значною інерційністю, зумовленою механічною інерцією агрегату (ДПС-СГ). Другий канал також інерційний у зв'язку з наявністю електромагнітної інерції кола збудження СГ. Регулювання напруги на статорах АД здійснюється зміною потоку збудження СГ, а регулювання напруги – зміною швидкості обертання якоря СГ.

Більш досконалими є системи зі статичними перетворювачами частоти. У цих системах в самому перетворювачі два ступені перетворення енергії – ступінь перетворення змінного струму в постійний і ступінь інвертування. Ці дві ступені в самотійному вигляді присутні в ПЧ з ланкою постійного струму (рис. 25.4.), а в НПЧ функції випрямлення та інвертування суміщені в реверсивному перетворювачі постійного струму, випрямлена напруга якого змінюється системою управління. Принципова схема електроприводу з НПЧ зображена на рис.25.4,б.

Відомо, що ТПЧ може володіти або властивостями джерела напруги (АН), або джерела струму (РТА). У першому випадку перетворювач має канал управління напругою і канал управління частотою. У другому випадку ТПЧ крім каналу управління частотою має канал керування струмом. Канал управління частотою можна вважати практично безінерційним. Канал управління напругою або струмом впливає на УВ і його швидкодія визначається швидкодією випрямляча.

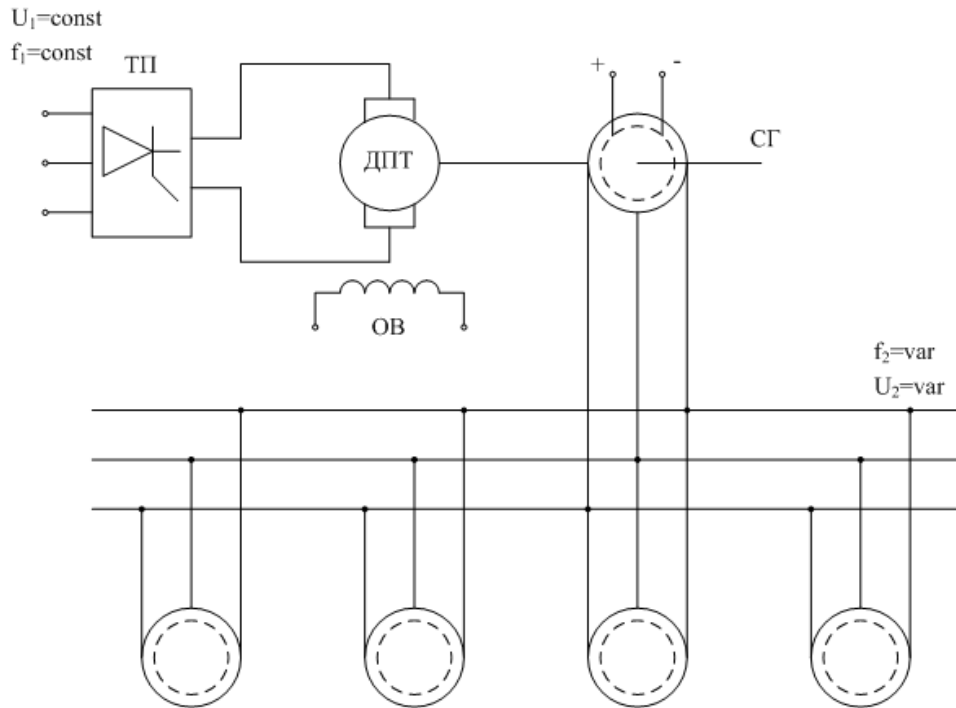


Рис.25.3.

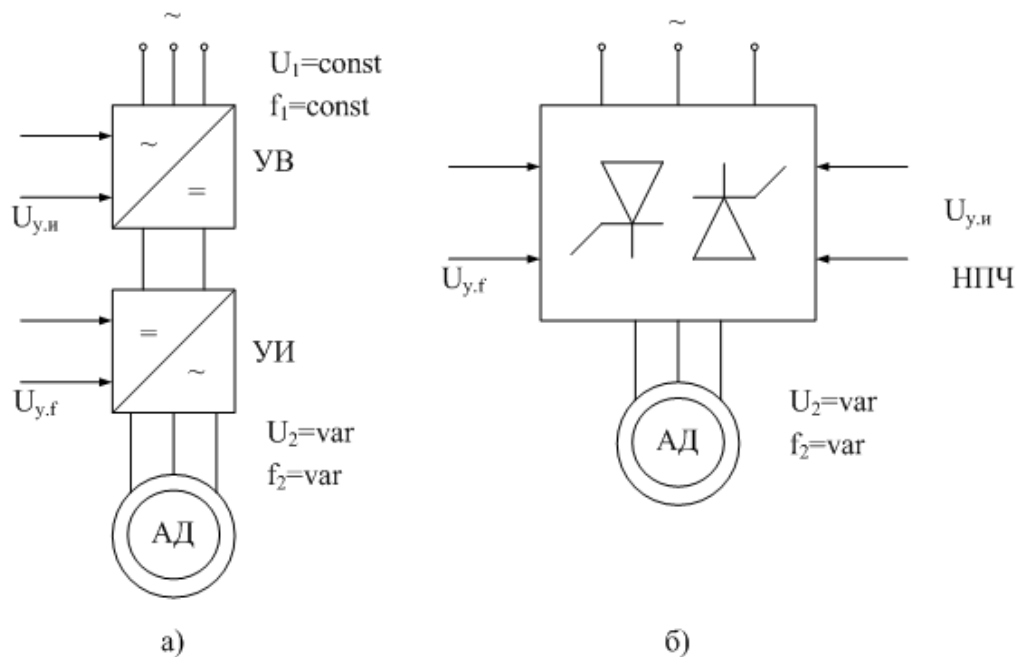


Рис.25.4.

Регулювання вихідної напруги ТПЧ здійснюється впливом на УВ шляхом зміни кута α , а частоту напруги регулювання шляхом зміни тривалості провідного стану тиристорів керованого інвертора.

Динамічні властивості системи ПЧ-АД як об'єкта управління гірші, ніж властивості регульованих електроприводів постійного струму в зв'язку з відсутністю незалежного каналу регулювання магнітного потоку, аналогічного обмотці збудження ДНЗ. Так, при живленні АД від АН потікозчеплення Ψ_1 , Ψ_{12} , і Ψ_2 складно залежать від U , f , і S_a , що було видно під час розгляду питання про статичні характеристики АД при частотному управлінні.

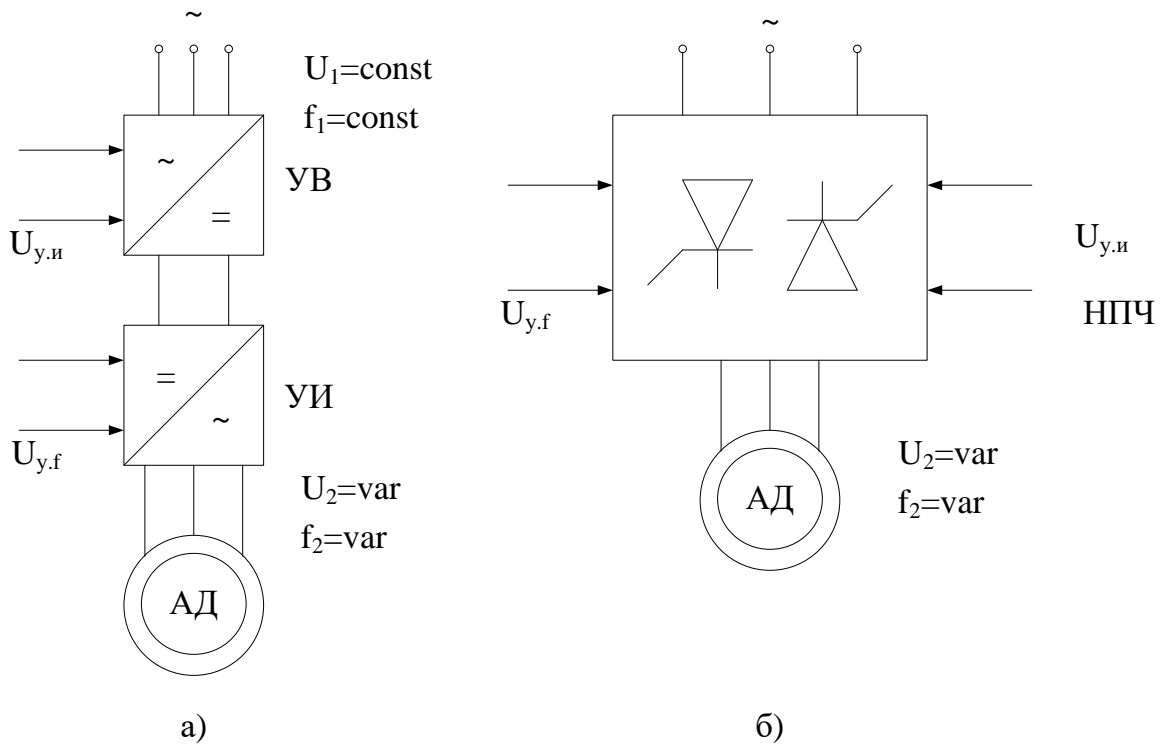


Рис.25.5.

ККД системи ПЧ-АД з тиристорним перетворювачем, які мають ланка постійного струму, трохи нижчі, ніж в системі ТП-Д з-за подвійного перетворення енергії. Коефіцієнт потужності близький до значення цього коефіцієнта системи ТП-Д, якщо в якості ланки постійного струму використовується ТП. Він досить високий тільки в системах з некерваним випрямлячем.

Найбільш близькими до системи ТП-Д по габаритних показниках володіє система з НПЧ.