

Лекція №22. Система генератор–двигун постійного струму (Г-Д).

22.1. Загальні положення.

Принципова схема системи Г-Д без зворотних зв'язків зображена на рис. 22.1. В якості керованого перетворювача в ній використовується генератор постійного струму незалежного збудження, що приводиться в обертання асинхронним або синхронним двигуном, який називається приводним або мережевим. В якості приводного двигуна до робочої машини може використовуватись також двигун незалежного збудження (ДНЗ).

Пуск системи здійснюється включенням мережевого двигуна, що обертає генератор. Приводний двигун перед цим має бути повністю збуджений, тобто його Φ повинен бути дорівнює Φ_H . Напряга на обмотці збудження генератора повинна дорівнювати нулю.

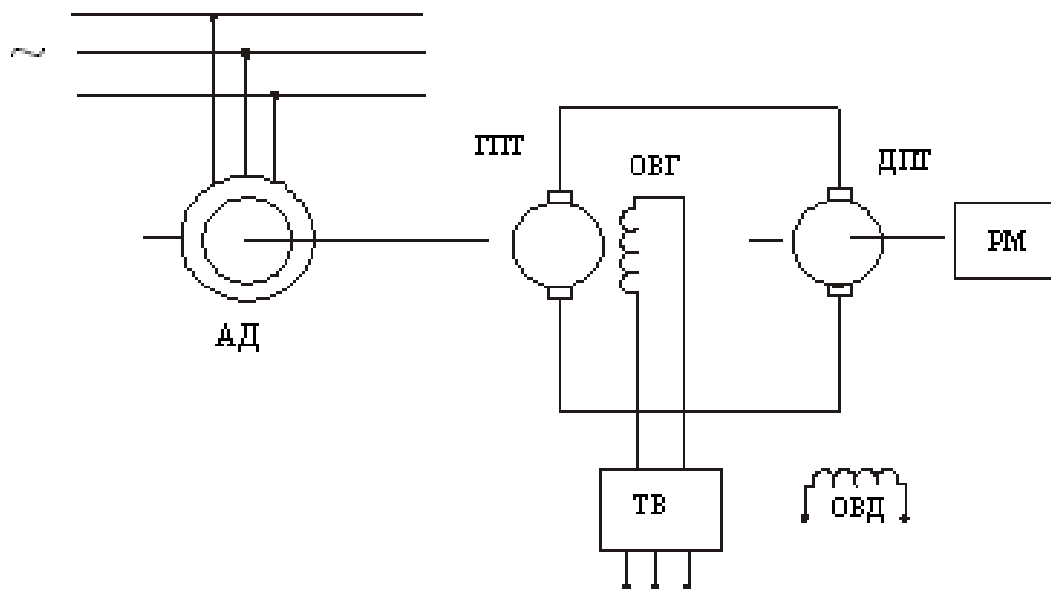


Рис.22.1.

При подачі напруги на обмотку збудження генератора і її збільшенні, він буде розвивати ЕРС, з'явиться напруга на обмотці якоря ДПС, і останній буде розганятися. При номінальному збудженні генератора напруга на якорі ДПС повинна бути номінальною (при холостому ході ДПС).

У разі застосування АД із збільшенням навантаження на валу приводного ДПС зростає гальмівний момент ГПС, що викликає зниження швидкості приводного АД, отже, зниження швидкості ГПС і його ЕРС, що, в свою чергу позначається і на напрузі якоря ДПС і його швидкості. У потужних електроприводах по системі Г-Д це зниження становить (1,5...2)%.

Перевагою асинхронного приводного двигуна є простота, надійність, дешевизна. Перевагою приводного СД є його вища стабільність до коливань напруги мережі, можливість працювати з випереджаючим струмом. Зазвичай СД використовується при потужності генератора порядку сотень і тисяч кВт.

Живлення обмотки збудження ГПС в сучасних системах Г-Д, здійснюється від тиристорного або транзисторного перетворювачів, що володіють високою швидкодією і великим коефіцієнтом підсилення по потужності. Залежність вихідної напруги тиристорного збудника від напруги управління U_y зображена на рис.22.2.

Її робочу ділянку без особливої похибки можна вважати лінійною. Динамічні процеси в ТЗ описуються рівнянням.

$$K_{Т.В.} \cdot U_y = U_{ВГ} + \frac{L_{ТВ}}{R_{ТВ}} \cdot \frac{dU_{ВГ}}{dt} = U_{ВГ} \cdot (1 + T_{ТВ} \cdot \rho),$$

де $K_{Т.В.} = \frac{E_{ВГ}}{U_y}$ - коефіцієнт посилення ТЗ по напрузі; $T_{ТВ}$ - електромагнітна постійна ТЗ, що не перевищує 0,01 с.

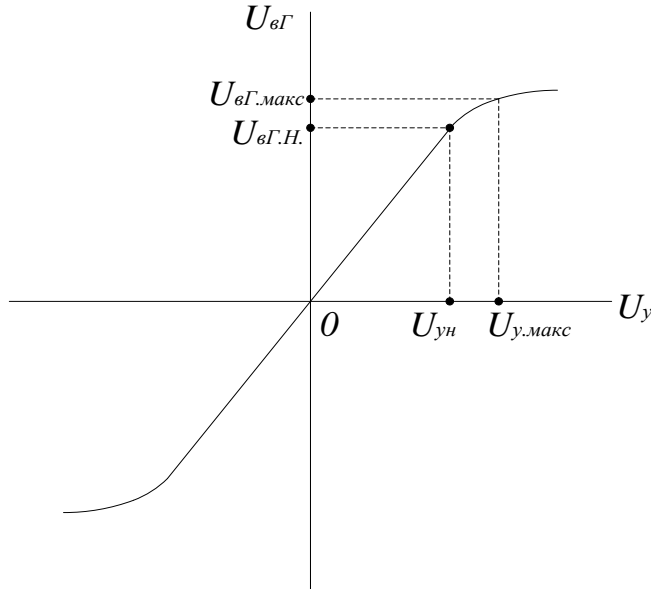


Рис.22.2.

Її робочу ділянку без особливої похибки можна вважати лінійною. Динамічні процеси в ТЗ описуються рівнянням.

$$K_{Т.В} \cdot U_y = U_{ВГ} + \frac{L_{ТВ}}{R_{ТВ}} \cdot \frac{dU_{ВГ}}{dt} = U_{ВГ} \cdot (1 + T_{ТВ} \cdot \rho),$$

де $K_{Т.В} = \frac{E_{ВГ}}{U_y}$ - коефіцієнт посилення ТЗ по напрузі; $T_{ТВ}$ - електромагнітна постійна ТЗ, що не перевищує 0,01 с.

Нехтуючи гістерезисом магнітного кола генератора, і вважаючи його ненасиченим, для лінійної ділянки залежності $E_{Г} = f(U_{ВГ})$, якою можна замінити петлю гістерезису (рис.22.3), можна написати:

$$K_{Г} \cdot U_{ВГ} = e_{Г} + \frac{L_{ВГ}}{R_{ВГ}} \cdot \frac{de_{Г}}{dt} = e_{Г} \cdot (1 + T_{ВГ} \cdot \rho),$$

де $K_{Г} = \frac{E_{Г}}{U_{ВГ}}$ - коефіцієнт посилення генератора по напрузі при $\omega_{Г} = \text{const}$;

$T_{ВГ} = T_{В} = \frac{L_{ВГ}}{R_{ВГ}}$ - електромагнітна постійна кола збудження генератора.

Отримане з рівняння рівноваги ЕРС в якірному колі

$$e_{Г} - e = i_{Я} \cdot R_{Я\Sigma} + L_{Я\Sigma} \cdot \frac{di_{Я}}{dt} = i_{Я} \cdot R_{Я\Sigma} \cdot (1 + T_{Я} \cdot \rho),$$

де $e_{Г}$ і e - відповідно ЕРС генератора і протидії ЕРС двигуна.

Оскільки $e_{Г} = k \cdot \Phi \cdot \omega_0$, а $e = k \cdot \Phi \cdot \omega$, де Φ - потік двигуна, то

$$k \cdot \Phi \cdot (\omega_0 - \omega) = i_{Я} \cdot R_{Я\Sigma} \cdot (1 + T_{Я} \cdot \rho).$$

У цих виразах $R_{Я\Sigma} = R_{ЯГ} + R_{ЯД}$; $L_{Я\Sigma} = L_{ЯГ} + L_{ЯД}$.

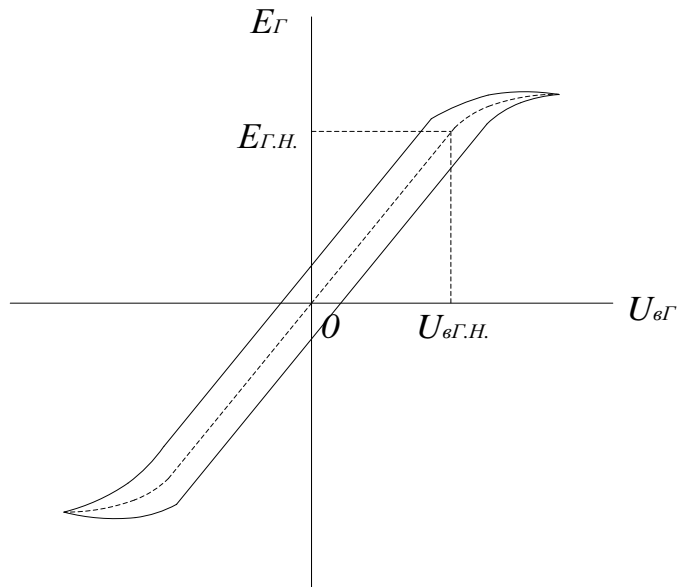


Рис.22.3.

Рівняння механічної характеристики двигуна в системі Г-Д можна Виразивши струм I_a через момент двигуна отримаємо:

$$k \cdot \Phi \cdot (\omega_0 - \omega) = \frac{R_{я\Sigma} \cdot M}{k \cdot \Phi} \cdot (1 + T_{я} \cdot \rho) \quad \text{або}$$

$$\frac{(k \cdot \Phi)^2}{R_{я\Sigma}} \cdot (\omega_0 - \omega) = M \cdot (1 + T_{я} \cdot \rho),$$

$$\text{або } \beta \cdot (\omega_0 - \omega) = M \cdot (1 + T_{я} \cdot \rho).$$

Тут β - модуль статичної жорсткості механічної характеристики двигуна в системі Г-Д.

У сталому режимі $p = 0$ і рівняння статичної механічної характеристики запишемо у вигляді:

$$\omega = \omega_0 - \frac{M}{\beta} \quad \text{або} \quad \omega = \frac{E_{Г}}{k \cdot \phi} - \frac{R_{я\Sigma}}{(k \cdot \phi)^2} \cdot M.$$

Сімейство механічних характеристик двигуна в системі Г-Д, що відповідають різним значенням потоку збудження генератора, отже, різним значенням ЕРС при синхронному приводному двигуні, зображено на рис.22.4.

Жорсткість основної характеристики двигуна в 2 рази менша, ніж при живленні його від мережі з $U = \text{const}$, внаслідок того, що в якійного кола крім опору обмотки якоря двигуна є ще й опір якійного кола генератора, а вони приблизно однакові, тому що потужність генератора лише трохи більша потужності двигуна. Але швидкість ідеального холостого ходу, двигуна в розімкнутій системі Г-Д більша, ніж під час роботи від мережі з $U = \text{const}$, тому що номінальна ЕРС генератора, що визначає ω_0 двигуна, більша, ніж номінальна напруга двигуна, що визначає ω_0 під час роботи від мережі, тобто

$$\omega_{0(\Gamma Д)} = \frac{E_{ГН}}{k \cdot \phi} > \omega_0 = \frac{U_H}{k \cdot \phi}, \text{ бо } E_{ГН} = U_H + I_{Я} \cdot R_{ЯГ}.$$

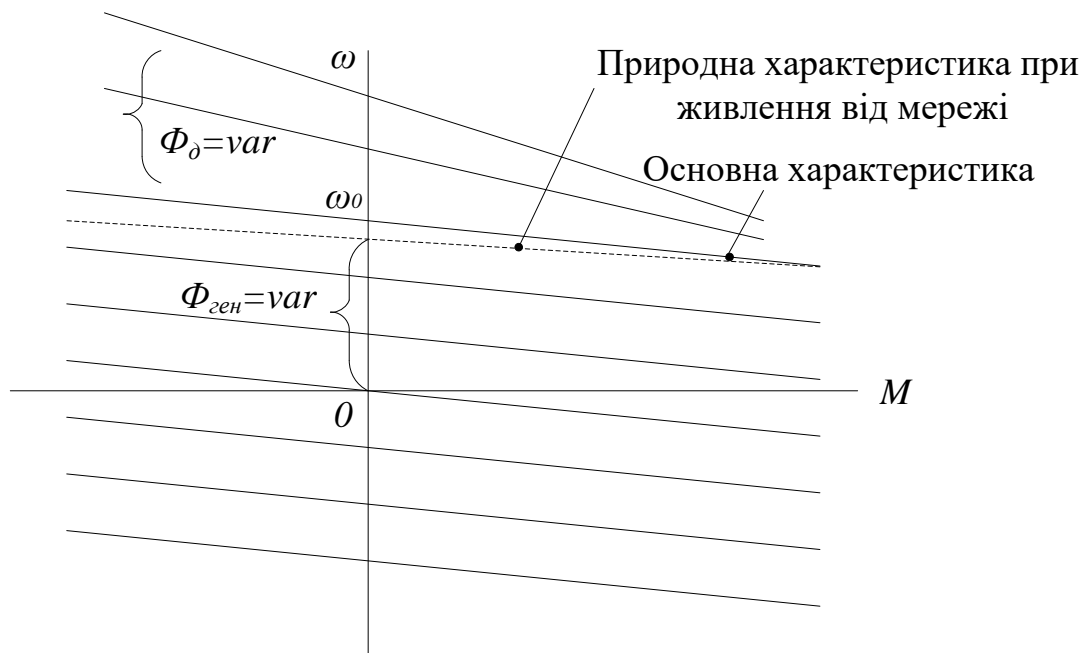


Рис.22.4.

Змінюючи потік збудження генератора, отже, його ЕРС, можна здійснити безперервне плавне керування моментом і швидкістю електропривода у всіх 4-х квадрантах координатної системи при $\beta = const$. В розімкнутій системі Г-Д за рахунок зміни потоку генератора, отже, його ЕРС, можна отримати діапазон регулювання швидкості двигуна приблизно 10:1. Змінюючи потік двигуна (послаблюючи його, можна збільшити швидкість приблизно ще в 3 рази. Таким чином загальний діапазон регулювання швидкості в розімкнутій системі Г-Д приблизно 30:1. На рис.22.4 показані характеристики двигуна і в зоні зміни потоку двигуна. Вони розташовані вище основної і жорсткість їх змінюється.

22.2. Механічні характеристики двигуна в системі Г-Д.

Механічні характеристики двигуна в системі Г-Д при асинхронному приводному двигуні будуть не паралельні, оскільки при зміні навантаження на валу приводного двигуна буде змінюватися швидкість приводного двигуна, отже, і ЕРС генератора, що, в свою чергу, позначається і на швидкості приводного двигуна. Зазвичай непаралельністю характеристик при розрахунках нехтують.

Двигун в системі Г-Д може працювати у всіх режимах. Двигунному режиму відповідають механічні характеристики в першому і третьому квадрантах. Режиму динамічного гальмування відповідає одна характеристика, що проходить через початок координат. Режиму противмикання відповідає область між віссю моментів і характеристикою

динамічного гальмування у 2-му і 4-му квадрантах. Генераторному режиму з рекуперацією енергії в мережу відповідає область у 2-му і 4-му квадрантах між віссю швидкостей і характеристикою динамічного гальмування.

Основним способом гальмування двигуна в системі Г-Д є рекуперативне. Для отримання цього режиму необхідно зменшувати або зняти збудження генератора. ЕРС двигуна стане більше ЕРС генератора. Двигун перетвориться в генератор. Струм в якірному колі, який визначається

різницею $I_{я} = \frac{E_{Г} - E_{ДВ}}{R_{яΣ}}$, змінить напрямок на протилежний. Генератор

перетвориться в двигун, що працює з ослабленим магнітним потоком. Швидкість його збільшиться і він розкручуватиме ротор приводного двигуна, якщо він асинхронний, з вищою за синхронну швидкість. Приводний двигун перетвориться в генератор і буде віддавати в мережу активну енергію, споживаючи реактивну. Якщо ж приводним двигуном є синхронний, то швидкість його не може зрости, оскільки вона визначається частотою напруги мережі, до якої він підключений ($\omega_0 = \frac{2\pi f_1}{\rho_{II}}$). Але під дією

обертального моменту генератора, що перетворився в двигун, вісь магнітного поля його ротора буде не відставати, а випереджати вісь магнітного поля статора і він перетвориться на генератор, віддаючи в мережу активну енергію. Що стосується реактивної енергії, то він буде її споживати, якщо працює в режимі недозбудження, а якщо він перезбуджений, то буде віддавати її в мережу

За допомогою наведених вище рівнянь динаміки для кола збудження генератора, тиристорного збудника, рівняння механічної характеристики двигуна і рівняння руху електроприводу при жорстких механічних зв'язках, можна побудувати структурну схему системи Г-Д, яка зображена на рис.22.5.

З неї випливає, що при зміні керуючого впливу стрибком ЕРС генератора і швидкість ω_0 двигуна в системі Г-Д змінюються згідно із законом, визначається перехідною функцією аперіодичної ланки з постійною $T_{Г} = T_{В}$.

До переваг системи Г-Д відносяться наступні:

1. Відсутні громіздкі пускові реостати і втрати в них.
2. Легка керованість електродвигуном.
3. Управління процесами перенесено в коло збудження, які мають невеликі струми, що полегшує і здешевлює апаратуру.
4. Порівняно високий діапазон регулювання швидкості ($\sim 30:1$) навіть в розімкнутій системі.
5. Відносно невелике споживання реактивної потужності навіть при асинхронному приводному двигуні.

Недоліки системи Г-Д:

1. Висока встановлена потужність, що перевищує в 3-4 рази потужність приводного двигуна.
2. Висока початкова вартість машинного обладнання.

3. Велика займана площа і необхідність громіздких фундаментів в потужних системах.
4. Підвищений шум при роботі машин.
5. Підвищена крутизна механічних характеристик.
6. Порівняно низький ККД, що дорівнює добутку ККД машин, що входять в систему.