

Лекція №23. Розрахунок статичних механічних характеристик в системі Г-Д.

23.1. Розрахунок характеристик в системі Г-Д без зворотніх зв'язків.

Розрахунок статичних механічних характеристик систем Г-Д без зворотніх зв'язків можна виконати використовуючи рівняння:

$$\omega = \frac{E_G}{k \cdot \phi} - \frac{R_{\Sigma}}{k \cdot \phi} \cdot I_{\Sigma} \quad \text{і} \quad \omega = \frac{E_G}{k \cdot \phi} - \frac{R_{\Sigma}}{(k \cdot \phi)^2} \cdot M.$$

Порядок розрахунку механічної характеристики наступний:

1. Визначається номінальна ЕРС генератора, що відповідає номінальному навантаженні двигуна

$$E_{ГН} = k \cdot \phi \cdot \omega_H + I_{\Sigma} \cdot R_{\Sigma} = E_{ДВ} + I_H \cdot R_{\Sigma} = U_H + I_{\Sigma} \cdot R_{\Sigma}.$$

2. Визначається ω_0 двигуна, відповідна основній характеристиці:

$$\omega_0 = \frac{E_{ГН}}{k \cdot \phi}.$$

У цих виразах $R_{\Sigma} = R_{\Sigma Г} + R_{\Sigma Д}$; Φ – потік двигуна.

3. За рівняння механічної характеристики знаходиться швидкість $\omega_{\text{нрозр}}$ двигуна при номінальному навантаженні $M = M_H$. Через 2 точки з координатами $\omega = \omega_0$; $M = 0$ і $\omega = \omega_{\text{нрасч}}$; $M = M_H$ проводиться основна характеристика.

4. Для розрахунку характеристик, відповідних іншим ω_0 , визначається ЕРС генератора при заданих швидкостях ω_X і відповідна цій ЕРС швидкість ω_{0X} :

$$E_{ГХ} = k \cdot \phi \cdot \omega_X + I_H \cdot R_{\Sigma}.$$

Далі розрахунок ведеться у відповідності до п.3.

5. Визначається потік збудження генератора, що створює ЕРС $E_{ГХ}$:

$$\phi_{ГХ} = \frac{E_{ГХ}}{K_G \cdot \omega_{HG}},$$

де $K_G = \frac{N \cdot \rho_{\Pi}}{2 \cdot \pi \cdot a}$, ω_{HG} – швидкість обертання генератора, N , ρ_{Π} , a – число витків обмотки якоря генератора, число пар його полюсів і число пар паралельних віток обмотки якоря.

6. За кривою намагнічування генератора знаходяться відповідний потік $\Phi_{ГХ}$ струм збудження $I_{3Х}$.

7. Розраховується необхідна напруга збудження

$$U_{ВХ} = I_{ВХ} \cdot R_B,$$

де $I_{ВХ} = i_{ВХ}^* \cdot I_{ВН}$, якщо залежність потоку від струму дана у відносних одиницях.

23.2. Система тиристорний перетворювач - двигун (ТП-Д).
 Принципова схема системи ТП-Д зображена на рис.23.1.

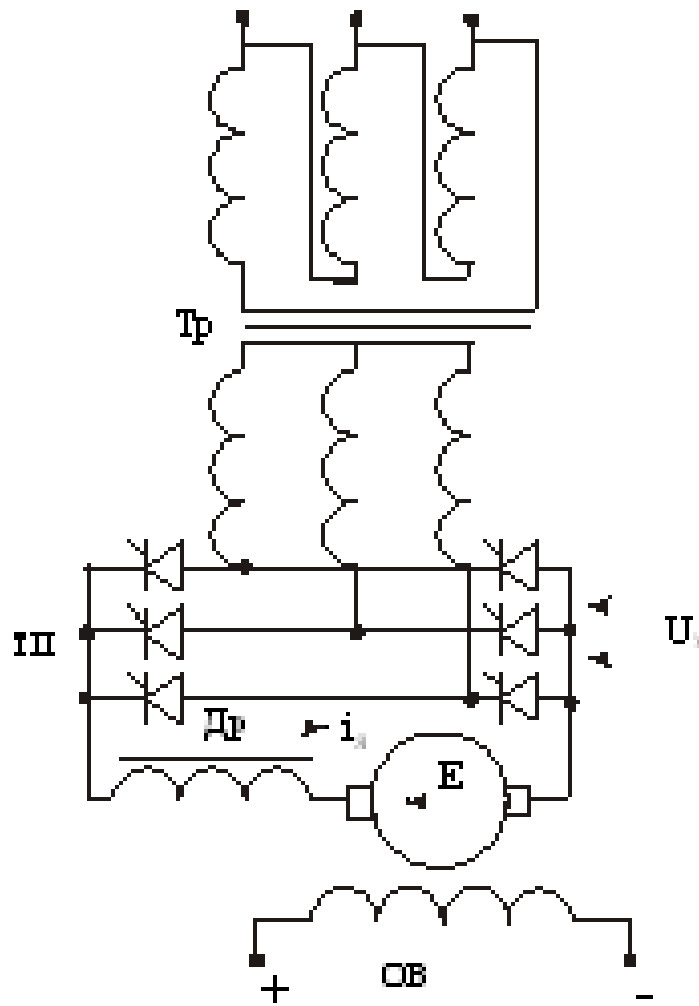


Рис.23.1.

Тут двигун постійного струму незалежного збудження живиться від тиристорного перетворювача.

Часова діаграма напруг мережі живлення до кривих випрямленої напруги представлена на рис. 23.2. Тут α – кут затримки відкривання вентилів, γ – кут комутації, U_d – середнє значення випрямленої напруги, $E_{дв} = E$ - ЕРС двигуна.

Середнє значення випрямленої напруги

$$U_d = \sqrt{2} \cdot U_{2л} \cdot \sin \frac{m}{\pi} \cdot \sin \frac{\pi}{m} \cdot \cos \alpha = U_{d0} \cdot \cos \alpha,$$

де m – число пульсацій випрямленої напруги (для мостової трифазної схеми $m=6$); $U_{2л}$ – діюче значення лінійного напруга вторинної обмотки живильного трансформатора (або мережі в безтрансформаторних схемах), U_{d0} – максимальне значення середньої випрямленої напруги при $\alpha = 0$.

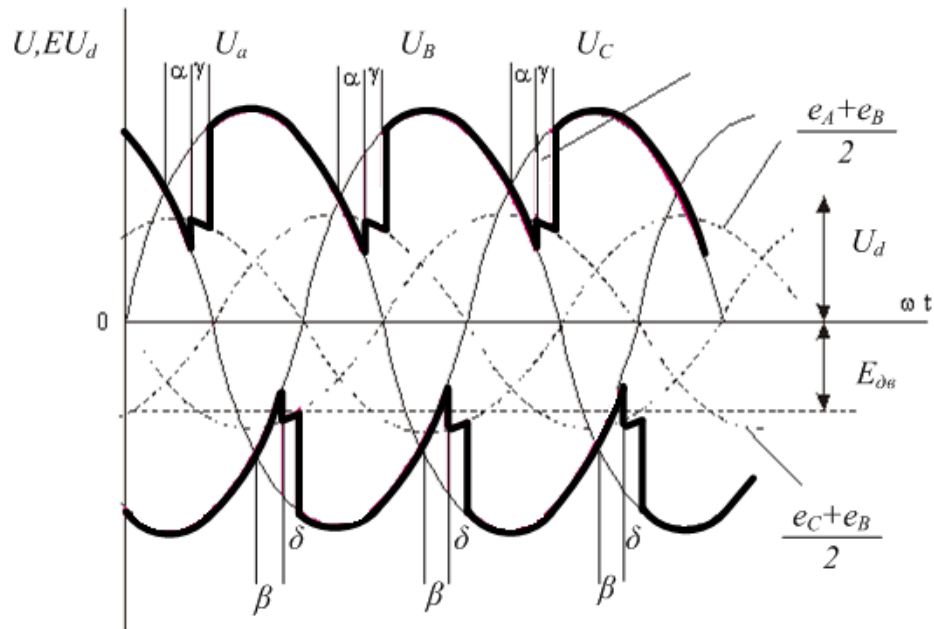


Рис.23.2.

Залежність ЕРС ТП від напруги керування U_k при лінійній характеристиці СІФК представлена на рис. 23.3.

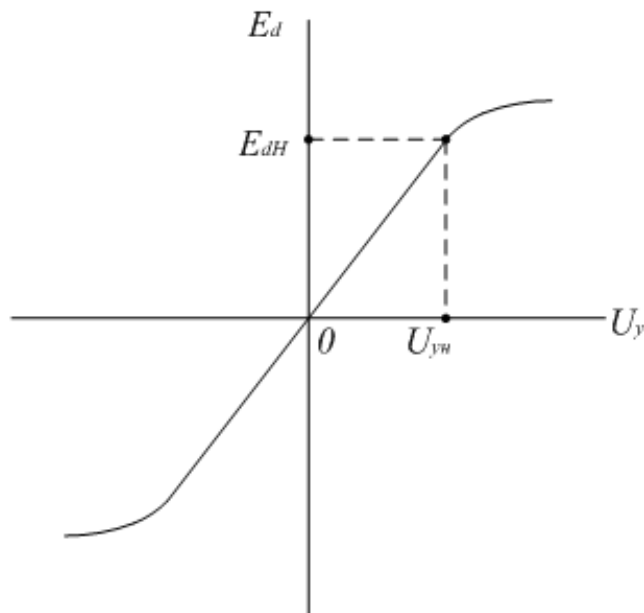


Рис.23.3.

При її заміні лінеаризованою ТП як динамічна ланка системи електроприводу в режимі безперервного струму описується рівнянням

$$K_n \cdot U_y = e_d + \frac{L_{ТП}}{R_{ТП}} \cdot \frac{de_d}{dt} = e_d \cdot (1 + T_n \cdot p),$$

де $K_n = \frac{E_d}{U_y} = const$ - коефіцієнт підсилення ТП по напрузі; $T_n = \frac{L_{ТП}}{R_{ТП}}$ - мала

постійна часу ТП, що враховує дискретність, запізнювання і наявність фільтрів у СІФК.

Рівняння електричної рівноваги в якірного кола системи ТП-Д

$$e_d - e = R_{я\Sigma} \cdot i_{я} + \frac{L_{я\Sigma}}{R_{\mathcal{E}}} \cdot \frac{di_{я}}{dt} = i_{я} \cdot R_{\mathcal{E}} (1 + T_{я} \cdot p),$$

$$\text{де } R_{\mathcal{E}} = \frac{m x_{TP}}{2\pi} + R_{я} + R_{op} + 2R_{mp} + R_{cp.в}.$$

Тут $R_{\mathcal{E}}$ – еквівалентний опір якірного кола випрямленого струму; R_{TP} – активний опір фази трансформатора, приведений до вторинного кола; $R_{я\Sigma}$ – опір якірного кола двигуна $R_{я\Sigma} = R_{я} + R_{он} + R_{ко}$; $R_{с.др}$ – опір згладжувального дроселя; $R_{ср.в}$ – усереднений опір вентилів; $X_m = X_2 + X_1 \cdot \left(\frac{w_2}{w_1}\right)^2$ – індуктивний опір фази трансформатора, зумовлений полями розсіювання, а x_2 і x_1 – індуктивні опор вторинної та первинної обмоток трансформатора; Φ – магнітний потік двигуна.

Приймаючи, що $e_d = K\phi_{об} \cdot \omega_0$; $e = K\phi_{об} \cdot \omega$; $i_d = i_{я} = \frac{M}{K\phi}$ отримаємо рівняння механічної характеристики двигуна для будь-якого режиму роботи

$$K\phi(\omega_0 - \omega) = R_{я\Sigma} \cdot \frac{M}{K\phi} (1 + T_{я} \cdot p) \text{ або } \frac{(K\phi)^2}{R_{я\Sigma}} (\omega_0 - \omega) = M(1 + T_{я} \cdot p).$$

$$\text{Оскільки } \frac{(K\phi)^2}{R_{\mathcal{E}}} = \beta, \text{ то } M(1 + T_{я} \cdot p) = \beta(\omega_0 - \omega).$$

Звідси випливає, що в режимі безперервного струму механічні характеристики двигуна в системі ТП-Д при прийнятих допущеннях аналогічні характеристикам системи ГД.

При $p = \frac{d}{dt} = 0$, отримаємо рівняння статичних механічних характеристик

$$M = \beta(\omega_0 - \omega) \text{ або } \omega = \omega_0 - \frac{M}{\beta}.$$

Для режиму безперервного струму рівняння механічних характеристик можна записати у вигляді:

$$\omega = \frac{U_{d0} \cdot \cos \alpha - \Delta U_B}{K\phi} - \frac{R_{\mathcal{E}}}{(K\phi)^2} M.$$

Сімейство статичних механічних характеристик при різних кутах α , зображено на рис.23.4. Це прямі, що відтинають на осі ординат відрізки, відповідні швидкості ідеального холостого ходу

$$\omega'_0 = \frac{U_{d0} \cdot \cos \alpha - \Delta U_B}{K\phi}.$$

Однак при живленні двигуна від однокомплектного ТП або двокомплектного ТП при роздільному керуванні комплектами вентилів в

області малих навантажень струм стає переривчастим, причому при $U_k=0$ і $\alpha = \frac{\pi}{2}$ середнє значення U_d не дорівнює нулю. Виникає зона переривчастих струмів, причому вона тим більше, чим більше кут α (див. рис.23.4 пунктирна лінія).

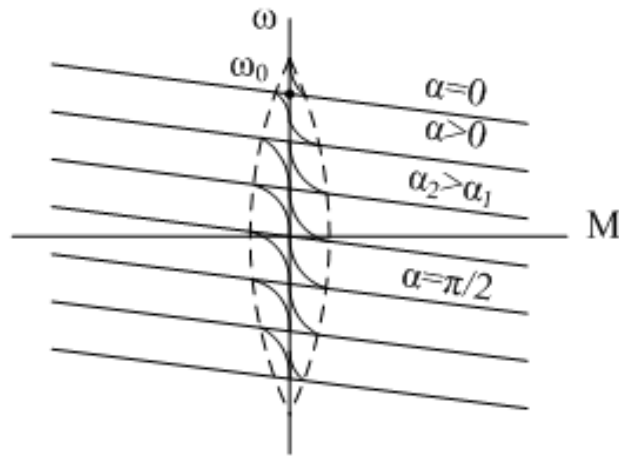


Рис.23.4.

Поява зони переривчастих струмів зумовлено тим, що в певні проміжки часу миттєве значення випрямленої напруги ТП стає менше зустрічно діючої ЕРС двигуна, що видно з графіка випрямленої напруги на рис.23.2, різниця U_{d-e} стає від'ємною. Струм при цьому повинен змінити напрям на протилежний. Але оскільки вентиля володіють односторонньою провідністю, вони закриваються і струм через них припиняється. Струм з'являється знову, коли U_d стане більшою за ЕРС. При великих навантаженнях незважаючи на те, що в певні проміжки часу миттєве значення U_d стає меншою за ЕРС двигуна, струм не переривається, є безперервним. Пояснюється це тим, що при великих навантаженнях запас електромагнітної енергії в колі випрямленого струму значний. Виникаюча при зникненні струму ЕРС самоіндукції додається з миттєвою випрямленою напругою ТП і в сумі вони перевищують ЕРС двигуна і струм не переривається. При малих навантаженнях виникає ЕРС самоіндукції виявляється недостатньою для підтримки струму і він переривається.

Переходу від режиму безперервного струму до переривчастого відповідає режим навчально-безперервного струму, що є граничним між двома зазначеними. Величина граничного струму залежить від кута α і параметрів схеми

$$J_{d.sp} = \frac{E_{d0} \cdot \sin \alpha}{X_{TP} + 2\pi f_1 \cdot L_d} \left(1 - \frac{\pi}{m} \operatorname{ctg} \frac{\pi}{m}\right) = \frac{E_{d0} \cdot \sin \alpha}{\omega \cdot L_{я.ц}} \left(1 - \frac{\pi}{m} \operatorname{ctg} \frac{\pi}{m}\right).$$

Граничні струми (моменти) лежать на дузі еліпса, зміщеного по осі ординат на величину $\frac{\Delta U_B}{K\phi}$. Відзначимо, що якщо двигун живиться від нереверсивного ТП, як показано на рис.23.1, то система електроприводу стає

неповнокерованою. Відповідно до цього механічні характеристики в другому і третьому квадраті не існують.

При зменшенні навантаження швидкість двигуна зростає і збільшується його ЕРС, що є протидіючою і викликає зменшення струму навантаження перетворювача. Це призводить до зменшення падіння напруги на внутрішніх опорах схеми, а також до зменшення втрат середньої напруги, зумовленого явищем комутації. У зв'язку з цим U_d зростає. При ідеальному холостому ході зникають всі падіння напруги. Напруга на двигуні (за час імпульсу струму) наближається до амплітуди напруги перетворювача напруги змінного струму та швидкість двигуна зростає. Тому в зоні малих і нульових навантажень механічні характеристики двигуна мають м'який характер, як у ДПЗ, що і видно на рис.23.4. Швидкість ідеального холостого ходу для цих характеристик може бути визначена з виразів:

$$\omega_0 = \frac{E_{2\phi.m} - \Delta U_e}{K\phi} \text{ при } 0 < \alpha < \frac{\pi}{m} \text{ і } \omega_0 = \frac{E_{2\phi.m} \cdot \cos(\alpha - \frac{\pi}{m}) - \Delta U_e}{K\phi} \text{ при } \alpha > \frac{\pi}{m}.$$

Тут $E_{2\phi.m}$ – амплітуда фазної ЕРС вторинної обмотки живильного трансформатора або амплітуда фазної напруги мережі живлення (в безтрансформаторних схемах); ΔU_e – падіння напруги в вентилях.

Використовуючи рівняння динаміки ТП, рівняння рівноваги ЕРС в якірному колі, рівняння механічної характеристики і рівняння руху електроприводу при жорстких механічних зв'язках, а так само представляючи рівняння динаміки ТП $K_{\Pi} \cdot U_y = e_d(1 + T_{\Pi} \cdot p)$ у вигляді

$$K'_{\Pi} \cdot U_y = \omega_0(1 + T_{\Pi} \cdot p), \text{ де } K'_{\Pi} = \frac{K_{\Pi}}{E_d} = \frac{E_d}{U_y \cdot K\phi}, \text{ можна зобразити}$$

структурну схему системи ТП-Д, яка має вигляд рис.23.5.

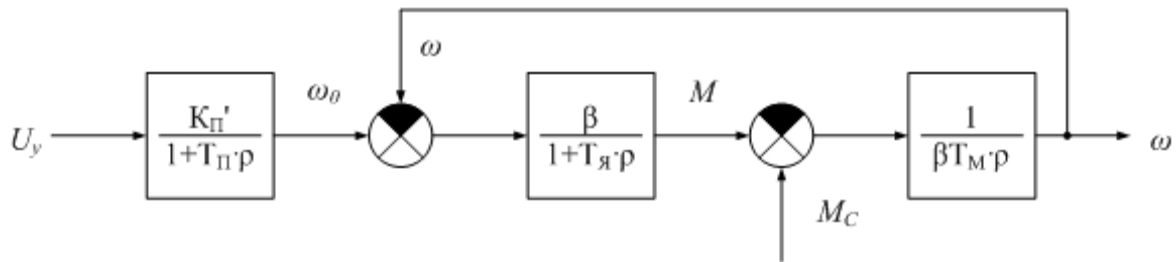


Рис.23.5.

Двигун в системі ТП-Д може працювати у всіх режимах. Як в системі Г-Д двигунному режиму відповідає область в 1 і 3 квадратах, режиму динамічного гальмування відповідає характеристика, що проходить через початок координат при $\alpha = \frac{\pi}{2}$. Режиму противмикання відповідає область, що лежить між віссю моментів і характеристикою динамічного гальмування. Режиму рекуперації відповідає область між віссю ординат у 2 і 4 квадратах і характеристикою динамічного гальмування.