

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДОНБАСЬКА ДЕРЖАВНА МАШИНОБУДІВНА АКАДЕМІЯ
Кафедра ЕСА

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання курсового проекту
з дисципліни «ТЕОРІЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ»
на тему: «**Розрахунок і аналіз перехідних процесів у електроприводі
системи генератор-двигун**»

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
Завдання на курсовий проект	3
1 ОПИС РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА СИСТЕМИ ГЕНЕРАТОР-ДВИГУН	4
2 ВИБІР ГЕНЕРАТОРА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ТА ЙОГО ПРИВІДНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГУНА	5
2.1 Вибір генератора постійного струму.....	5
2.2 Вибір привідного асинхронного двигуна	7
3 РОЗРАХУНОК І ПОБУДОВА СТАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОПРИВОДА.....	9
4 ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОПРИВОДА	15
5 РОЗРАХУНОК КОЕФІЦІЄНТА ФОРСУВАННЯ ЗБУДЖЕННЯ ГЕНЕРАТОРА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ	20
6 РОЗРАХУНОК ОПОРУ РЕЗИСТОРІВ У КОЛІ ОБМОТКИ ЗБУДЖЕННЯ ГЕНЕРАТОРА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ	22
6.1 Визначення опору розрядного резистору R4	22
6.2 Визначення опорів регулювальних резисторів R1, R2, R3	24
7 ПЕРЕХІДНІ ПРОЦЕСИ У СИСТЕМІ ГЕНЕРАТОР-ДВИГУН.....	26
7.1 Розрахунок перехідних процесів у колі збудження генератора системи Г-Д графоаналітичним методом	26
7.1.1 Розрахунок ПП під час пуску ЕП	26
7.1.2 Розрахунок ПП під час гальмуванні ЕП.....	30
7.1.3 Розрахунок ПП під час реверсу ЕП	31
7.2 Отримання перехідних процесів у системі Г-Д за допомогою прикладного програмного забезпечення.....	35
7.2.1 Дослідження перехідних процесів системи Г-Д без урахуванням нелінійних властивостей.....	35
7.2.2 Дослідження перехідних процесів системи Г-Д із урахуванням нелінійних властивостей.....	36
7.2.3 Дослідження перехідних процесів системи Г-Д із урахуванням нелінійних властивостей та з форсуванням процесу збудження генератора	36
ЛІТЕРАТУРА	38
ДОДАТОК А.....	39
ДОДАТОК Б.....	42
ДОДАТОК В.....	44
ДОДАТОК Г	47

ВСТУП

Метою курсового проекту є вивчення фізичних явищ у системі генератор-двигун (Г-Д) при перехідних режимах, оволодіння графоаналітичним та аналітичним методами розрахунків перехідних процесів у нелінійній електромеханічній системі електроприводу (ЕП), дослідження впливу параметрів системи на характер перехідних процесів.

Завдання на курсовий проект

Вихідними даними для розрахунку є (дивиться додаток А):

- номінальна напруга живлення $U_{\text{НОМ}}^{\text{Д}}$, В;
- тип двигуна;
- режим тривалості ввімкнення (тривалість ввімкнення) ТВ, %;
- номінальна механічна потужність $P_{2 \text{ НОМ}}$, кВт;
- номінальна частота обертання валу двигуна $n_{\text{НОМ}}^{\text{Д}}$, об./хв.;
- номінальний струм двигуна $I_{\text{НОМ}}^{\text{Д}}$, А;
- сумарний опір кола якоря $R_{\text{я.к.}}^{\text{Д}} = (R_{\text{я}}^{\text{Д}} + R_{\text{ДП}}^{\text{Д}})$, Ом;
- число активних провідників $N_{\text{я}}$;
- число паралельних віток якоря $2a$;
- число пар полюсів $2p$;
- момент інерції якоря двигуна $J_{\text{д}}$, кг·м²;
- коефіцієнт інерції ЕП k ;
- коефіцієнт навантаження ЕП $k_{\text{нв}}$.

За вихідними даними необхідно:

- виконати вибір генератора постійного струму (ГПС) та його відповідного асинхронного двигуна (АД);
- розрахувати та побудувати статичні характеристики ЕП, визначити робочі точки на механічних характеристиках і на характеристиках намагнічування;
- визначити динамічні параметри ЕП;
- розрахувати коефіцієнт форсування збудження генератора;
- розрахувати опір резисторів у колі обмотки збудження генератора;
- виконати розрахунок перехідних процесів у колі збудження генератора та якорному колі системи Г-Д графоаналітичним методом;
- розрахувати на електронно-обчислювальній машині перехідні процеси при пуску, реверсі й зупинці ЕП;
- проаналізувати результати розрахунків. Пояснити вплив динамічних параметрів ЕП, коефіцієнта форсування, виду статичного моменту опору на характер перехідного процесу.

1 ОПИС РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИДА СИСТЕМИ ГЕНЕРАТОР-ДВИГУН

У даному розділі пояснювальної записки необхідно навести схему ЕП системи Г-Д (рисунок 1). Для цієї схеми необхідно зробити опис:

- підготовки схеми до роботи;
- процес пуску ЕП до основної та проміжної швидкості обертання валу ЕП;
- процес гальмування ЕП;
- процес реверсу ЕП.

Також необхідно:

- з'ясувати призначення всіх елементів схеми та порядок їх вибору;

- навести, які захисти забезпечує схема ЕП.

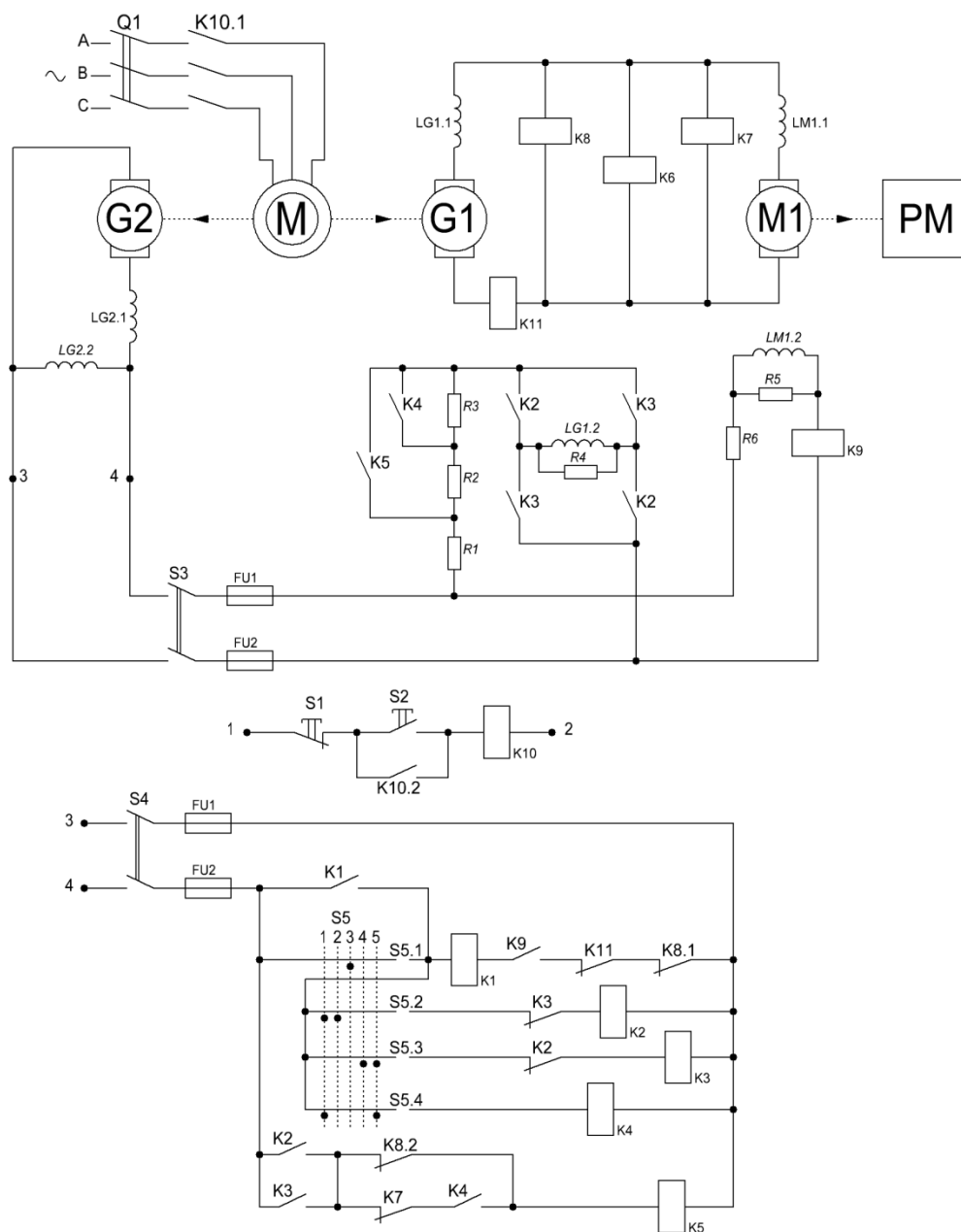


Рисунок 1 – Електричні принципова силова та схема керування системи генератор-двигун

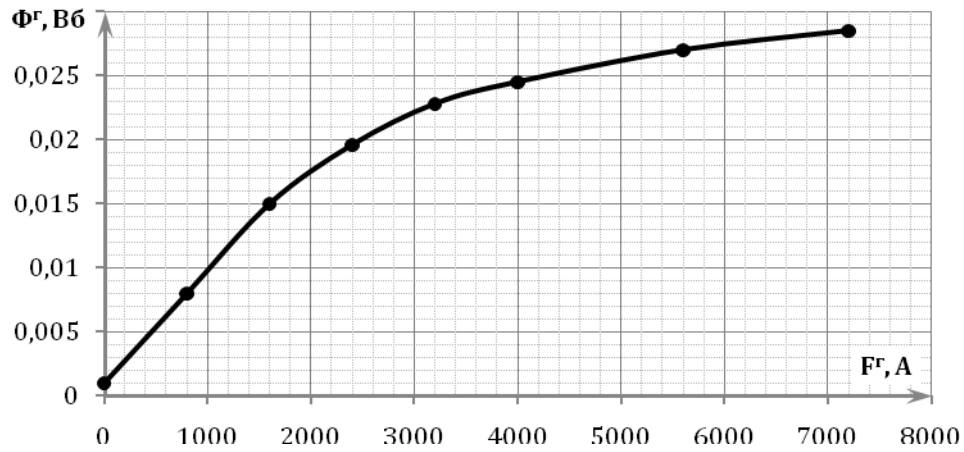


Рисунок 2 – Крива намагнічування ГПС $\Phi^G(F^G)$

Для побудови характеристики неробочого руху $E^G(I_{0.3}^G)$ при номінальній швидкості обертання ГПС необхідно розрахувати ЕРС генератора E^G і струм обмотки збудження генератора $I_{0.3}^G$ для кожної точки кривої намагнічування $\Phi^G(F^G)$:

– ЕРС генератора

$$E^G = k^G \Phi^G \omega_{\text{ном}}^G, \quad (3)$$

де k^G – конструктивний коефіцієнт генератора;

Φ^G – магнітний потік;

$\omega_{\text{ном}}^G$ – номінальна кутова швидкість обертання валу генератора;

– струм обмотки збудження генератора

$$I_{0.3}^G = \frac{E^G}{R_{0.3}^G}, \quad (4)$$

де F^G – магнітна напруга (сила намагнічування);

$W_{0.3}^G$ – число витків на полюс обмотки НЗ генератора.

Для знаходження величини ЕРС за формулою (3) знайдемо наступні величини, що обчислюються за формулами (5) і (6). Конструктивний коефіцієнт:

$$k^G = \frac{W_{0.3}^G}{2p_a}, \quad (5)$$

де $W_{\text{я}}^G$ – число витків обмотки якоря;

p – число пар полюсів обмотки збудження;

a – число паралельних віток.

Номінальна кутова швидкість обертання валу генератора:

де $n_{\text{НОМ}}^{\Gamma}$ – номінальна частота обертання валу генератора.

Після того, як для кожної точки кривої намагнічування $\Phi^{\Gamma}(F^{\Gamma})$ були розраховані ЕРС генератора E^{Γ} та його струм обмотки збудження $I_{0.3.}^{\Gamma}$, необхідно результати отриманих розрахунків для побудови характеристики неробочого руху $E^{\Gamma}(I_{0.3.}^{\Gamma})$ при номінальній швидкості обертання ГПС звести до таблиці 2 та виконати її побудову. Загальний вигляд цієї характеристики зображений на рисунку 3.

Таблиця 2 – Точки характеристики неробочого руху при номінальній швидкості обертання ГПС

Величина	Точки характеристики неробочого руху							
струм обмотки збудження $I_{0.3.}^{\Gamma}$, А								
ЕРС генератора E^{Γ} , В								

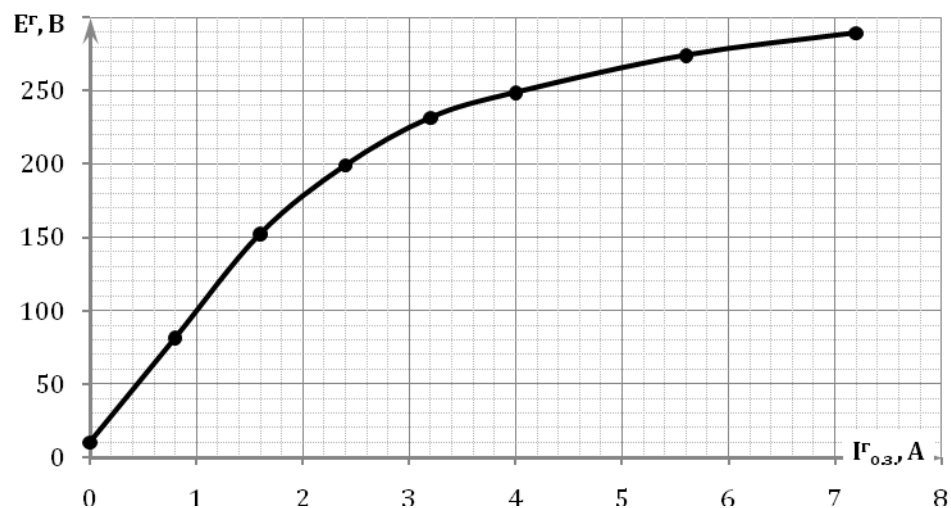


Рисунок 3 – Характеристика неробочого руху при номінальній швидкості обертання ГПС

2.2 Вибір привідного асинхронного двигуна

Вибір привідного АД із короткозамкненим ротором виконується за умовами:

- за номінальною потужністю

де $P_{\text{НОМ}}^{\text{АД}}$, $P_{\text{НОМ}}^{\Gamma}$ – номінальні потужності АД і ГПС відповідно;

– за номінальною частотою обертання валу

$$, \quad (8)$$

де $n_{\text{НОМ}}^{\text{АД}}$, $n_{\text{НОМ}}^{\text{Г}}$ – номінальні частоти обертання валів АД із короткозамкненим ротором і ГПС відповідно.

Для перевірки умови за потужністю (7) знайдемо номінальну потужність генератора, що обчислюється за формулою:

$$P_{1\text{НОМ}}^{\text{Г}}, \quad (9)$$

де $P_{2\text{НОМ}}^{\text{Г}}$ – механічна потужність, що споживається;

$\Delta P_{\text{ел}}^{\text{Г}}$ – електричні втрати потужності на провідниках обмотки якоря;

$\Delta P_{\text{мех}}^{\text{Г}}$ – механічні втрати.

Механічна потужність, що споживається:

$$, \quad (10)$$

де $I_{\text{НОМ}}^{\text{Г}}$ – номінальний струм генератора;

$U_{\text{НОМ}}^{\text{Г}}$ – номінальна напруга генератора.

Електричні втрати потужності на провідниках обмотки якоря:

$$, \quad (11)$$

де $R_{\text{я}}^{\text{Г}}$ – опір обмотки якоря.

Механічні втрати:

$$. \quad (12)$$

Із таблиці В1 (додатку В) потрібно обирати АД, який задовольняє умовам (7) і (8) та привести наступні паспортні дані:

– синхронну частоту обертання валу двигуна $n_{\text{н.р.}, \frac{\text{об.}}{\text{хв.}}}$;

– номінальну напругу живлення $U_{\text{НОМ}}$, В;

– механічну потужність на валу АД $P_{2\text{НОМ}}$, кВт;

– номінальну частоту обертання валу двигуна $n_{\text{НОМ}, \frac{\text{об.}}{\text{хв.}}}$;

– ККД η , %;

– коефіцієнт потужності $\cos \phi$;

– значення відношення величин $M_{\text{пуск}}$ до $M_{\text{НОМ}}$ ($M_{\text{пуск}}/M_{\text{НОМ}}$);

– значення відношення величин $M_{\text{кр}}$ до $M_{\text{НОМ}}$ ($M_{\text{кр}}/M_{\text{НОМ}}$);

– маховий момент ротора $G_{\text{р}} \cdot D_{\text{р}}^2$, кг·м².

3 РОЗРАХУНОК І ПОБУДОВА СТАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРОПРИВОДА

Статичні характеристики двигуна постійного струму (ДПС) представляють собою електромеханічну й механічну характеристики.

Електромеханічна характеристика ЕП являє собою залежність кутової швидкості валу обертання ЕП від струму у колі його якоря в установленому режимі $\omega(I_{я})$ та виражає зв'язок між механічною й електричною величинами ЕП.

Механічна характеристика ЕП представляє собою залежність кутової швидкості валу обертання ЕП від моменту, що розвивається на його валу в установленому режимі, $\omega(M)$ та виражає зв'язок між двома механічними величинами, що характеризують роботу ЕП.

У даному розділі пояснювальної записки необхідно виконати побудову електромеханічних і механічних характеристик у режимах «ВПЕРЕД» та «НАЗАД». Рівняння характеристик, що описують режим «ВПЕРЕД» мають вигляд:

– природні

(13)

а,

(14)

де $U_{ном}^д$ – напруга живлення двигуна;

k – конструктивний коефіцієнт двигуна;

$\Phi_{ном}$ – номінальний потік збудження двигуна;

$I_{я}$ – струм у колі якоря двигуна;

M – момент на валу двигуна;

$R_{я}$ – опір кола якоря;

– реостатні при номінальному значенні напруги

(15)

а,

(16)

де $R_{я}^{\Sigma}$ – сумарний опір у колі якоря;

– реостатні при напрузі, що дорівнює ЕРС генератора

(17)

 $\omega,$ (18)де $E_{\text{НОМ}}^{\Gamma}$ – номінальна ЕРС генератора;

– реостатні при напрузі, що дорівнює половині ЕРС генератора

(19)

 $\omega(I);$ (20)

– реостатні при половинному значенню потоку

 $\omega(I_{\text{я}})$ (21) $\omega(M) = \bar{\omega};$ (22)

Рівняння характеристик, що описують режим «НАЗАД» мають аналогічний вигляд:

– природні

 $\omega(-I_{\text{я}})$ (23) $\omega(-M) =;$ (24)

– реостатні при номінальному значенні напруги

 $\omega(-I_{\text{я}})$ (25) $\omega(-M) =;$ (26)

– реостатні при напрузі, що дорівнює ЕРС генератора

$$\omega(-I_{я}) \quad (27)$$

$$\omega(-M) = ; \quad (28)$$

– реостатні при напрузі, що дорівнює половині ЕРС генератора

$$\omega(-I_{я}) = \quad (29)$$

$$\omega(-M) = - ; \quad (30)$$

– реостатні при половинному значенню потоку

$$\omega(-I_{я}) = - \left[\frac{E_{гс}^r}{0,5 \cdot k_t} \right] \quad (31)$$

$$\omega(-M) = - \left[\frac{E_{гс}^r}{0,5 \cdot k_t} \right] \quad (32)$$

Для побудови цих характеристик необхідно виконати розрахунки наступних величин. Номінальна кутова швидкість обертання валу двигуна:

$$\omega_{ном}^д \quad (33)$$

де $\omega_{ном}^д$ – номінальна частота обертання валу двигуна.

Сумарний опір у колі якоря:

$$R_{я}^{\Sigma} = k_t \cdot (R_{я}^д + R_{дп}^д + R_{я}^г + R_{дп}^г + R_{пр}) \quad (34)$$

де k_t – температурний коефіцієнт, який враховує опір при нагріві, прийняти $k_t = 1,24$;

$R_{я}^д, R_{я}^г$ – опори якоря двигуна й генератора відповідно;

$R_{дп}^д, R_{дп}^г$ – опори додаткових полюсів двигуна й генератора відповідно (опором $R_{дп}^г$ при розрахунках знехтуємо);

$R_{пр}$ – опори з'єднувальних дротів;

$R_{щ}$ – опір контактів щіток.

Для знаходження сумарного опору у колі якоря, який знаходиться за формулою (34), обчислимо опори з'єднувальних проводів і опір контактів щіток можна за формулами (35) та (36) відповідно:

$$R_{пр} = \rho_{\text{міді}} \cdot \frac{l_{пр}}{S_{пр}} = \left\{ S_{пр} \right\}, \quad (35)$$

де $\rho_{\text{міді}}$ – питомий опір міді, $\rho_{\text{міді}} = 0,017 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$;

$l_{пр}$ – довжина проводу дроту, $l_{пр} = 20..30 \text{ м}$;

$S_{пр}$ – площа поперечного перерізу;

$I_{\text{НОМ}}^{\text{д}}$ – номінальний струм двигуна;

j – допустима щільність струму, $j = 4 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$;

(36)

де $\Delta U_{щ}$ – спад напруги у щіткових контактів (вважаємо незмінним і рівним $\Delta U_{щ} = 0,6..1 \text{ В}$);

$I_{\text{НОМ}}^{\text{д}}$ – номінальний струм двигуна;

Величина добутку конструктивного коефіцієнту на номінальний магнітний потік збудження двигуна (оскільки ця величина є незмінною, то її можна знайти з рівняння електромеханічної характеристики при номінальних параметрах):

$$\omega(I_{\text{НОМ}}^{\text{д}}) = \omega_{\text{НОМ}}^{\text{д}} = \frac{U_{\text{НОМ}}^{\text{д}}}{k\Phi_{\text{НОМ}}} - I_{\text{НОМ}}^{\text{д}} \cdot \frac{(R_{\text{я}}^{\text{д}} + R_{\text{дп}}^{\text{д}})}{k\Phi_{\text{НОМ}}} \Rightarrow \dots \quad (37)$$

Статичний момент опору:

(38)

де $k_{\text{нв}}$ – коефіцієнт навантаження ЕП;

$M_{\text{НОМ}}$ – номінальний електромеханічний момент на валу двигуна

(39)

Номінальна ЕРС генератора:

$$E_{НОМ}^Г = . \quad (40)$$

Відповідно електромеханічні та механічні характеристики у режимах «ВПЕРЕД» та «НАЗАД» будуються на інтервалі:

$$I_{я} \in [-1,5..2 \cdot I_{НОМ}^Д; 1,5..2 \cdot I_{НОМ}^Д], M \in [-1,5..2 \cdot M_{НОМ}; 1,5..2 \cdot .$$

Ці характеристики можна побудувати за двома точками (з урахуванням вищенаведеного інтервалу), оскільки вони представляють собою прямі лінії:

– перша точка має координати

$$\omega(I_{я}) = \omega(-1,5..2 \cdot I_{НОМ}^Д), \omega(M) = \omega(-;$$

– друга має координати

$$\omega(I_{я}) = \omega(1,5..2 \cdot I_{НОМ}^Д), \omega(M) = \omega.$$

Графіки статичних характеристик двигуна необхідно побудувати в чотирьох координатних площинах $\omega(I_{я})$ та $\omega(M)$. Загальний вигляд електромеханічних і механічних характеристик ДПС у режимах «ВПЕРЕД» та «НАЗАД» зображені на рисунках 4 і 5 відповідно.

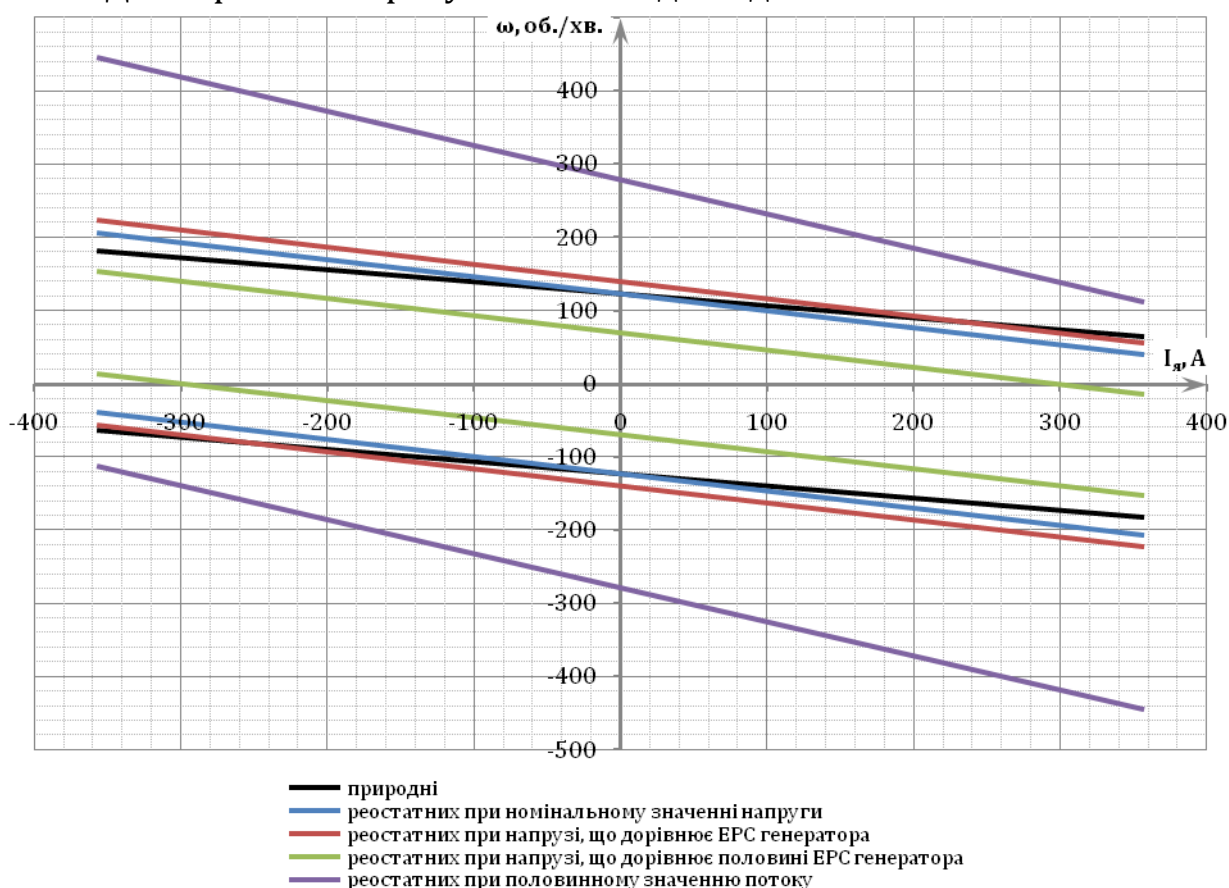


Рисунок 4 – Електромеханічні характеристики ДПС

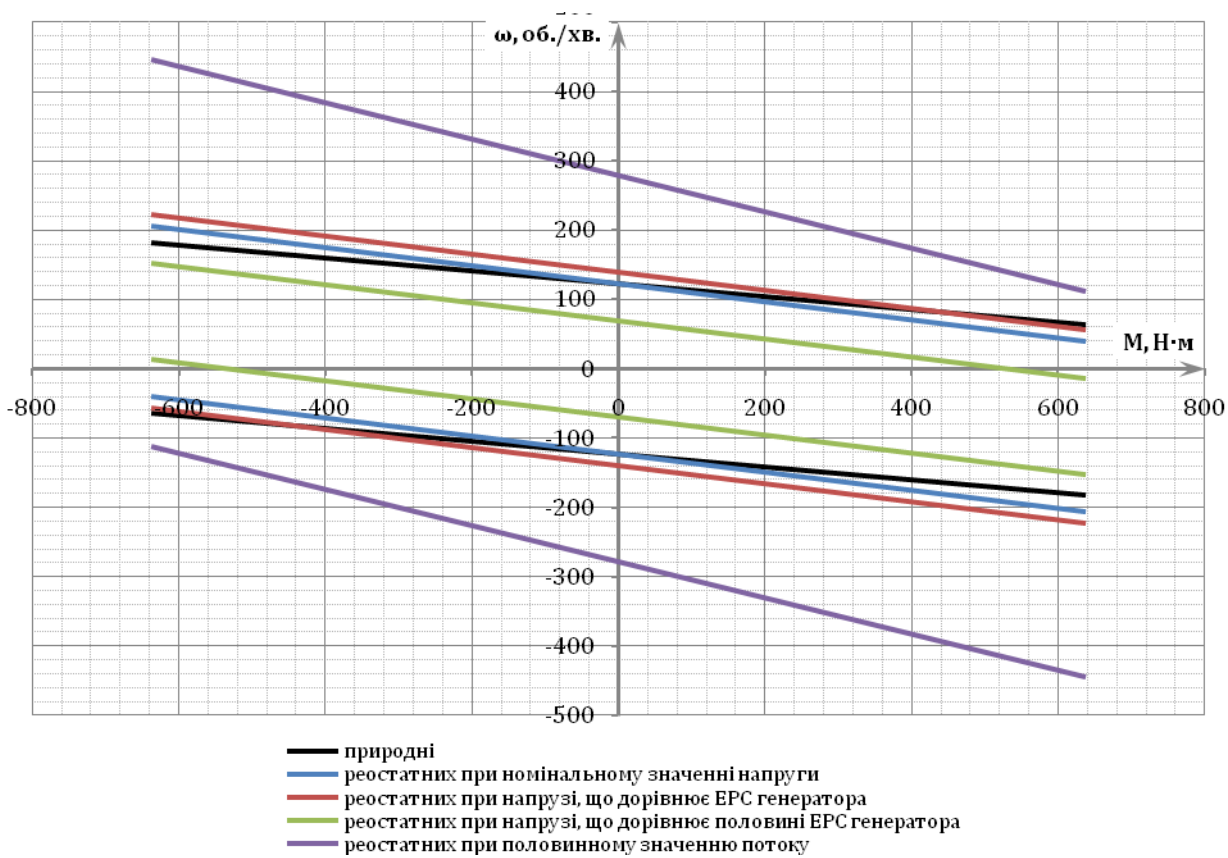


Рисунок 5 – Механічні характеристики ДПС

4 ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

Динамічні параметри ЕП – це ті параметри, що визначають характер протікання перехідних процесів.

При розрахунках динамічних параметрів ЕП нехтують електромагнітною інерційністю якірного кола, реакцією якорів генератора й двигуна, впливом вихрових струмів. Із урахуванням цих припущень обчислимо наступні динамічні параметри системи Г-Д:

- електромагнітна стала часу обмотки збудження ГПС $T_{e.m.}^{\Gamma}$;
- електромеханічна стала часу ЕП $T_{e.mex.}$;

Для обчислення електромагнітної сталої часу обмотки збудження генератора $T_{e.m.}^{\Gamma}$, необхідно знайти значення індуктивності обмотки збудження генератора $L_{0.3.}^{\Gamma}$. Індуктивність обмотки збудження генератора є змінною величиною й залежить від струму його збудження.

Скориставшись кривою намагнічування (рисунок 2) будують залежність індуктивності обмотки збудження генератора $L_{0.3.}^{\Gamma}$ від його струму обмотки $I_{0.3.}^{\Gamma}$ за формулою:

$$L_{0.3.}^{\Gamma}(I_{0.3.}^{\Gamma}) = 2p \cdot W_{0.3.}^{\Gamma} \cdot \left[\frac{d}{dI_{0.3.}^{\Gamma}} \Phi^{\Gamma}(I_{0.3.}^{\Gamma}) \right]; \quad (41)$$

де $I_{0.3.}^{\Gamma}$ – струм обмотки збудження ГПС;

$2p$ – число пар полюсів;

$W_{0.3.}^{\Gamma}$ – число витків на полюс обмотки НЗ генератора;

Φ^{Γ} – магнітний потік;

$\Phi_{ном}^{\Gamma}$ – номінальний магнітний потік;

$I_{0.3. ном}^{\Gamma}$ – номінальний струм обмотки збудження ГПС;

$\sigma_{ном}$ – коефіцієнт розсіювання магнітного потоку у номінальному режимі ($\sigma_{ном} = 1,1..1,2$).

Номінальне значення струму обмотки збудження ГПС $I_{0.3. ном}^{\Gamma}$ можна знайти з характеристики неробочого руху (рисунок 3) за значенням $E_{ном}^{\Gamma}$, а номінальне значення магнітного потоку ГПС $\Phi_{ном}^{\Gamma}$ можна знайти із формули:

$$E_{ном}^{\Gamma} = k^{\Gamma} \cdot \Phi_{ном}^{\Gamma} \cdot \omega_{ном}^{\Gamma} \quad (42)$$

де k^{Γ} – конструктивний коефіцієнт генератора;

$E_{ном}^{\Gamma}$ – номінальна ЕРС генератора;

$\omega_{ном}^{\Gamma}$ – номінальна кутова швидкість обертання валу генератора.

Для зручності усі результати отриманих розрахунків, що будуть виконані у подальшому, необхідно звести до таблиці 3.

Розрахунки точок залежності $L_{0.3.}^{\Gamma}(I_{0.3.}^{\Gamma})$ ГПС та заповнення таблиці 3 необхідно виконати в наступній послідовності:

- 1) усі значення струму обмотки збудження $I_{0.3.}^{\Gamma}$, які представлені в

таблиці 2, перенесемо у відповідний стовпець таблиці 3;

2) для відповідних значень струму $I_{0.3.}^{\Gamma}$, перенесемо значення магнітного потоку Φ^{Γ} з таблиці 1 до відповідного стовпця таблиці 3;

3) далі заповнюємо наступний стовпець прирощення струму обмотки збудження ГПС, розрахунок виконується за формулою

$$, \quad (43)$$

де i – поточний номер рядка таблиці 3, $i \in [1; 8]$;

4) аналогічно до формули (43) розраховується значення величини прирощення магнітного потоку

$$\Delta\Phi_i^{\Gamma}(I_{0.3.i}^{\Gamma}) = \Phi_{i+1}^{\Gamma}(\cdot); \quad (44)$$

5) знаходимо значення наступної величини

$$(45)$$

6) потім розраховуємо значення величини, що не залежить від змінних значень, за формулою

$$; \quad (46)$$

7) відповідно до формули (41) для кожного значення струму обмотки збудження $I_{0.3.}^{\Gamma}$, знайдемо значення індуктивності обмотки збудження генератора $L_{0.3.}^{\Gamma}$, та остаточно формула набуде вигляду

$$L_{0.3.i}^{\Gamma}(I_{0.3.i}^{\Gamma}) = 2p \cdot W_{0.3.}^{\Gamma} \cdot \left[\frac{\Delta\Phi_i^{\Gamma}(I_{0.3.i}^{\Gamma})}{\Delta I_{0.3.i}^{\Gamma}} \right]. \quad (47)$$

Після того, як для кожного значення струму обмотки збудження $I_{0.3.}^{\Gamma}$ було розраховано відповідне значення індуктивності обмотки збудження генератора $L_{0.3.}^{\Gamma}$, необхідно виконати побудову даної залежності ГПС. Загальний вигляд цієї залежності $L_{0.3.}^{\Gamma}(I_{0.3.}^{\Gamma})$ зображений на рисунку 6.

Електромагнітна стала часу обмотки збудження ГПС обчислюється за формулою:

(48)

де $L_{0.3}^{\Gamma}$ – індуктивність обмотки збудження генератора;

$R_{0.3}^{\Gamma}$ – опір обмотки незалежного збудження.

При знаходженні електромагнітної сталої часу обмотки збудження ГПС $T_{e.м.}^{\Gamma}$ використовують середнє значення індуктивності обмотки, тоді її можна обчислити за формулою:

(49)

де $L_{0.3, \text{сер}}^{\Gamma}$ – середнє значення індуктивності обмотки збудження ГПС.

Таблиця 3 – Результати розрахунків індуктивності обмотки збудження генератора

№ п/п	$I_{0.3}^{\Gamma}, A$	$\Phi^{\Gamma}(I_{0.3}^{\Gamma}), Bб$	$\Delta I_{0.3}^{\Gamma}, A$	$\Delta \Phi^{\Gamma}(I_{0.3}^{\Gamma}), Bб$	$\frac{d}{dI_{0.3}^{\Gamma}} \Phi^{\Gamma}(I_{0.3}^{\Gamma})$	$\frac{\Phi_{\text{НОМ}}^{\Gamma} \cdot (C_{\text{НОМ}} - 1)}{I_{0.3, \text{НОМ}}^{\Gamma}}, \Gamma_H$	$L_{0.3}^{\Gamma}(I_{0.3}^{\Gamma}), \Gamma_H$
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9			-	-	-		-

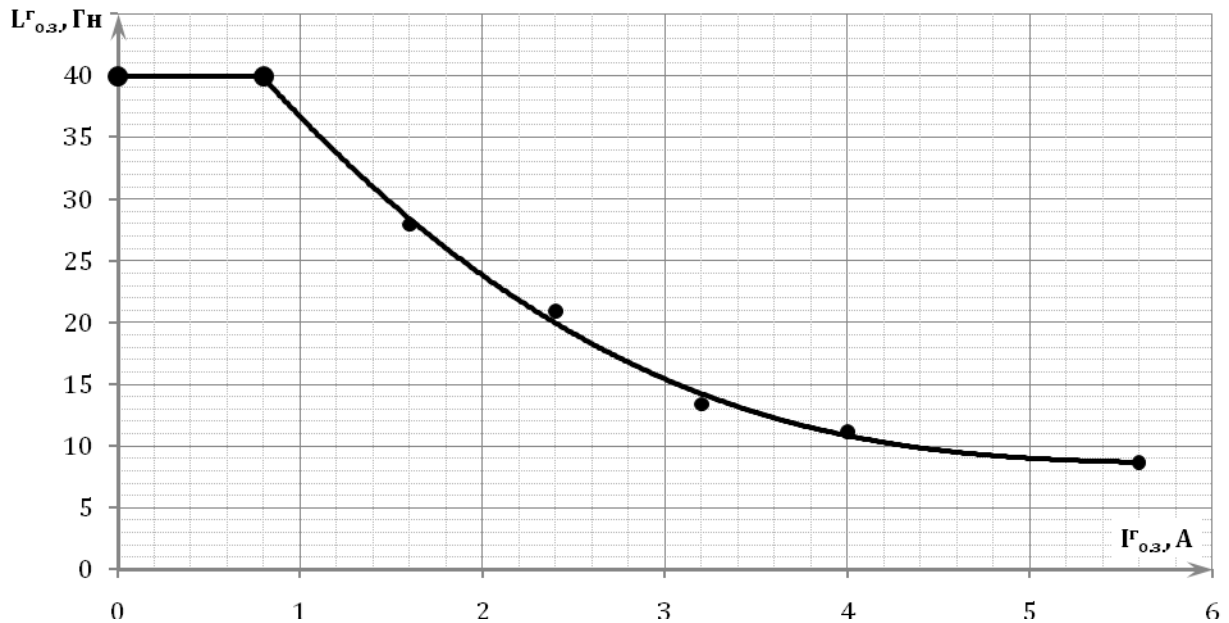


Рисунок 6 – Залежність індуктивності обмотки збудження ГПС від струму обмотки збудження ГПС

Середнє значення індуктивності обмотки збудження генератора знаходиться за номінальними значеннями величин:

$$L_{0.3, \text{сер}}^{\Gamma} = \dots, \quad (50)$$

де $k_{\text{нас}}$ – коефіцієнт насичення обмотки збудження генератора.

Коефіцієнт насичення обмотки збудження ГПС можна обчислити за формулою:

$$\dots, \quad (51)$$

де $F_{\text{ном}}^{\Gamma}$ – номінальна магнітна напруга;

$F_{\text{лін}}^{\Gamma}$ – лінеаризована магнітна напруга.

Значення номінальної магнітної напруги $F_{\text{ном}}^{\Gamma}$ розрахувати користуючись формулою (4) за номінальним значенням струму обмотки збудження ГПС $I_{0.3, \text{ном}}^{\Gamma}$:

$$I_{0.3}^{\Gamma} = \frac{F^{\Gamma}}{W_{0.3}^{\Gamma}} = \dots, \quad (52)$$

де $W_{0.3}^{\Gamma}$ – число витків на полюс обмотки НЗ генератора.

Для знаходження значення лінеаризованої магнітної напруги $F_{\text{лін}}^{\Gamma}$ необхідно виконати лінеаризацію кривої намагнічування ГПС, що зображена на рисунку 2. На рисунку 7 представимо криву намагнічування

та її лінеаризовану пряму. Значення $F_{\text{лін}}^{\Gamma}$ отримують наступним чином:

- виконують лінеаризацію кривої намагнічування;
- на графіку кривої намагнічування проводять пряму $\Phi_{\text{ном}}^{\Gamma}$, що паралельна вісі F^{Γ} ;
- при перетині прямої $\Phi_{\text{ном}}^{\Gamma}$ з лінеаризованою прямою отримують точку прямої $F_{\text{лін}}^{\Gamma}$ та паралельно вісі Φ^{Γ} проводять пряму до вісі F^{Γ} ;

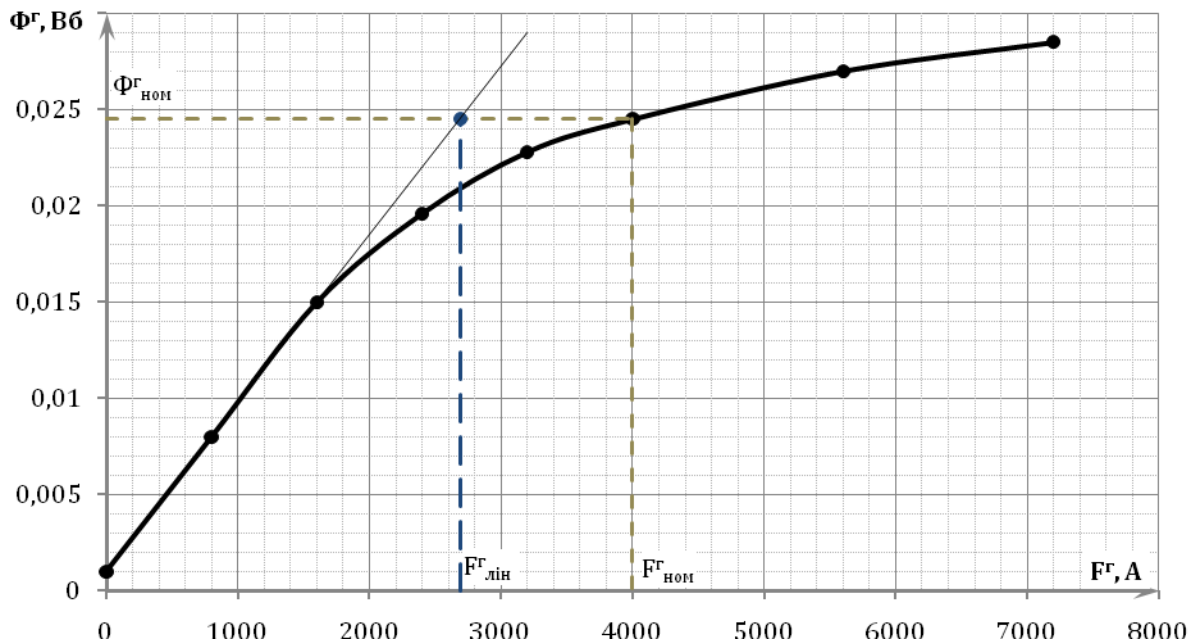


Рисунок 7 – Крива намагнічування ГПС $\Phi^{\Gamma}(F^{\Gamma})$ та її лінеаризована пряма

Після розрахунків виконаних за формулами (52), (51) та (50) знайти значення електромагнітної сталої часу обмотки збудження ГПС $T_{\text{е.м.}}^{\Gamma}$ за формулою (49).

Електромеханічна стала часу ЕП обчислюється за формулою:

$$(53)$$

де $J_{\text{ЕП}}$ – момент інерції усієї системи, що приведений до валу двигуна;
 R_{Σ}^{Γ} – сумарний опір у колі якоря;
 k – конструктивний коефіцієнт двигуна;
 $\Phi_{\text{ном}}$ – номінальний потік збудження двигуна.

Момент інерції всієї системи, що приведений до валу двигуна, знаходять зі формули:

$$(54)$$

де k_J – коефіцієнт інерції ЕП;
 $J_{\text{д}}$ – момент інерції якоря двигуна.

5 РОЗРАХУНОК КОЕФІЦІЄНТА ФОРСУВАННЯ ЗБУДЖЕННЯ ГЕНЕРАТОРА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Час перехідних процесів у системі Г-Д визначаються, в основному, часом збудження чи розбудження генератора. Для скорочення тривалості перехідного процесу в даній системі скористаємося методом форсованого змінення струму збудження, тобто виконаємо форсування процесу збудження ГПС.

Форсування процесу збудження генератора, як правило, здійснюється за рахунок збільшення напруги живлення кола збудження ГПС на період розгону двигуна до робочої (основної) швидкості:

$$, \quad (55)$$

де U_m – напруга живлення кола збудження ГПС;

k_f – коефіцієнт форсування процесу збудження ГПС;

$U_{0.з.}^y$ – напруга на обмотці збудження генератора в усталеному режимі.

Значення коефіцієнту форсування процесу збудження ГПС визначається з умови: розрядний опір R_4 під час форсування процесу збудження генератора зашунтований, а максимальний струм у колі якоря $I_{я}^{\max}$ під час пуску не перевищує допустимого значення $I_{я}^{\text{доп}}$. Відповідно до цієї умови формула має вигляд:

$$k_f ; \quad (56)$$

де $I_{я}^{\text{доп}}$ – допустиме значення струму в колі якоря;

$I_{нв}^c$ – статичний струм навантаження;

$I_{к.з.}^r$ – струм короткого замикання при ЕРС генератора, що забезпечує номінальну швидкість двигуна;

$T_{е.мех.}^r$ – електромеханічна стала часу ЕП;

$T_{е.м.}^r$ – електромагнітна стала часу обмотки збудження ГПС;

Напругу на обмотці збудження генератора в усталеному режимі можна обчислити за формулою:

$$, \quad (57)$$

де $I_{0.з.ном}^r$ – номінальний струм обмотки збудження ГПС;

$R_{0.з.}^r$ – опір обмотки незалежного збудження;

Для розрахунку коефіцієнта форсування процесу збудження ГПС необхідно виконати обчислення наступних величин:

– допустиме значення струму в колі якоря

$$, \quad (58)$$

де $I_{\text{НОМ}}^{\text{д}}$ – номінальний струм двигуна;

k_I – коефіцієнт перевантаження за струмом, $k_I = (2..2,5)$;

– статичний струм навантаження

$$, \quad (59)$$

де $k_{\text{нв}}$ – коефіцієнт навантаження ЕП;

– струм короткого замикання при ЕРС генератора, що забезпечує номінальну швидкість двигуна

$$, \quad (60)$$

де $E_{\text{НОМ}}^{\text{Г}}$ – номінальна ЕРС генератора (ЕРС генератора, що забезпечує номінальну швидкість двигуна);

$R_{\text{я}}^{\Sigma}$ – сумарний опір у колі якоря.

За формулою (55) розраховують попереднє значення $U_{\text{м}}$. Потім зі стандартного ряду значень напруг (таблиця 4) обирати найближче більше значення напруги живлення кола збудження ГПС $U_{\text{м}}$, що буде забезпечувати необхідне форсування процесу збудження генератора.

Таблиця 4 – Стандартний ряд значень напруг

Значення напруги, В				
110	220	440	660	880

6 РОЗРАХУНОК ОПОРУ РЕЗИСТОРІВ У КОЛІ ОБМОТКИ ЗБУДЖЕННЯ ГЕНЕРАТОРА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Відповідно до схеми керування системи Г-Д (рисунок 1) на рисунку 8 зображена спрощена схема заміщення кола обмотки збудження ГПС. Користуючись цією схемою заміщення, виконати розрахунок опорів резисторів у колі обмотки збудження генератора.

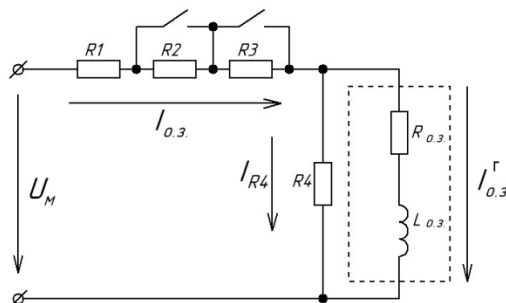


Рисунок 8 – Спрощена схема заміщення кола обмотки збудження ГПС

6.1 Визначення опору розрядного резистору R4

Вибір розрядного резистору виконується за наступними умовами:

– допустима перенапруга на обмотці збудження генератора в момент її відключення під номінальним струмом не повинна перевищувати десятикратної номінальної напруги збудження ГПС

$$, \quad (61)$$

де $I_{0.3, \text{ном}}^{\Gamma}$ – номінальний струм обмотки збудження ГПС;

$R4$ – розрядний опір;

$U_{0.3, \text{ном}}^{\Gamma}$ – номінальна напруга збудження ГПС, $U_{0.3, \text{ном}}^{\Gamma} = U_{0.3}^{\gamma}$;

– максимальний струм у якірному колі не повинен перевищувати допустиме значення за умовами комутації

$$, \quad (62)$$

де $I_{\text{я}}^{\text{макс}}$ – максимальний струм у якірному колі;

$I_{\text{я}}^{\text{доп}}$ – допустиме значення струму у колі якоря.

Використовуємо спрощений розрахунок, щоб обчислити значення розрядного опору $R4$. Допустиме значення струму в якірному колі за умовами комутації:

$$I_{\text{я}}^{\text{макс}} = -I_{\text{к.з.}}^{\Gamma}; \quad (63)$$

де $I_{к.з.}^Г$ – струм короткого замикання при ЕРС генератора, що забезпечує номінальну швидкість двигуна;

$T_{е.мех.}^Г$ – електромеханічна стала часу ЕП;

$T_{е.м.}^{Г'}$ – електромагнітна стала часу обмотки збудження ГПС при її відключенні;

$I_{нв}^с$ – статичний струм навантаження.

Електромагнітна стала часу обмотки збудження ГПС при її відключенні:

$$, \quad (64)$$

де $L_{о.з.сер}^Г$ – середнє значення індуктивності обмотки збудження ГПС;

$R_{о.з.}^Г$ – опір обмотки незалежного збудження;

$R4$ – розрядний опір.

Підставивши рівняння (64) до рівняння (63) отримаємо, що допустиме значення струму в якірному колі за умовами комутації можна обчислити за формулою:

$$I_{я}^{max} = \left\{ T_{е.м.}^{Г'} = \frac{T_{е.м.}^Г}{1+n} \right\} = -I_{к.з.}^Г \cdot \left([1+n] \cdot \frac{T_{е.мех.}^Г}{T_{е.м.}^Г} \right)^{(1+n)} \cdot \frac{T_{е.м.}^Г}{T_{е.м.}^Г - T_{е.м.}^Г}, \quad (65)$$

де $T_{е.м.}^Г$ – електромагнітна стала часу обмотки збудження ГПС.

З урахуванням умови струму в якірному колі (62) і формули для знаходження допустимого значення струму в якірному колі за умовами комутації (65) отримаємо наступне трансцендентне рівняння, розв'язавши яке отримаємо значення величини n :

$$\frac{k_I \cdot I_{ном}^д - I_{нв}^с}{I_{к.з.}^Г} = \left(\frac{T_{е.мех.}^Г}{T_{е.м.}^{Г'}} \right)^{\frac{T_{е.м.}^{Г'}}{T_{е.м.}^Г - T_{е.мех.}^Г}} = \left\{ T_{е.м.}^{Г'} = \frac{T_{е.м.}^Г}{1+n} \right\} = \left([1+n] \cdot \frac{T_{е.мех.}^Г}{T_{е.м.}^Г} \right)^{(1+n)} \cdot \frac{T_{е.м.}^Г}{T_{е.м.}^Г - T_{е.м.}^Г}.$$

Остаточно для знаходження значення розрядного опору $R4$ необхідно знайти розв'язок трансцендентного рівняння, прийнявши коефіцієнт перевантаження за струмом $k_I = 2$, вигляд якого наведений нижче:

$$\frac{k_I \cdot I_{ном}^д - I_{нв}^с}{I_{к.з.}^Г} = \left([1+n] \right)^{1+n}, \quad (66)$$

де n – розв'язок трансцендентного рівняння, $n \in [0; +\infty)$.

З розв'язку цього трансцендентного рівняння (66) отримаємо значення розрядного опору:

(67)

Після знаходження значення розрядного опору R_4 необхідно перевірити виконання умов (61) і (62).

6.2 Визначення опорів регулювальних резисторів R_1 , R_2 , R_3

Резистор R_1 при форсованому пуску потрібен для погашення надлишку напруги мережі:

(68)

де U_M – напруга живлення кола збудження ГПС;

k_f – коефіцієнт форсування процесу збудження ГПС;

$U_{0.3.}^y$ – напруга на обмотці збудження генератора в усталеному режимі.

Для подальшого розрахунку опору R_1 обчислимо наступні величини:

– струм у розрядному опорі R_4

(69)

– струм у колі збудження при форсуванні процесу збудження

(70)

де $I_{0.3. ном}^r$ – номінальний струм обмотки збудження ГПС.

Тоді значення опору R_1 обчислимо за формулою

(71)

Резистор R_2 забезпечує отримання основної кутової швидкості обертання після зняття форсування процесу збудження:

$$R_2, \quad (72)$$

де $R_{0.3.}^r$ – опір обмотки незалежного збудження.

Для знаходження значення опору R_3 необхідно з характеристики неробочого руху (рисунок 3) за значенням ЕРС генератора $E^r = 0,5 \cdot E_{ном}^r$

знайти відповідне значення струму обмотки збудження ГПС $I_{0.5, 0.5ном}^{\Gamma}$. Резистор R3 знаходять з умови отримання половинної основної кутової швидкості обертання:

$$R3 = \frac{(U_M - I_{0.5, 0}^{\Gamma})}{I_{0.5, 0.5ном}^{\Gamma}}, \quad (73)$$

де $I_{0.5, 0.5ном}^{\Gamma}$ – значення струму обмотки збудження ГПС, що забезпечує половинну швидкість обертання.

7 ПЕРЕХІДНІ ПРОЦЕСИ У СИСТЕМІ ГЕНЕРАТОР-ДВИГУН

Перехідні чи динамічні процеси в ЕП – це режим роботи ЕП при переході від одного усталеного стану до іншого під час процесу пуску, гальмуванні чи реверсу, а також при різкому прикладенні навантаження на вал ЕП. Ці режими характеризуються зміненням ЕРС, кутової швидкості, механічного моменту та струмів у колі збудження ГПС і в якірному колі ДПС.

Вивчення перехідних (динамічних) процесів дозволяє:

- правильно визначити потужність електродвигуна та його апаратури;
- розрахувати систему керування;
- оцінити вплив роботи ЕП на продуктивність і якість роботи промислових механізмів.

Під час перехідних процесів (ПП) ЕП одночасно й взаємозв'язано між собою діють перехідні механічні, електромагнітні й теплові процеси. При процесах, що швидко протікають, теплові процеси на стан ЕП, у більшості випадків, не впливають на інші перехідні процеси, тому в подальшому при дослідженні динамічних властивостей в ЕП не будемо враховувати його тепловий стан. Тоді в цьому випадку враховуємо протікання в ЕП тільки механічних і електромагнітних перехідних процесів, що в сукупності дають електромеханічні перехідні процеси. Вони викликаються електромагнітною інерцією обмоток електричних машин і апаратів.

У деяких випадках впливом електромагнітних перехідних процесів можна знехтувати, тоді динамічні властивості визначаються тільки механічними перехідними процесами, в яких враховується тільки механічна інерція мас ЕП, що рухаються.

7.1 Розрахунок перехідних процесів у колі збудження генератора системи Г-Д графоаналітичним методом

Графоаналітичним методом необхідно виконати розрахунки динамічних процесів у колі збудження ГПС під час:

- пуску ЕП;
- гальмуванні ЕП;
- реверсу ЕП.

За отриманими даними розрахунків для кожного з цих режимів виконують побудову часових залежностей генератора постійного струму: змінення струму у колі збудження $I_{0.з.}^{\Gamma}(t)$, індуктивності обмотки збудження $L_{0.з.}^{\Gamma}(t)$ та ЕРС $E^{\Gamma}(t)$.

7.1.1 Розрахунок ПП під час пуску ЕП

Вихідними даними для розрахунку перехідних процесів у колі збудження ГПС під час пуску ЕП є система рівнянь:

$$\begin{cases} U_M = I_{0.3}^D \cdot R_1 - I_{0.3}^G, \\ U_{0.3}^D = I_{R4} \cdot R_4 = I_0^G \\ I_{0.3}^D = I_{R4} + I_{0.3}^G, \end{cases} \quad (74)$$

де U_M – підвищена напруга живлення кола збудження ГПС;

$I_{0.3}^D, I_{0.3}^G$ – струми обмотки збудження ДПС і ГПС відповідно;

$U_{0.3}^D$ – спад напруги на обмотці збудження двигуна;

$L_{0.3}^G$ – індуктивність обмотки збудження ГПС.

Підставивши у друге рівняння системи перше та третє рівняння й виконавши спрощення, отримуємо рівняння:

$$L_{0.3}^G \cdot \frac{dI_{0.3}^G}{dt} = \frac{R_4}{R_1 + R_4} \cdot U_M - I_{0.3}^G \quad (75)$$

Переходячи до кінцевих спрощень, отримуємо формулу для чисельного розрахунку прирощення часу для i -го значення:

$$, \quad (76)$$

де k_1 – коефіцієнт, що обчислюється за формулою

$$; \quad (77)$$

R_e – еквівалентний опір, що дорівнює значенню

$$. \quad (78)$$

Використовуючи формулу (76), отримуємо формулу для чисельного розрахунку часу для i -го значення:

$$. \quad (79)$$

Під час пуску ЕП струм $I_{0.3}^G$ у колі обмотки збудження ГПС змінюється від нуля до свого максимального значення ($I_{0.3, g}^G$). Для зручності усі результати отриманих розрахунків динамічних процесів, що будуть виконані у подальшому, необхідно звести до таблиці 5. Розрахунки точок часових залежностей ГПС та заповнення таблиці 5 необхідно виконати в наступній послідовності:

1) усі значення струму обмотки збудження $I_{0.3}^G$ (з таблиці 3), при-

рошення струму обмотки збудження ГПС $\Delta I_{0.3}^{\Gamma}$ (з таблиці 3), індуктивності обмотки збудження генератора $L_{0.3}^{\Gamma}$ (з таблиці 3), та ЕРС генератора E^{Γ} (з таблиці 2) перенесемо у відповідні стовпці таблиці 5;

2) далі заповнюємо стовпець добутку величин $R_e \cdot I_{0.3}^{\Gamma}$ для кожного значення струму обмотки збудження $I_{0.3}^{\Gamma}$, розрахунок виконується за формулою

$$R_e \cdot I_{0.3,i}^{\Gamma} = \dots \quad (80)$$

де i – поточний номер рядка таблиці 5, $i \in [1;8]$;

3) знаходження значення величини $(k_1 \cdot U_M - R_e \cdot I_{0.3}^{\Gamma})$ виконуємо за наступною формулою, підставивши відповідне значення $R_e \cdot I_{0.3,i}^{\Gamma}$

$$(k_1 \cdot U_M - R_e \cdot I_{0.3,i}^{\Gamma}) = k; \quad (81)$$

4) знаходимо значення прирощення часу для кожного i -го значення користуючись формулою (76);

5) потім знаходимо значення часу використовуючи формулу (79).

Таблиця 5 – Розрахунок перехідних процесів під час пуску ЕП

№	$I_{0.3}^{\Gamma}$, А	$\Delta I_{0.3}^{\Gamma}$, А	$L_{0.3}^{\Gamma}$, Гн	E^{Γ} , В	$R_e \cdot I_{0.3}^{\Gamma}$, В	$(k_1 \cdot U_M - R_e \cdot I_{0.3}^{\Gamma})$, В	Δt , мс	t , мс
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9		-	-				-	-

За даними таблиці 5 будуються часові залежності $I_{0.3}^{\Gamma}(t)$, $L_{0.3}^{\Gamma}(t)$ та $E^{\Gamma}(t)$ відповідно. На рисунках 9, 10 та 11 представимо відповідні часові залежності у загальному вигляді.

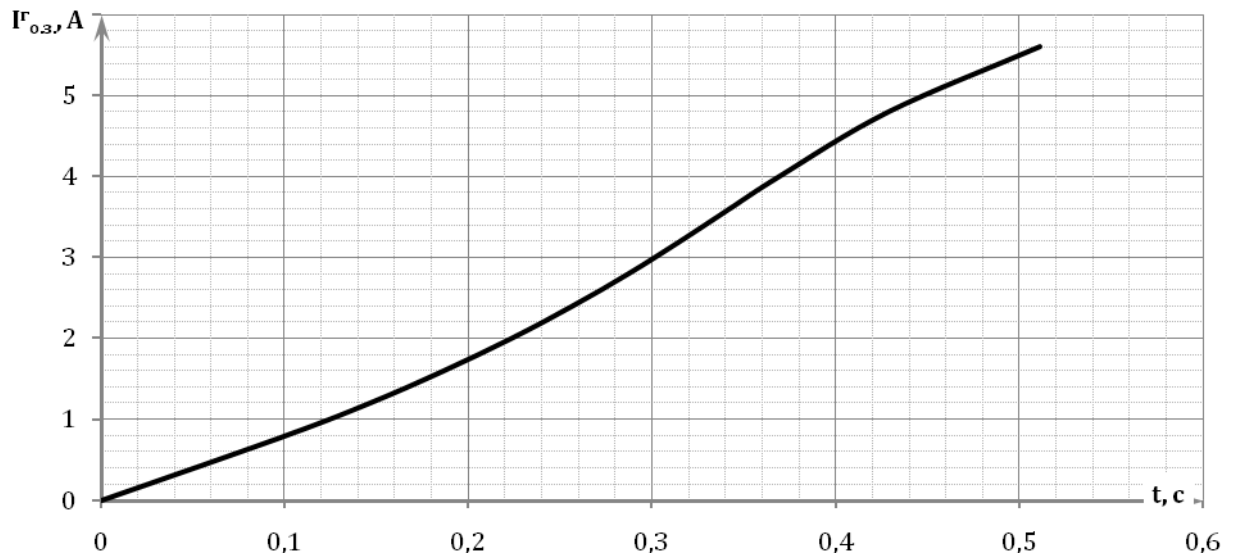


Рисунок 9 – Часова залежність під час пуску ЕП

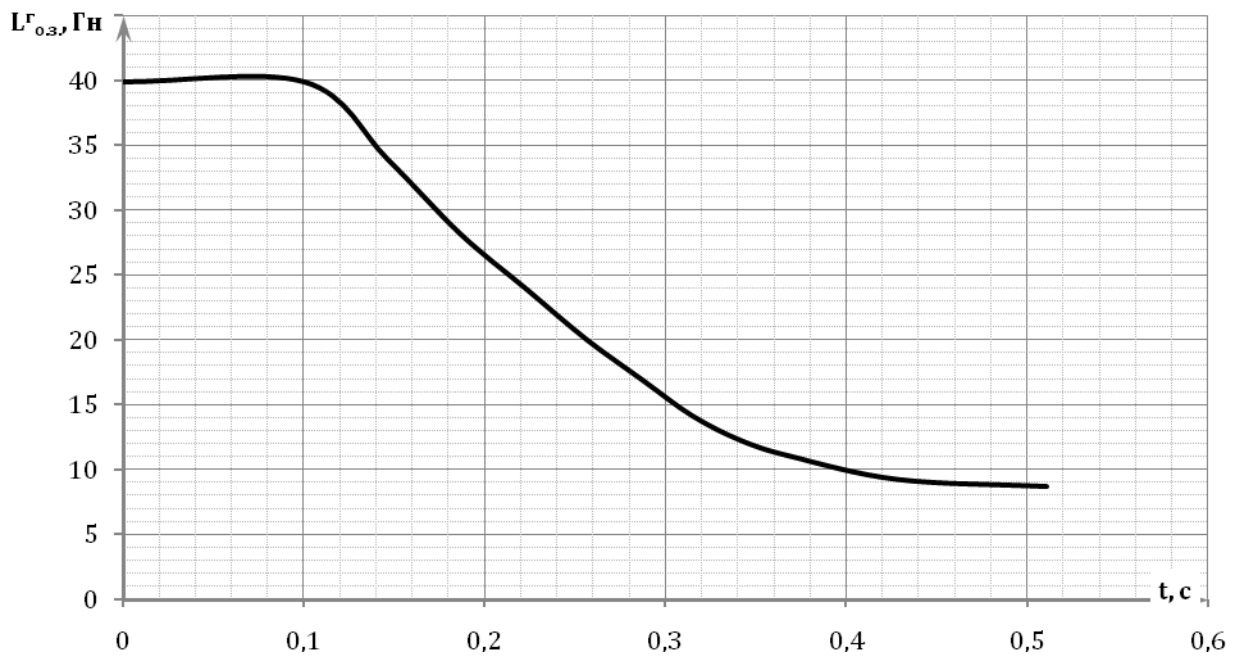


Рисунок 10 – Часова залежність під час пуску ЕП

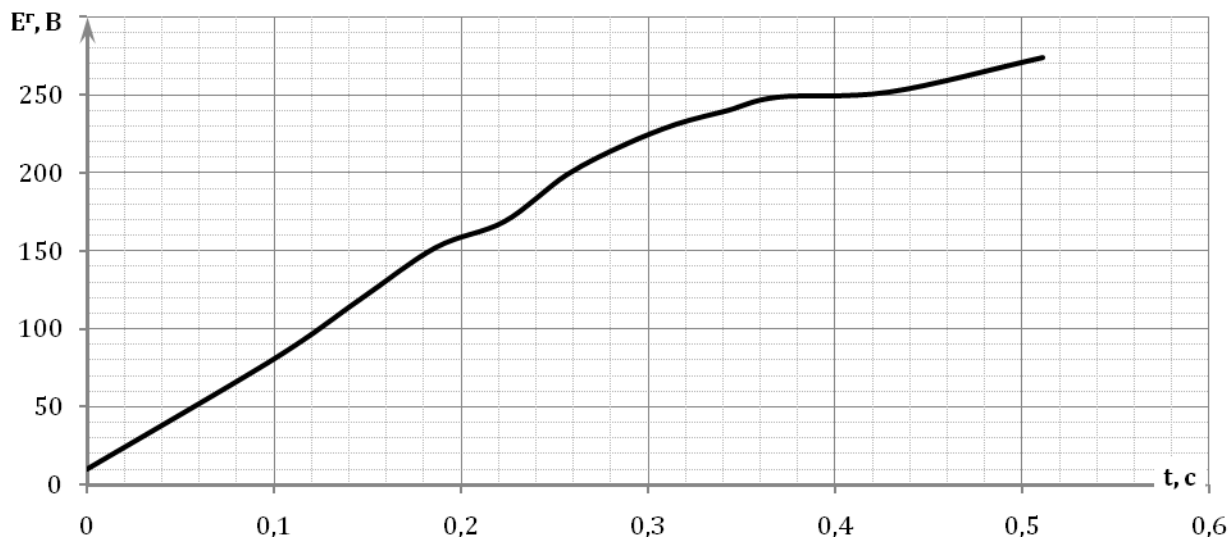


Рисунок 11 – Часова залежність під час пуску ЕП

7.1.2 Розрахунок ПП під час гальмуванні ЕП

Під час цього процесу обмотку збудження генератора відключають від джерела живлення й замикають на розрядний опір $R4$. Чисельний результат перехідного процесу в цьому випадку розраховується за формулою:

$$t = \dots \quad (82)$$

Під час гальмуванні ЕП струм $I_{0.3.}^Г$ у колі обмотки збудження ГПС змінюється від свого максимального від'ємного значення ($-I_{0.3.}^Г$) до нульового значення. Для зручності усі результати отриманих розрахунків, що будуть виконані у подальшому, необхідно звести до таблиці 6. Розрахунки точок часових залежностей ГПС та заповнення таблиці 6 необхідно виконати в наступній послідовності:

1) значення i -го рядка стовпця $[-I_{0.3.}^Г, А]$ таблиці 6 беремо з рядка $(9-i)$ стовпця $[I_{0.3.}^Г, А]$ таблиці 5 зі протилежним знаком;

2) далі заповнюємо наступний стовпець прирощення струму обмотки збудження ГПС, розрахунок виконується за формулою (43);

3) з таблиці 5 за модулем для відповідних значень струму обмотки збудження генератора заповнюємо стовпці $[I_{0.3.}^Г, Гн]$ і $[-E^Г, В]$ таблиці 6;

4) далі заповнюємо стовпець добутку величин $(R_e + R4) \cdot (-I_{0.3.}^Г)$ для кожного значення струму обмотки збудження $I_{0.3.}^Г$, розрахунок виконується за формулою

$$[(R_e + R4) \cdot (-I_{0.3.}^Г)]_i = \dots \quad (83)$$

де i – поточний номер рядка таблиці 6, $i \in [1;8]$;

5) потім знаходимо значення часу використовуючи формулу (82).

Таблиця 6 – Розрахунок перехідних процесів під час гальмування ЕП

№	$-I_{0.3}^{\Gamma}, A$	$\Delta I_{0.3}^{\Gamma}, A$	$L_{0.3}^{\Gamma}, \Gamma H$	$-E_{\Gamma}, B$	$(R_e + R4) \cdot (-I_{0.3}^{\Gamma}), B$	$\Delta t, мс$	$t, мс$
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8		-				-	-

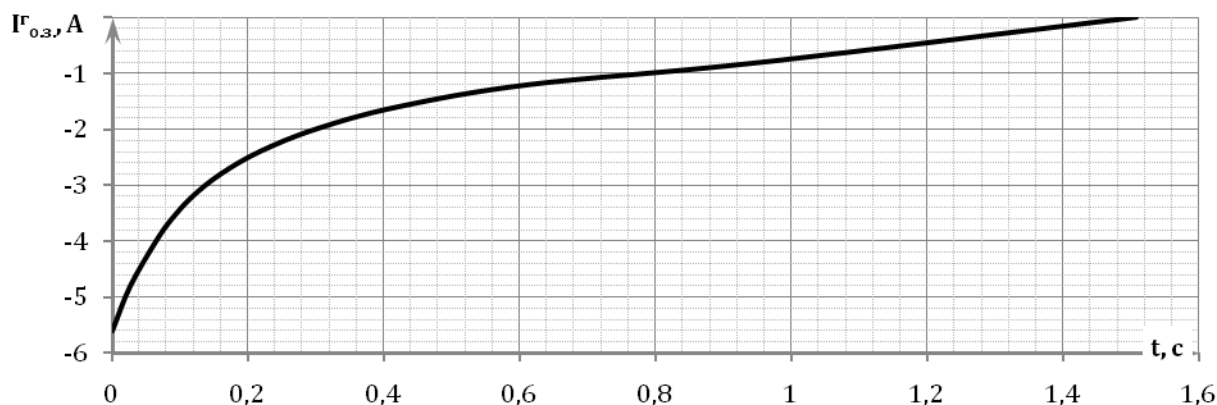
За даними таблиці 6 будуються часові залежності $I_{0.3}^{\Gamma}(t)$, $L_{0.3}^{\Gamma}(t)$ та $E^{\Gamma}(t)$ відповідно. На рисунках 12, 13 та 14 представимо відповідні часові залежності у загальному вигляді.

7.1.3 Розрахунок ПП під час реверсу ЕП

Чисельний результат перехідного процесу в даному режимі розраховуємо за формулою:

$$t = \sum \left[\frac{1}{k_j} \right] \quad (84)$$

Розрахунки виконується аналогічно до пункту 7.1.1: під час реверсу ЕП струм $I_{0.3}^{\Gamma}$ у колі обмотки збудження ГПС змінюється від нуля до свого максимального від'ємного значення ($-I_{0.3, g}^{\Gamma}$). Результати розрахунків динамічних процесів зводяться до таблиці 7.



4								
5								
6								
7								
8								
9		-	-					- -

За даними таблиці 7 будуються часові залежності $I_{0.3}^F(t)$, $L_{0.3}^F(t)$ та $E^F(t)$ відповідно. На рисунках 15, 16 та 17 представимо відповідні часові залежності у загальному вигляді.

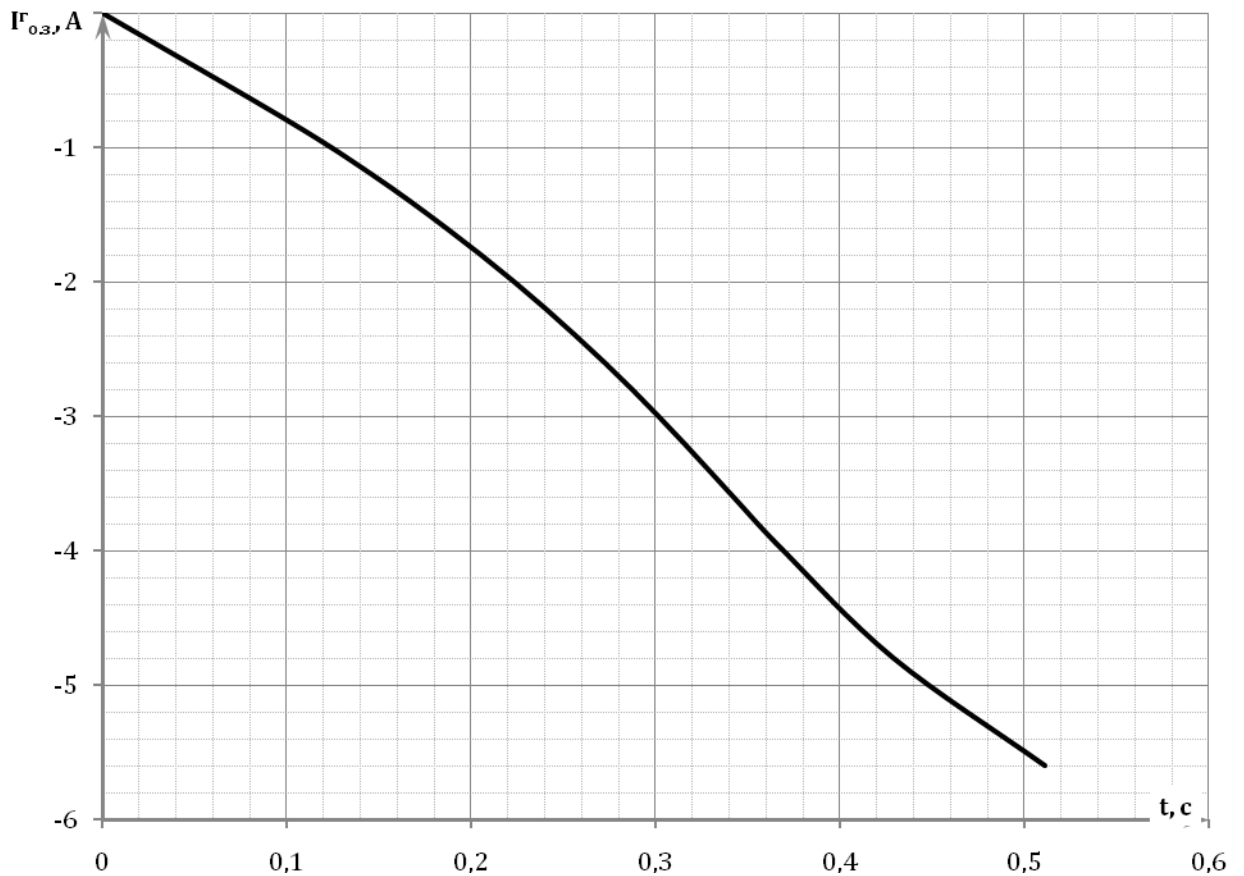


Рисунок 15 – Часова залежність під час реверсу ЕП

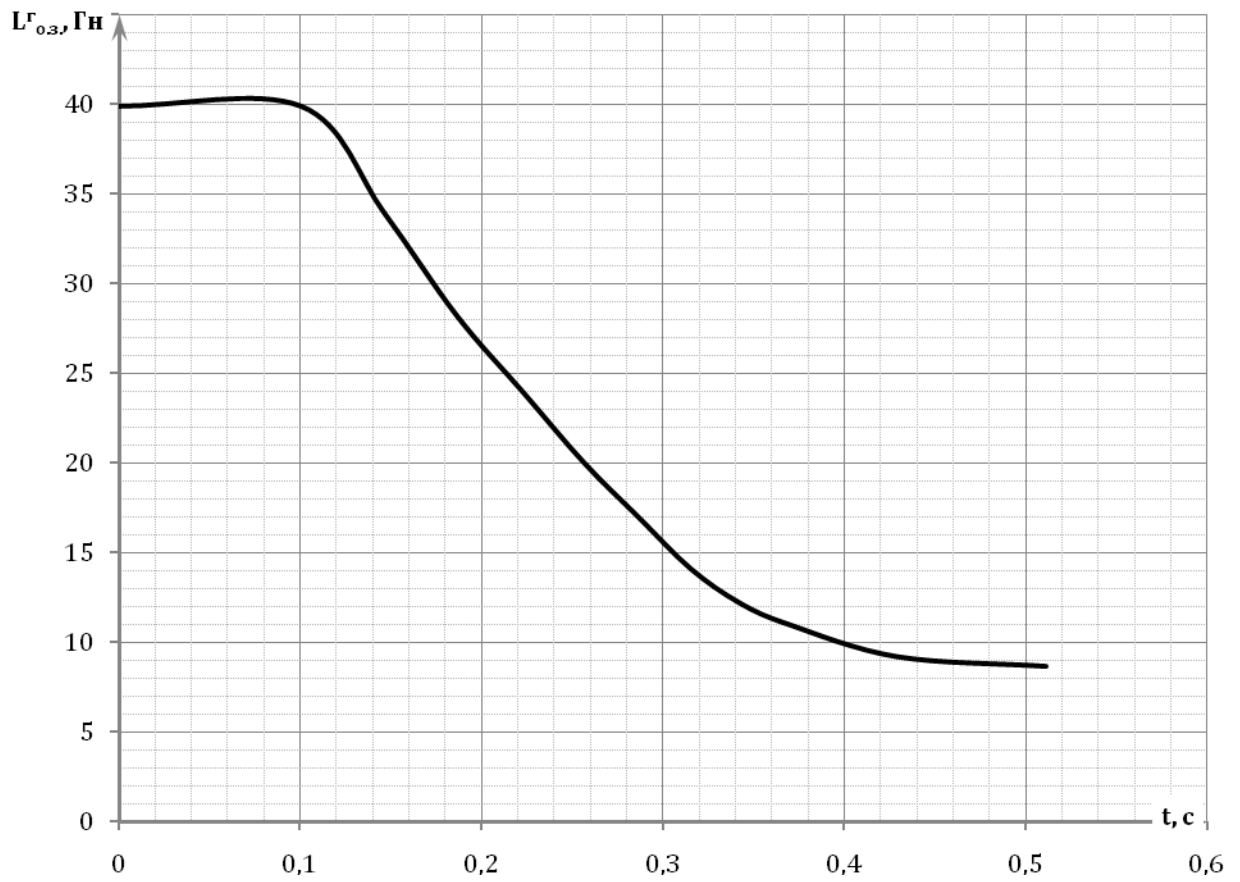
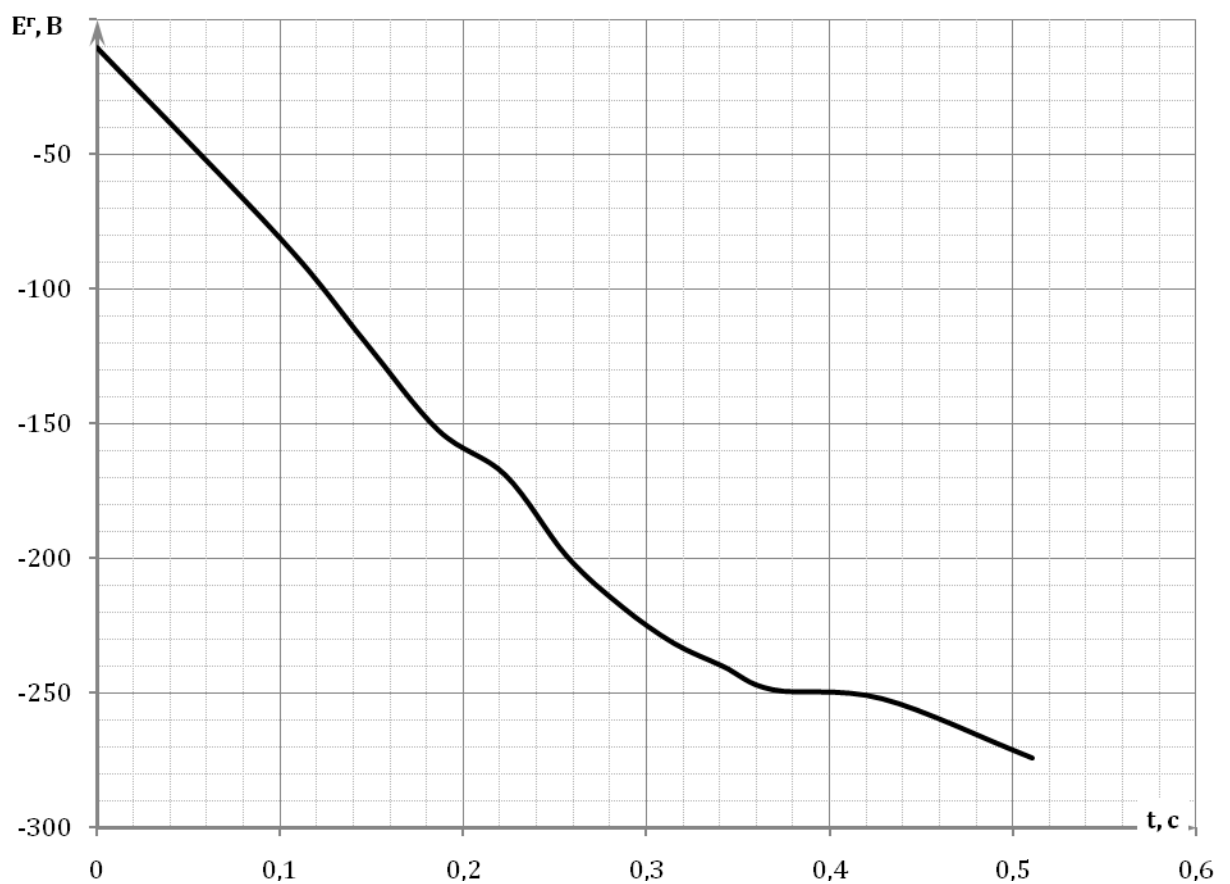


Рисунок 16 – Часова залежність під час реверсу ЕП



7.2 Отримання перехідних процесів у системі Г-Д за допомогою прикладного програмного забезпечення

У програмному середовищі (ПС) MATLAB Simulink виконати моделювання математичної моделі системи Г-Д і представити графіки перехідних процесів $I_{\text{оз}}(t)$, $E^r(t)$, $I_a(t)$, $M(t)$, $M_c(t)$, $\omega(t)$.

На рисунках 18, 19 та 20 представлені математичні моделі в ПС MATLAB Simulink системи Г-Д. У таблиці Г1 (додаток Г) представлені позначення блоків моделі. Результати дослідження даних моделей є рисунки графіків перехідних процесів, отриманих у ПС MATLAB Simulink.

Навести додаткові параметри моделювання для всіх математичних моделей в ПС MATLAB Simulink:

- час моделювання $t_{\text{поч}}$; $t_{\text{кін}}$;
- метод виконання розрахунку;
- максимальний крок;
- час і величину введення навантаження.

Індуктивність обмотки якоря ДПС можна визначити за формулою:

$$L = \frac{U_{\text{ном}}^{\text{Д}}}{I_{\text{ном}}^{\text{Д}}} \cdot \frac{1}{k_L} \cdot \frac{1}{\omega_{\text{ном}}^{\text{Д}}} \quad (85)$$

де k_L – коефіцієнт для компенсованих двигунів (для некомпенсованих двигунів $k_L = 0,25$);

$U_{\text{ном}}^{\text{Д}}$ – номінальна напруга живлення ДПС;

p – число пар полюсів;

$\omega_{\text{ном}}^{\text{Д}}$ – номінальна кутова швидкість обертання валу ДПС;

$I_{\text{ном}}^{\text{Д}}$ – номінальний струм ДПС.

7.2.1 Дослідження перехідних процесів системи Г-Д без урахуванням нелінійних властивостей

На рисунку 18 представимо схему математичної моделі, яку необхідно змоделювати в ПС MATLAB Simulink.

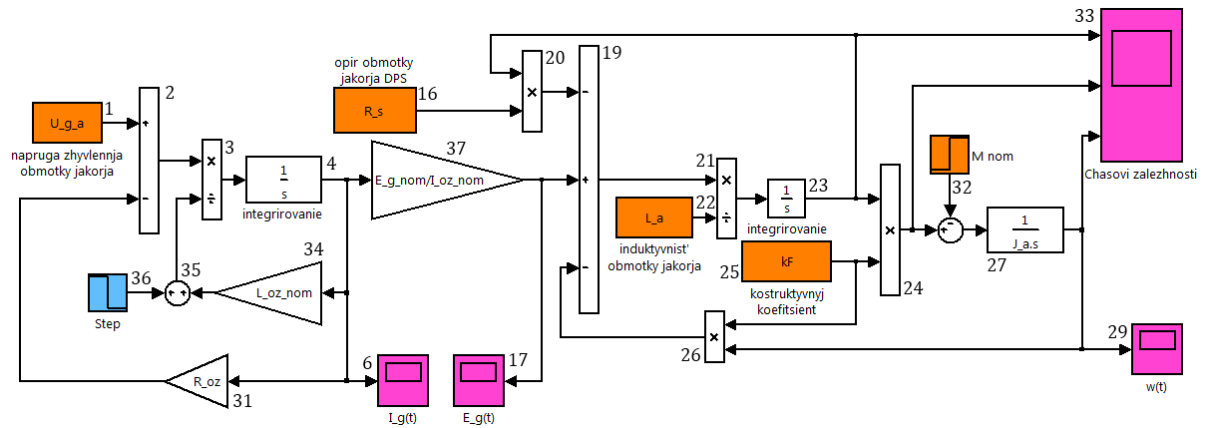


Рисунок 18 – Математична модель в ПК MATLAB Simulink системи Г-Д без урахуванням нелінійних властивостей залежностей та

7.2.2 Дослідження перехідних процесів системи Г-Д із урахуванням нелінійних властивостей

На рисунку 19 представимо схему математичної моделі, яку необхідно змоделювати в ПК MATLAB Simulink.

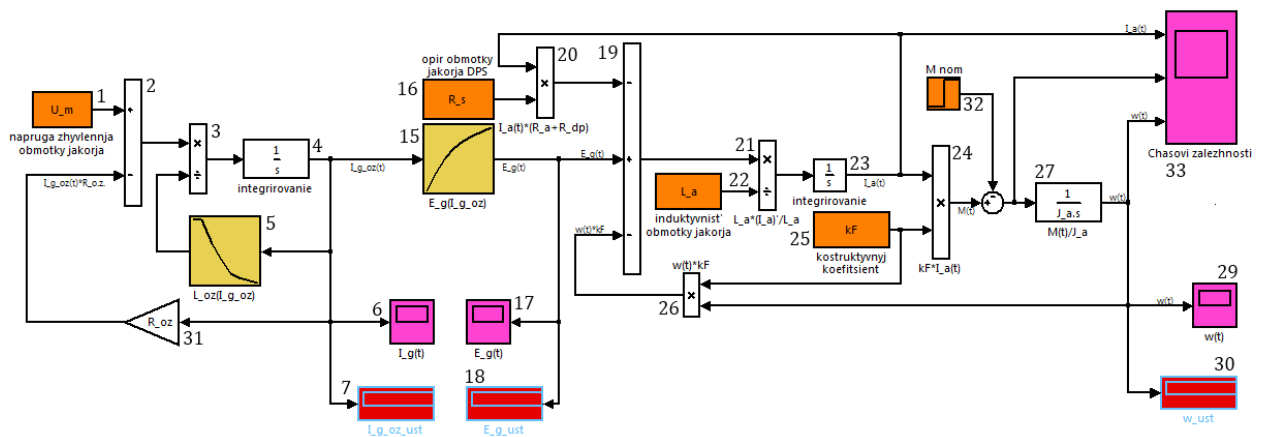


Рисунок 19 – Математична модель в ПК MATLAB Simulink системи Г-Д із урахуванням нелінійних властивостей залежностей та

7.2.3 Дослідження перехідних процесів системи Г-Д із урахуванням нелінійних властивостей та з форсуванням процесу збудження генератора

На рисунку 20 представимо схему математичної моделі, яку необхідно змоделювати в ПК MATLAB Simulink.

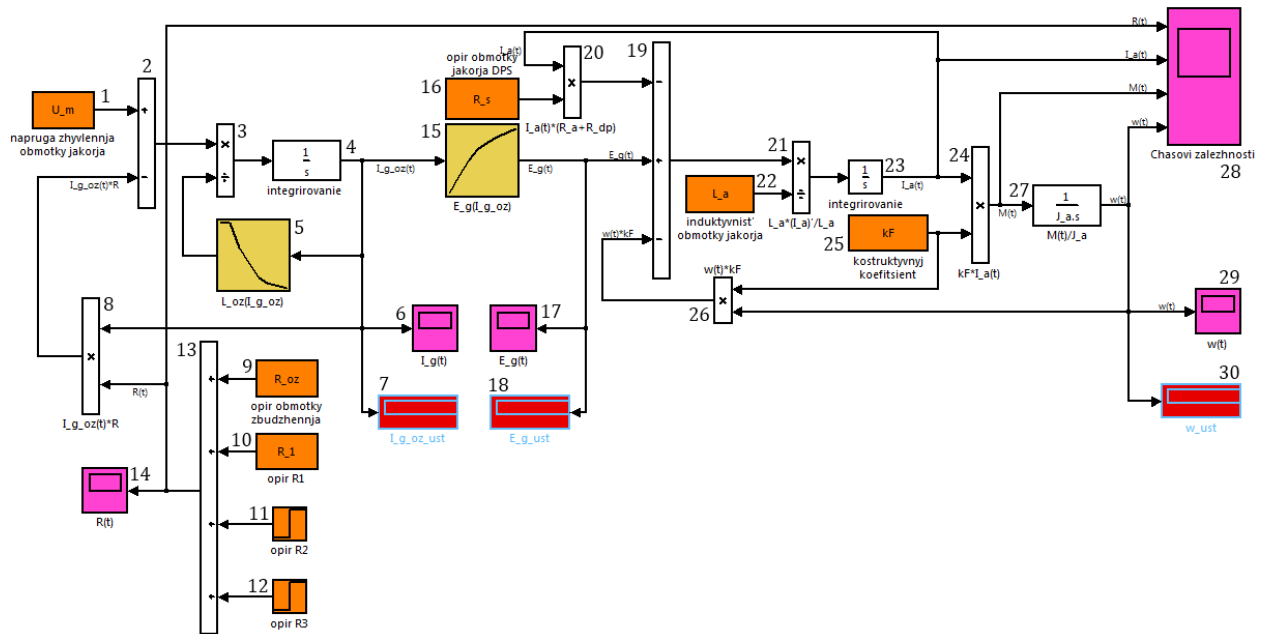


Рисунок 20 – Математична модель в ПС MATLAB Simulink системи Г-Д із урахуванням нелінійних властивостей залежностей та та з форсуванням процесу збудження ГПС

ЛІТЕРАТУРА

1. Чиликин М. Г. и др. Основы автоматизированного электропривода. – М.: Энергия, 1974. – 567 с.
2. Ключев В. И. Теория электропривода: Учеб. для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 560 с.
3. Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. – М.: Наука. Гл. ред. физ. мат. лит., 1981. – 720 с.
4. Андреев В. П., Сабинин Ю. А. Основы электропривода. – М.; Л.: Госэнергоиздат, 1963. – 722 с.

ДОДАТОК А

Завдання на проектування

У таблицях А1 і А2 представлені вихідні дані для проектування: в таблиці А1 представлені дані з тривалістю ввімкнення $T_B = 100\%$, а в таблиці А2 – $T_B = 40\%$. Для всіх варіантів номінальна напруга живлення двигуна $U_{НОМ}^Д = 220 В$.

Таблиця А1 – Вихідні дані для проектування для варіантів 1..19

Варіант	Тип двигуна	Режим $T_B = 100\%$			$R_{я.к.}^Д = (R_{я.к.}^Д + R_{я.к.}^Д)$	Число			Момент інерції якоря двигуна $J_{д.}$, кг·м ²	Коефіцієнт інерції ЕП K_I	Коефіцієнт навантаження ЕП $K_{нв}$
		Номінальна механічна на потужність $P_{НОМ}$, кВт	$I_{НОМ}^Д$, об./хв.	НОМІНАЛЬНИЙ СТРУМ $I_{НОМ}^Д$, А		активних провідників $N_{я.к.}$	паралельних віток якоря Z_a	пар полюсів $2p$			
1	Д-12	2,5	1180	14,6	1,63	990	2	4	0,05	1,6	0,8
2	Д-21	4,5	1030	26	0,95	920			0,125	1,6	0,8
3	Д-22	6,0	1100	33	0,57	696			0,155	1,6	0,8
4	Д-31	8,0	840	44	0,42	738			0,3	2,0	0,8
5	Д-32	12,0	770	65	0,28	558			0,425	1,6	1,0
6	Д-41	16,0	690	86	0,17	492			0,8	1,6	1,0
7	Д-806	22,0	650	116	0,1065	372			1,0	1,6	1,0
8	Д-808	37,0	575	192	0,054	278			2,0	1,6	1,0
9	Д-810	55,0	550	282	0,0356	234			3,625	1,2	0,8
10	Д-812	75,0	515	380	0,0230	210			7,00	1,2	0,8
11	Д-814	110,0	500	550	0,0805	608			10,25	2,0	0,8
12	Д-816	150,0	480	745	0,084	504			16,25	2,0	0,8
13	Д-21	5,5	1440	31	0,531	690			0,125	1,2	0,6
14	Д-22	8,0	1510	43,5	0,322	522			0,155	1,2	0,6
15	Д-31	12,0	1360	64	0,194	492			0,3	1,2	0,6
16	Д-32	18,0	1190	94	0,125	372			0,425	1,2	0,6
17	Д-41	24,0	1100	124	0,072	310			0,8	1,6	0,8
18	Д-806	32,0	1000	165	0,047	246			1,0	2,0	0,8
19	Д-808	47,0	800	238	0,295	210			2,0	2,0	0,8

Таблиця А2 – Вихідні дані для проектування для варіантів 20..50

Варіант	Тип двигуна	Режим ТВ = 40 %				Число			Момент інерції якоря двигуна J_d , кг·м ²	Коефіцієнт інерції ЕП K_j	Коефіцієнт навантаження ЕП $K_{нв}$
		Номінальна механічна на потужність $P_{2 ном}$, кВт	$P_{ном}^D$, об./хв.	Номінальний струм $I_{ном}^D$, А	$R_{я.к.}^D = (R_{я}^D + R_{в}^D)$	активних провідни- ків $N_{я.к.}$	паралельних віток якоря Z_a	пар полюсів $2p$			
20	Д-12	2,4	1230	14	1,63	990	4	0,05	1,6	0,8	
21	Д-21	3,6	1080	20,5	0,95	920		0,125	1,6	0,8	
22	Д-22	4,8	1150	26	0,57	696		0,155	1,6	0,8	
23	Д-31	6,8	880	37	0,42	738		0,3	2,0	0,8	
24	Д-32	9,5	800	51	0,28	558		0,425	1,6	1,0	
25	Д-41	13,0	720	69,5	0,17	492		0,8	1,6	1,0	
26	Д-806	16,0	710	84	0,1065	372		1,0	1,6	1,0	
27	Д-808	22,0	630	112	0,054	278		2,0	1,6	1,0	
28	Д-810	29,0	600	148	0,0356	234		3,625	1,2	0,8	
29	Д-812	38,0	565	192	0,0230	210		7,00	1,2	0,8	
30	Д-814	55,0	560	280	0,0805	608		10,25	2,0	0,8	
31	Д-816	70,0	535	350	0,084	504		16,25	2,0	0,8	
32	Д-21	4,4	1500	24,5	0,531	690		2	0,125	1,2	0,6
33	Д-22	6,5	1570	34	0,322	522			0,155	1,2	0,6
34	Д-31	9,5	1420	50,5	0,194	492	0,3		1,2	0,6	
35	Д-32	13,0	1240	68,0	0,125	372	0,425		1,2	0,6	
36	Д-41	17,5	1160	90,5	0,072	310	0,8		1,6	0,8	
37	Д-806	21,0	1060	110	0,047	246	1,0		2,0	0,8	
38	Д-808	26,0	825	134	0,295	210	2,0		2,0	0,8	
39	П52	8,0	1500	43,5	0,269	496	2		0,4	1,6	0,8
40	П61	11,0		59,5	0,187	496			0,56	2,0	1,0
41	П62	14,0		73,5	0,1275	370			0,65	1,5	0,7
42	П71	19,0		103	0,1235	396			1,4	1,4	0,9
43	П72	25,0		132	0,0828	324			1,6	1,3	1,0
44	П81	32,0		166	0,075	324			2,7	1,7	1,0
45	П82	42,0		218	0,0462	234			3,1	1,2	0,9
46	П91	55,0		287	0,0257	210		5,9	1,5	0,8	
47	П92	75,0		381	0,0138	162		7,0	1,8	1,0	
48	П101	100		508	0,0131	304		10,3	1,3	0,8	

49	П102	125		632	0,079	328			12,0	1,5	0,8
50	П111	160		809	0,0638	216			20,4	1,2	0,7

ДОДАТОК Б

Паспортні дані генераторів постійного струму

У таблиці Б1 представлені паспортні дані ГПС. У таблиці Б2 для кожного типу генератора, що обраний за таблицею Б1, наведені точки кривої намагнічування – залежність магнітного потоку Φ_r від магнітної напруги (сили намагнічування) F_r .

Таблиця Б1 – Паспортні дані генераторів постійного струму

Тип ГПС	Номинальна напруга $U_{ном}^r, В$	Число обмоток $n_{ном}^r$	Число полюсів		Номинальний струм якоря $I_{я}^r, А$	Число витків обмотки якоря $W_{я}^r$, виток	Опір обмотки якоря $R_{я}^r, Ом$	Число витків на полюс обмотки незалежного збудження $W_{з}^r$, виток	Опір обмотки незалежного збудження $R_{з}^r, Ом$
			паралельних віток якоря, z_p	полюсів, $2a$					
П42	230	1450	2	4	15,7	513	1	1350	180
П51					21,7	434	0,56	1300	120
П52					28,2	341	0,395	1250	152
П61					39	341	0,25	1500	120
П62					50	248	0,182	1400	120
П71					69,5	297	0,224	950	43
П72					91,3	210	0,132	950	50
П81					117	222	0,110	1350	69,5
П82					152	145	0,0502	1600	27,2
П91					217	145	0,0355	1000	44
П92					304	105	0,0209	1000	48,4
П101					391	93	0,13	950	37,8
П102					478	138	0,0095	850	32,9
П111					635	126	0,00655	850	28
П112			826	100	0,00427	750	24		

Таблиця Б2 – Криві намагнічування генератора постійного струму

Тип ГПС	Величина	Точки кривої намагнічування генератора							
П42	F _г , А	200	400	600	800	1000	1200	1600	2000
	Ф _г , мВб	1,2	2,25	3,2	4,0	4,5	4,9	5,45	5,8
П51	F _г , А	400	800	1200	1600	2000	2400	3200	4000
	Ф _г , мВб	2,2	3,9	5,1	5,75	6,2	6,6	7,0	7,25
П52	F _г , А	400	800	1200	1600	2000	2400	3200	3800
	Ф _г , мВб	2,9	5,3	7	7,8	8,3	8,8	9,65	10
П61	F _г , А	400	800	1200	1600	2000	2400	3200	4000
	Ф _г , мВб	3,1	5,2	6,5	7,3	7,9	8,3	8,7	8,9
П62	F _г , А	400	800	1200	1600	2000	2400	2800	3200
	Ф _г , мВб	3,5	6,3	8,3	9,7	10,5	11,0	11,4	11,6
П71	F _г , А	1000	2000	3000	4000	5000	6000	8000	12000
	Ф _г , мВб	3,1	5,3	6,87	8,1	8,8	9,4	10,3	11,2
П72	F _г , А	1000	2000	3000	4000	6000	8000	10000	14000
	Ф _г , мВб	3,5	6,25	8,5	10,3	12,3	13,5	14,1	14,7
П81	F _г , А	1000	2000	3000	4000	6000	8000	10000	14000
	Ф _г , мВб	3,5	6,3	8,5	10	12,1	13,7	14,7	16,2
П82	F _г , А	1000	2000	3000	4000	5000	6000	8000	10000
	Ф _г , мВб	5	9,6	11,2	14,7	15,4	16	19,4	20
П91	F _г , А	0	800	1600	2400	3200	4000	5600	7200
	Ф _г , мВб	0,5	6	10,5	14,7	17	18,5	20,5	21,5
П92	F _г , А	0	800	1600	2400	3200	4000	5600	7200
	Ф _г , мВб	1	8	15	19,6	22,8	24,5	27	28,5
П101	F _г , А	0	800	1600	2400	3200	4000	5600	7200
	Ф _г , мВб	1	7	13	18,5	23	26,5	30	32
П102	F _г , А	0	800	1600	2400	3200	4000	5600	7200
	Ф _г , мВб	1	8,5	16,7	24	30,5	34	38,5	41
П111	F _г , А	0	800	1600	2400	3200	4000	5600	7200
	Ф _г , мВб	1	9,5	18	26,5	32	36	41	43,5
П112	F _г , А	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000
	Ф _г , мВб	5,45	11	22	33,5	41	46,5	50	52,5

ДОДАТОК В

Паспортні дані асинхронних двигунів

У таблиці В1 представлені паспортні дані АД із КЗ синхронною частотою обертання валу $n_{н.р.} = 1500$ об./хв.

Таблиця В1 – Паспортні дані асинхронних двигунів

Тип двигуна	Механічна потужність на валу $P_{2\text{ ном}}$, кВт	Номінальна частота обертання валу $n_{\text{ном}}$, об./хв.	ККД η , %	Коефіцієнт потужності $\cos(\varphi)$	$(M_{\text{пуск}}/M_{\text{ном}})$	$(M_{\text{кр}}/M_{\text{ном}})$	Маховий момент ротора $G_{\text{р}} \cdot D_{\text{р}}^2$, кг·м ²
1	2	3	4	5	6	7	8
4A50A4Y3	0,06	1380	50	0,6	2	2,2	0,000115
4A50B4Y3	0,09	1370	55	0,6	2	2,2	0,00013
4A56A4Y3	0,12	1375	63	0,66	2,1	2,2	0,0028
4A56B4Y3	0,18	1365	64	0,64	2,1	2,2	0,00315
4A63A4Y3	0,25	1380	68	0,65	2	2,2	0,00495
4A63B4Y3	0,37	1365	68	0,69	2	2,2	0,0055
4A71A4Y3	0,55	1390	70,5	0,7	2	2,2	0,0052
4A71B4Y3	0,75	1390	72	0,73	2	2,2	0,0057
4A80A4Y3	1,1	1420	75	0,81	2	2,2	0,0129
4A80B4Y3	1,5	1415	77	0,83	2	2,2	0,0133
4A90L4Y3	2,2	1425	80	0,83	2,1	2,4	0,0224
4A100S4Y3	3	1435	82	0,83	2	2,4	0,0347
4A100L4Y3	4	1430	84	0,84	2	2,4	0,045
4A112M4Y3	5,5	1445	85,5	0,85	2	2,2	0,07
4A132S4Y3	7,5	1455	87,5	0,86	2,2	3	0,11
4A132M4Y3	11	1460	87,5	0,87	2,2	3	0,16
4A160S4Y3	15	1465	88,5	0,88	1,4	2,3	0,41
4A160M4Y3	18,5	1465	89,5	0,88	1,4	2,3	0,51
4A180S4Y3	22	1470	90	0,9	1,4	2,3	0,76
4A180M4Y3	30	1470	91	0,89	1,4	2,3	0,93
4A200M4Y3	37	1475	91	0,9	1,4	2,5	1,47
4A200L4Y3	45	1475	92	0,9	1,4	2,5	1,78
4A225M4Y3	55	1480	92,5	0,9	1,3	2,5	2,56
4A250S4Y3	75	1480	93	0,9	1,2	2,3	4,08
4A250M4Y3	90	1480	93	0,91	1,2	2,3	4,67

Продовження таблиці В1

1	2	3	4	5	6	7	8
4A280S4Y3	110	1470	92,5	0,9	1,2	2	9,2
4A280M4Y3	132	1480	93	0,9	1,3	2	9,9
4A315S4Y3	160	1480	93,5	0,91	1,3	2,2	12,3
4A315M4Y3	200	1480	94	0,92	1,3	2,2	14,5
4A355S4Y3	250	1485	94,5	0,92	1,2	2	24
4A355M4Y3	315	1485	94,5	0,92	1,2	2	28,2

ДОДАТОК Г

Моделювання в програмному середовищі MATLAB Simulink

У таблиці Г1 представлені позначення блоків математичних моделей, що складені в ПС MATLAB Simulink.

Таблиця Г1 – Позначення блоків математичної моделі

№ блоку	Тип блоку	Параметри блоку чи його опис
1	Constant	U_{g_a} – номінальна напруга живлення обмотки збудження ГПС $U_{НОМ}^Г$, В
2	Sum	
3	Product	
4	Transfer Fcn	
5	Lookup Table	Реалізація нелінійних властивостей $L_{0.3}^Г(I_{0.3}^Г)$
6	Scope	Вивід графіку перехідного процесу $I_{0.3}^Г(t)$
7	Display	Відображення поточного значення $I_{0.3}^Г$
8	Product	
9	Constant	R_{oz} – опір паралельної обмотки збудження ГПС $R_{0.3}^Г$, Ом
10	Constant	R_1 – опір R1, Ом
11	Step	Введення опору R2 при закінченні перехідних процесів
12	Step	Введення опору R3 при закінченні перехідних процесів
13	Sum	
14	Scope	Вивід графіку перехідного процесу $R(t)$
15	Lookup Table	Реалізація нелінійних властивостей $E^Г(I_{0.3}^Г)$
16	Constant	R_s – загальний опір якірного кола $R_{Я.К.}^Д$, Ом
17	Scope	Вивід графіку перехідного процесу $E^Г(t)$
18	Display	Відображення поточного значення $E^Г$
19	Sum	
20	Product	
21	Product	
22	Constant	L_a – індуктивність обмотки якоря ДПС $L_{Я}^Д$, Гн
23	Transfer Fcn	
24	Product	
25	Constant	kF – конструктивний коефіцієнт $k\Phi_{НОМ}$, Вб
26	Product	
27	Transfer Fcn	J_a – момент інерції якоря ДПС $J_{Д}$, кг·м ²
28	Scope	Вивід графіки перехідних процесів $R(t)$, $I_{Я}(t)$, $M(t)$, $\omega(t)$
29	Scope	Вивід графіку перехідного процесу $\omega(t)$

Продовження таблиці Г1

30	Display	Відображення поточного значення ω
31	Gain	R_{oz} – опір паралельної обмотки збудження ГПС $R_{0.3.}^{\Gamma}$, Ом
32	Step	Введення номінального навантаження $M_{ном}$ при часі, коли завершився перехідний процес пуску
33	Scope	Вивід графіків перехідних процесів $I_{я}(t)$, $M(t)$, $\omega(t)$
34	Gain	L_{oz_nom} – номінальна індуктивність обмотки збудження ГПС $L_{0.3. \text{ ном}}^{\Gamma}$, Гн.
35	Sum	
36	Step	Введення дуже малої величини для запобігання ділення на нуль у третьому блоку
37	Gain	E_g_nom/I_{oz_nom} – відношення величин $E_{ном}^{\Gamma}$ до $I_{0.3. \text{ ном}}^{\Gamma}$.