

Міністерство освіти і науки України
Державний вищий навчальний заклад
«Національний гірничий університет»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ ТА ІНДИВІДУАЛЬНОЇ РОБОТИ
З НОРМАТИВНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
"ТЕОРІЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА"
ДЛЯ СТУДЕНТІВ НАПРЯМКУ 0922
Електромеханіка

Частина третя

Упорядники: А.А.Колб, канд. тех. наук, проф., А.А.Колб, канд. тех. наук, доц.,
Р.О. Петренко, асист.

Дніпропетровськ

2011

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

Дослідження електромеханічних перехідних процесів у двигуні постійного струму методом цифрового моделювання

1. Мета роботи

Дослідження впливу різноманітних керуючих та таких, що оббурюють впливів, а також відношення постійних $\frac{T_M}{T_J}$ часу на характер перехідного процесу в двигуні постійного струму.

2. Програма роботи

2.1. Дослідження впливу відношення постійних часу $\frac{T_M}{T_J}$ і впливів, що оббурюють, на характер перехідного процесу $\omega = f(t)$, $i_J = f(t)$ при прямому вмиканні двигуна в мережу. Аналіз отриманих результатів.

2.2. Дослідження перехідних процесів при лінійній зміні напруги живлення (вплив статичного навантаження, темпу наростання напруги живлення і відношення $\frac{T_M}{T_J}$). Аналіз отриманих результатів.

2.3. Дослідження впливу частоти і шпаруватості імпульсів на характер перехідного процесу при живленні двигуна від широтно-імпульсного перетворювача (ШП). Аналіз отриманих результатів.

2.4. Дослідження перехідних процесів у системі генератор-двигун (Г-Д) при вмиканні обмотки збудження на постійну напругу. Аналіз впливу T_B, T_J, T_M на характер перехідного процесу. Аналіз отриманих результатів.

2.5. Дослідження перехідних процесів у системі Г-Д при форсуванні збудження і зміні струму збудження за лінійним законом. Аналіз отриманих результатів.

2.6. Загальні висновки з виконаної роботи.

3. Теоретична частина

Схема включення двигуна наведена на рис.1.

Вихідними рівняннями при дослідженні перехідних процесів у двигуні постійного струму є:

1. Рівняння напруг при вмиканні двигуна в мережу

$$U_c = i_J R_J + L_J \frac{di_J}{dt} + e_{дв} \quad (1)$$

2. Рівняння руху

$$M - M_c = J \frac{dw}{dt} \quad (2)$$

У наведених рівняннях позначено: U_c - напруга мережі; $R_{я}, L_{я}$ сумарний опір і індуктивність якірного ланцюга двигуна; $e_{дв} = k\phi\omega$ - ЕРС двигуна; K - конструктивна постійна двигуна; $i_{я}$ - струм якоря; M_c - момент статичний; J - сумарний момент інерції системи, наведений до швидкості (валу) двигуна.

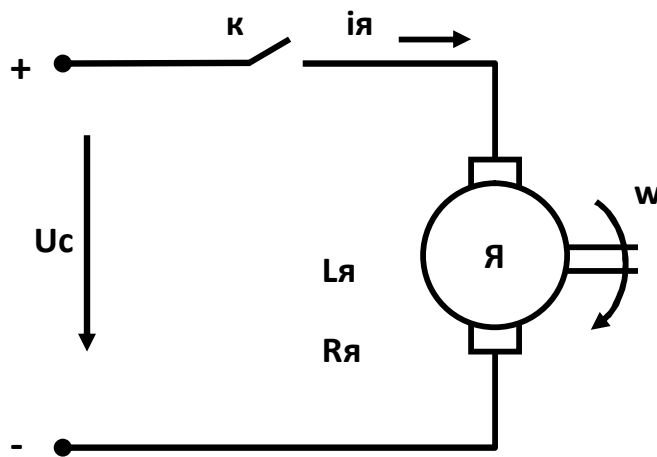


Рис. 1. Схема включення двигуна

Якщо з (2) виразити струм якоря і його похідну, а потім підставити в (1), то одержимо

$$T_{я} T_M p^2 w + T_M p w + w = \frac{U_c}{K\Phi} - \frac{I_c R_{я}}{K\Phi} = w_0 - \Delta w_c \quad (3)$$

де

$T_{я} = \frac{L_{я}}{R_{я}}$ - електромагнітна постійна якірного ланцюга двигуна;

$T_M = \frac{j R_{я}}{(K\Phi)^2}$ - електромеханічна постійна часові;

w_0 - швидкість ідеального холостого ходу;

Δw_c - статичне падіння швидкості;

$p = \frac{d}{dt}$ - оператор диференціювання.

З (3) характеристичне рівняння $T_M T_{я} p^2 + T_M + 1 = 0$ має корені

$$p_{1-2} = -\frac{1}{2T_{\text{я}}} \pm \sqrt{\frac{T_{\text{м}} - 4T_{\text{я}}}{4T_{\text{я}}^2 T_{\text{м}}}}. \quad (4)$$

З (4) випливає:

1. Якщо $T_{\text{м}} > 4T_{\text{я}}$, то корені рівняння дійсні і негативні і, отже, перехідний процес є аперіодичним.
2. Якщо $T_{\text{м}} < 4T_{\text{я}}$, то корені комплексні сполучені і перехідний процес є коливальним. Причому ступінь колювання залежить від коефіцієнта демпфірування (загасання) $\varepsilon_p = \sqrt{T_{\text{м}} / 4T_{\text{я}}}$, чим менше ε_p , тим більше колювання перехідного процесу.

Для дослідження перехідних процесів шляхом цифрового моделювання зручно користуватися структурною схемою двигуна, побудованої на базі рівнянь (1) і (2). Структурна схема подана на рис.2.

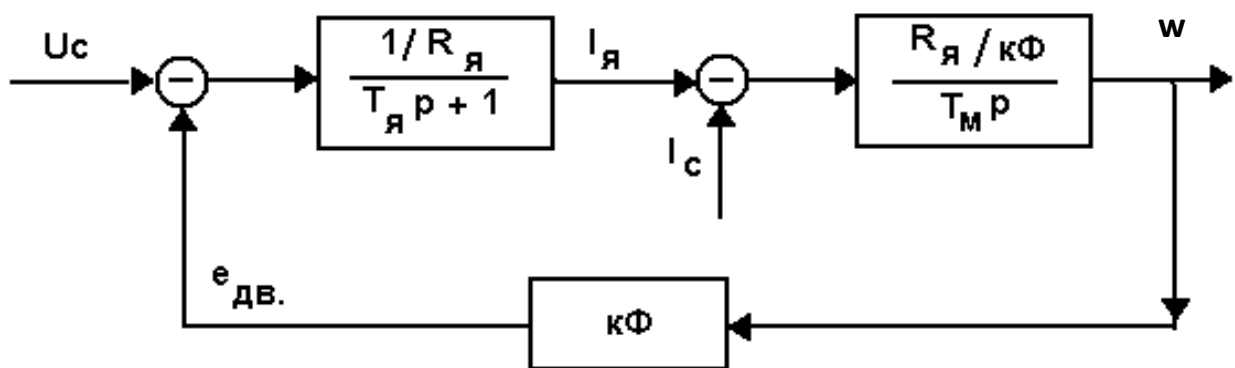


Рис. 2. Структурна схема двигуна постійного струму

Для переходу до відносних одиниць необхідно передатну функцію кожної ланки помножити на коефіцієнт, відношення базових величин на його вході $U_{\text{б.вх.}}$ і виході $U_{\text{б.вих.}}$, тобто передатні функції у відносних одиницях визначаються як

$$W^* = W \frac{U_{\text{д.вх.}}}{U_{\text{б.вих.}}} \quad (5)$$

Звичайно в якості базових величин приймають $U_{\text{я.б}} = U_{\text{я.н.}}$; $w_{\text{б.}} = w_0$; $I_{\text{я.б.}} = I_{\text{я.н.}}$.

З урахуванням зазначених базових величин структурна схема двигуна у відносних одиницях має вигляд такий, як на рис. 3.

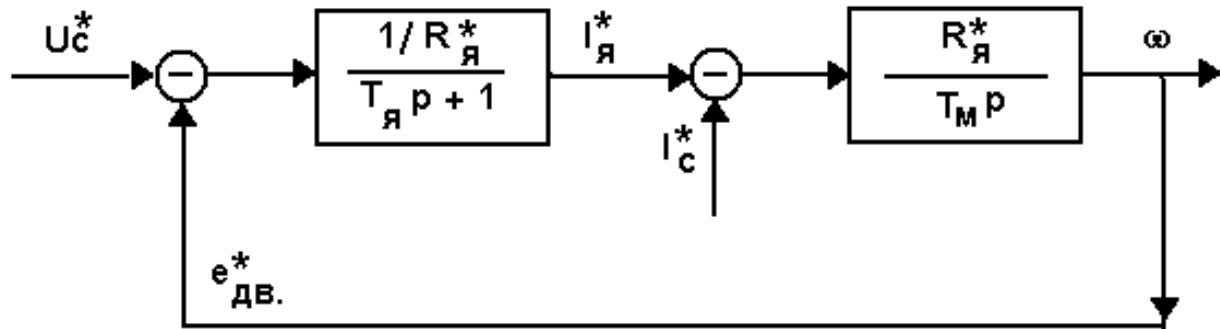


Рис. 3. Структурна схема двигуна у відносних одиницях

При дослідженні перехідних процесів у системі Г-Д рис. 4 приймаємо наступні допущення : 1) магнітний ланцюг генератора не насичений; 2) не посилюється вплив гістерезиса і вихрових струмів; 3) не враховуємо впливу реакції якоря; 4) магнітний потік двигуна є постійним.

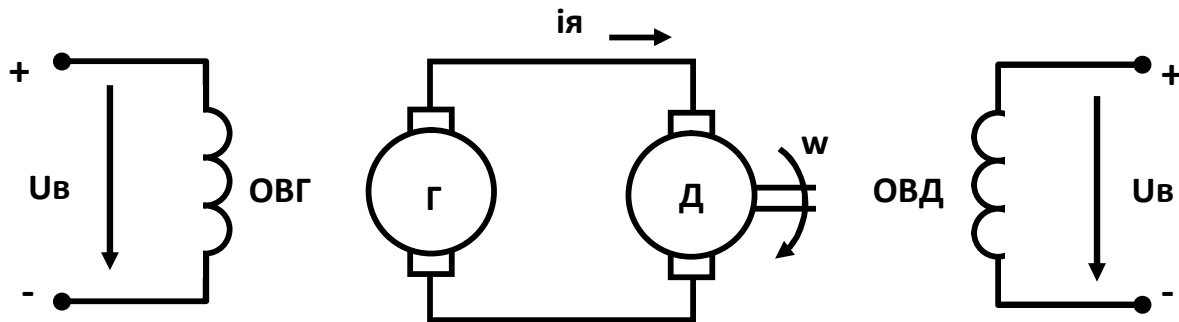


Рис. 4. Схема системи Г-Д

З урахуванням прийнятих допущень перехідні процеси в системі Г - Д описуються системою лінійних диференціальних рівнянь:

$$e_{\Gamma} = e_{\text{дв}} + i_{\text{я}} R_{\text{я}} + L_{\text{я}} \frac{di_{\text{я}}}{dt}; \quad (6)$$

$$U_{\text{В}} = i_{\text{В}} R_{\text{В}} + L_{\text{В}} \frac{di_{\text{В}}}{dt}; \quad (7)$$

$$M - M_{\text{с}} = j \frac{dw}{dt}; \quad (8)$$

$$e_{\Gamma} = k_{\Gamma} i_{\text{В}}, \quad (9)$$

де

$R_{\text{я}} = r_{\text{я.г.}} + r_{\text{я.дв.}}$ - сумарний опір якорного ланцюга;

$r_{\text{я.г.}}, r_{\text{я.дв.}}$ - опір якоря генератора і двигуна;

R_B, L_B - опір і індуктивність обмотки збудження генератора;

i_B - струм обмотки збудження генератора;

$k_r = \frac{E_{г.н.}}{I_{в.н.}}$ - коефіцієнт пропорційності;

$T_B = \frac{L_B}{R_B}$ - електромагнітна постійна часу обмотки збудження.

Структурна схема системи Г - Д, отримана на основі (6) - (9), наведена на рис. 5.

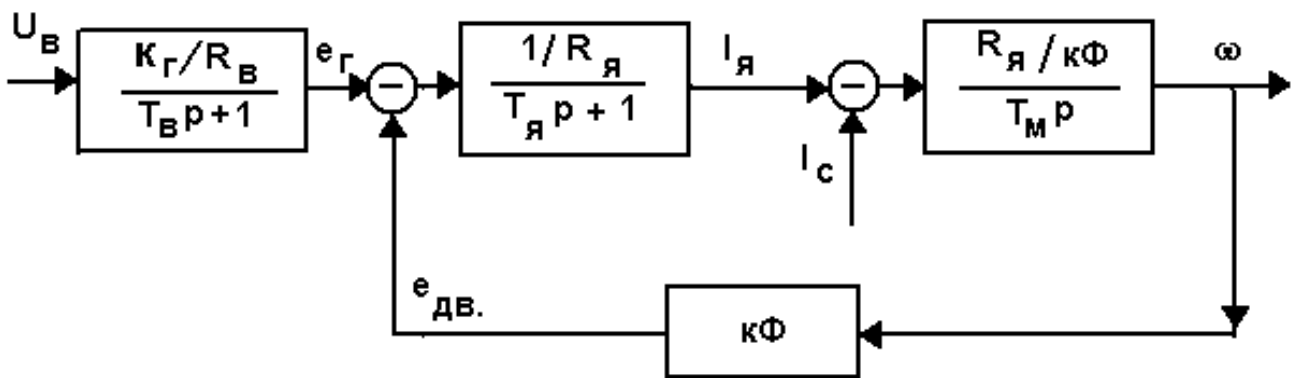


Рис. 5. Структурна схема системи Г - Д

Якщо в якості базового значення напруги збудження прийняти $U_{вб} = U_{вн.}$, то структурна схема системи Г-Д у відносних одиницях має вигляд, наведений на рис. 6.

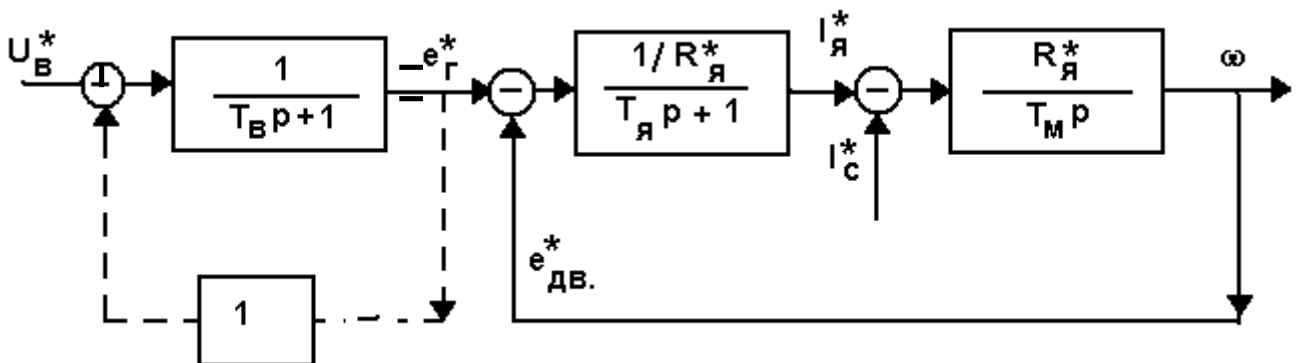


Рис. 6. Структурна схема системи Г-Д в відносних одиницях

При вмиканні обмотки збудження на постійну напругу ЕРС генератора а, також, і швидкість двигуна змінюється за експоненціальним законом. Такий характер зміни швидкості двигуна не є оптимальним із погляду сталості прискорення і тривалості перехідного процесу. Час розгону двигуна є мінімальним якщо під час перехідного процесу струм у ланцюзі якоря (момент

двигуна) підтримується постійним на максимально допустимому рівні за умовами комутації.

На ділянці розгону, де струм якоря підтримується постійним маємо з (6)

$$\frac{de_{\Gamma}}{dt} = K\Phi \frac{dw}{dt} \quad (10)$$

З (7) з урахуванням (9) маємо

$$U_B = \frac{R_B e_{\Gamma}}{k_{\Gamma}} + \frac{R_B}{k_{\Gamma}} \frac{de_{\Gamma}}{dt} \quad (11)$$

Підставляючи (10) у (11) отримаємо

$$U_B = i_B R_B + \frac{L_B K\Phi}{k_{\Gamma}} \frac{dw}{dt} \quad (12)$$

З (8) маємо

$$\frac{dw}{dt} = \frac{M_{\text{доп}} - M_c}{j} \quad (13)$$

Підставляючи (13) у (12), отримаємо

$$U_B = i_B R_B + \frac{L_B K\Phi (M_{\text{доп}} - M_c)}{k_{\Gamma} j} \quad (14)$$

З отриманого рівняння (14) випливає, що для одержання лінійної зміни швидкості двигуна в системі Г-Д необхідно, щоб напруга збудження також змінювалася за лінійним законом, але при $t=0$ повинен бути стрибок напруги, величина якого визначається другою складовою правої частини виразу (14), для моделювання цього процесу потрібно в схемі рис. 6 використовувати зворотний зв'язок, показаний пунктиром.

Номинальні дані генератора: $P_H = 80 \text{ кВт}$, $U_H = 230 \text{ В}$; $r_{\text{я.г.}} = 0.034 \text{ Ом}$; $R_{\text{в.г.}} = 49 \text{ Ом}$; $U_{\text{в.г.}} = 220 \text{ В}$; $W_{\text{я.г.}} = 126 \text{ витків}$; $W_{\text{в.г.}} = 1250 \text{ витків}$ на полюс; $2p = 4$; $2a = 2$.

Номинальні дані двигуна: $U_H = 220 \text{ В}$; $I_H = 360 \text{ А}$; $n_H = 750 \text{ об/хв}$; $r_{\text{я.дв.}} = 0.034 \text{ Ом}$; $W_{\text{я.г.}} = 126 \text{ витків}$; $W_{\text{в.г.}} = 1400 \text{ витків}$ на полюс; $2p = 4$; $2a = 2$; $R_{\text{в.дв.}} = 63 \text{ Ом}$; $j = 3,5 \text{ кгм}^2$.

Середнє значення індуктивності обмотки збудження генератора визначається спрощеним виразом

$$L_{\text{в.г.}} = 2p W_{\text{в.г.}} \frac{\Phi_H}{I_{\text{в.н.}}} \sigma, \quad (15)$$

де

$I_{\text{в.н.}} = U_{\text{в.н.}} / R_{\text{в.г.}}$ - номінальний струм збудження;
 $\sigma = 1,05 - 1,08$ - коефіцієнт розсіювання;

$$\Phi_H = \frac{(U_{H.г.} - I_{H.г.})r_{я.г.}2\pi a}{w_{H.г.}N_{я.г.}p} - \text{номінальний магнітний потік генератора}$$

($N_{я.г.} = 2W_{я.г.}$ - число стрижнів обмотки якоря генератора).

Індуктивність якоря двигуна і генератора визначиться як

$$L_{я} = C \frac{U_H}{I_H w_H p}, \quad (16)$$

де $C = 0,1$ для компенсованих машин і $C = 0,6$ для некомпенсованих машин.

4.Порядок виконання роботи

4.1. Визначити параметри і скласти модель для структурної схеми рис.. 3.

4.2. Досліджувати перехідні процеси при прямому пуску двигуна відповідно до п. 2.1 для чого на вхід моделі подається східчастий сигнал рівний одиниці і досліджується вплив $R_{я}$ і відношення $T_M/T_{я}$ на характер перехідного процесу $w = f(t)$ і $i_{я} = f(t)$:

а) при пуску в холосту ($I_C = 0$);

б) при пуску під номінальним навантаженням ($I_C = 1$);

в) при прийманні і скиданні навантаження і при роботі двигуна зі сталою швидкістю;

г) за вказівкою викладача необхідно досліджувати вплив одного з параметрів ($R_{я}, T_{я}, T_M$) на максимальне значення струму якоря при прямому пуску двигуна.

Криві перехідного процесу при прямому пуску двигуна для одного з режимів наведені на рис. 7.

4.3. Досліджувати перехідні процеси при лінійній зміні напруги живлення відповідно до п. 2.2. Для чого необхідно подавати на вхід системи лінійно наростаючий сигнал, стале значення котрого дорівнює 1 і досліджувати вплив швидкості наростання напруги перетворювача і відношення $T_M/T_{я}$ перехідного процесу $i_{я} = f(t)$; $w = f(t)$:

а) при пуску в режимі холостого ходу ($I_C = 0$);

б) при пуску під номінальним навантаженням ($I_C = 1$);

в) при прийомі і скиданні навантаження і роботі двигуна зі сталою швидкістю;

г) за вказівкою викладача необхідно досліджувати час наростання напруги живлення на величину динамічного струму.

Мінімальна тривалість наростання напруги живлення до сталого значення при пуску в холосту визначається з умови, щоб максимальний струм якоря не перевищував допустимого $I_{доп.} = 2I_H$.

$$t_{\text{мин}} = \frac{jw_0}{2M_H} = \frac{jw_0}{2I_H K\Phi}, \quad (17)$$

де w_0 - швидкість ідеального холостого ходу.

При пуску під навантаженням, рівної номінальної

$$t_{\text{мин}} = \frac{jw_0}{M_H} = \frac{jw_0}{I_H K\Phi} \quad (18)$$

На рис. 8 наведені криві перехідного процесу при двох різноманітних темпах наростання напруги живлення

4.4. Досліджувати перехідні процеси при живленні двигуна від ШПП відповідно до п. 2.3. Для чого необхідно на вхід моделі подати прямокутні імпульси, амплітуда яких дорівнює одиниці, а шпаруватість $\gamma = t_{\text{и}} / t_{\text{п}} = 0.5$ ($t_{\text{и}}, t_{\text{п}}$ - відповідно тривалість імпульсу і паузи). Досліджувати вплив частоти імпульсів при однаковій шпаруватості на пульсації струму якоря і швидкості двигуна у сталому режимі. Частота імпульсів змінюється в межах $f_{\text{и}} = (1000 - 5000)$ Гц. Криві перехідних процесів для різних частот наведені на рис. 9 та 10.

4.5. Досліджувати перехідні процеси в системі Г - Д при східчистій зміні напруги збудження.

Для чого необхідно на вхід моделі створеної на базі рис.6, одержати ступінчастий сигнал рівний одиниці і досліджувати вплив $T_{\text{в}}, T_{\text{я}}, T_{\text{м}}$ на характер перехідного процесу $e_{\text{Г}} = f(t)$; $w = f(t)$ і $i_{\text{я}} = f(t)$. Криві перехідних процесів наведені на рис. 11.

4.6 Досліджувати перехідні процеси в системі Г-Д при форсуванні збудження і зміні струму збудження за лінійним законом.

Для чого необхідно на вхід моделі складеної на базі рис.6 із додатковим зворотним зв'язком подавати сигнал різноманітної величини (1;2;... .. α_{max}), здійснюючи тим самим форсування збудження ($\alpha_{\text{max}} = 3-4$ - коефіцієнт форсування).

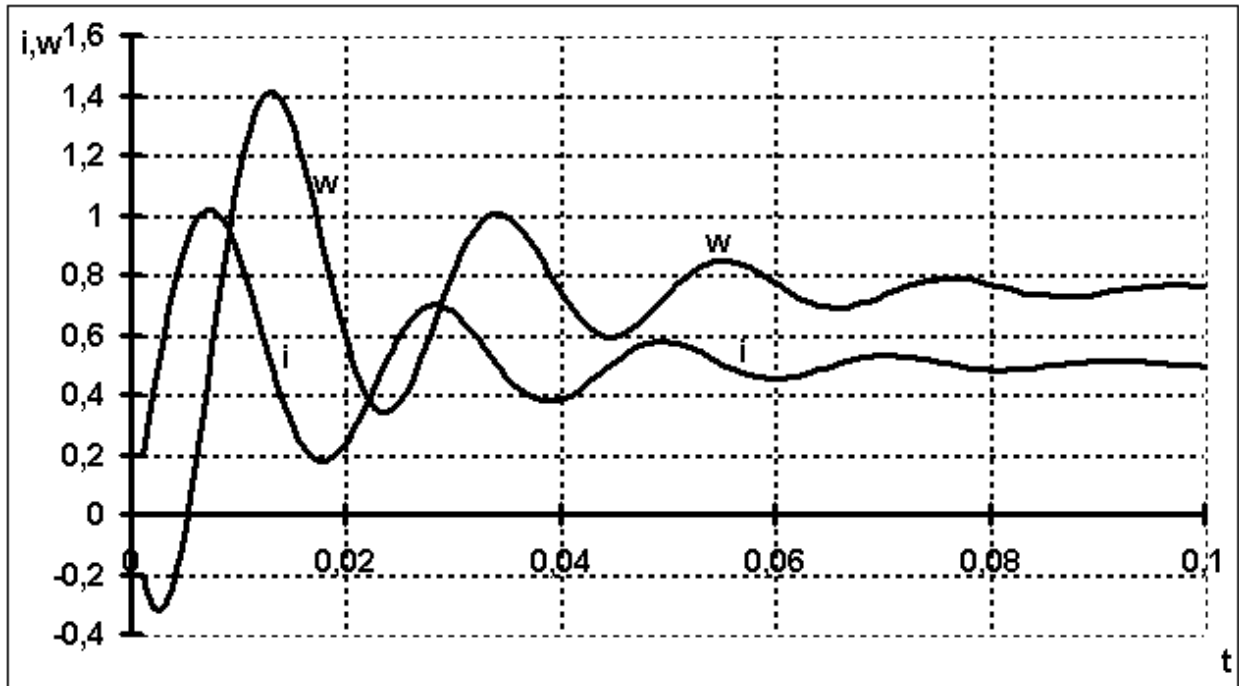
Максимальний коефіцієнт форсування α_{max} визначається відповідно до (14) з умови, щоб у перехідних режимах струм якоря не перевищував допустимого значення

$$\alpha_{\text{max}} = U_{\text{в}0}^* \max = \frac{L_{\text{в}} K\Phi (2M_H - M_{\text{с}})}{k_{\text{Г}} j U_{\text{н.Г.}}} \quad (19)$$

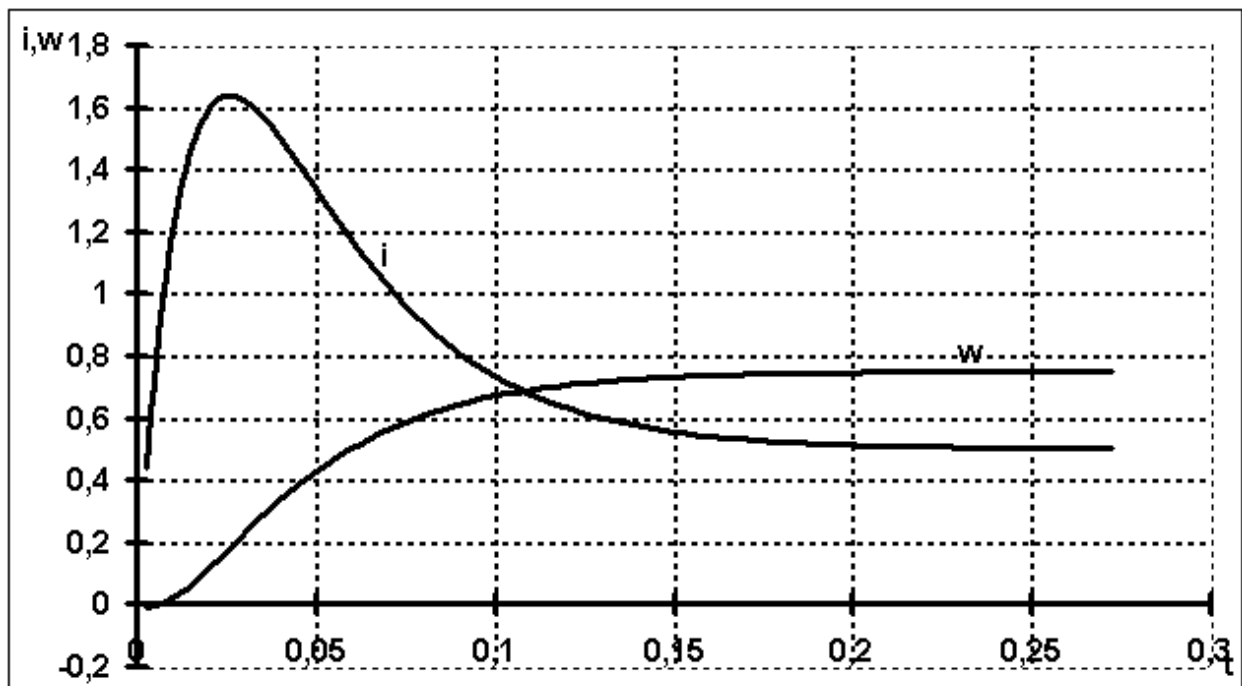
Після того як струм збудження генератора досягне сталого значення, необхідно прикладену напругу зменшити до одиниці. Криві перехідних процесів наведені на рис.12.

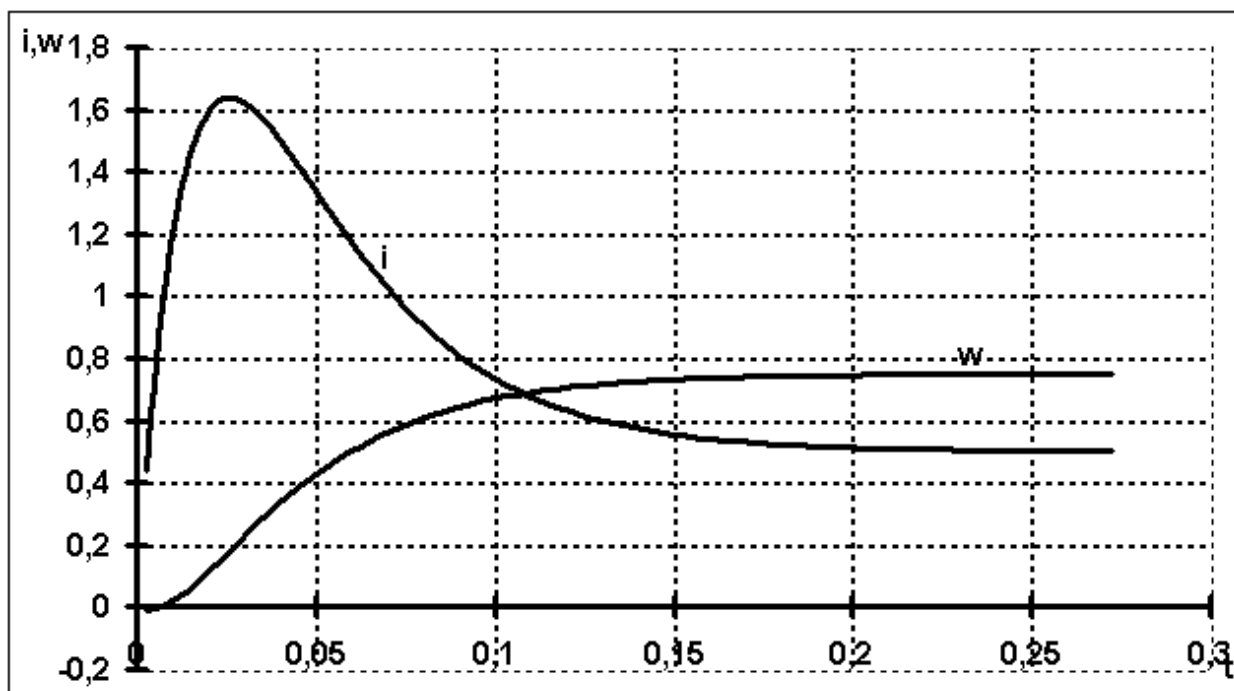
5. Зміст звіту

- 5.1. Назва роботи.
- 5.2. Ціль і програма роботи.
- 5.3. Структурні схеми двигуна мал.3 і мал. 6 і розрахунок їхніх параметрів.
- 5.4. Криві перехідних процесів одного з варіантів досліджуваних режимів п. 4.2 - 4.6.
- 5.5. Аналіз отриманих результатів



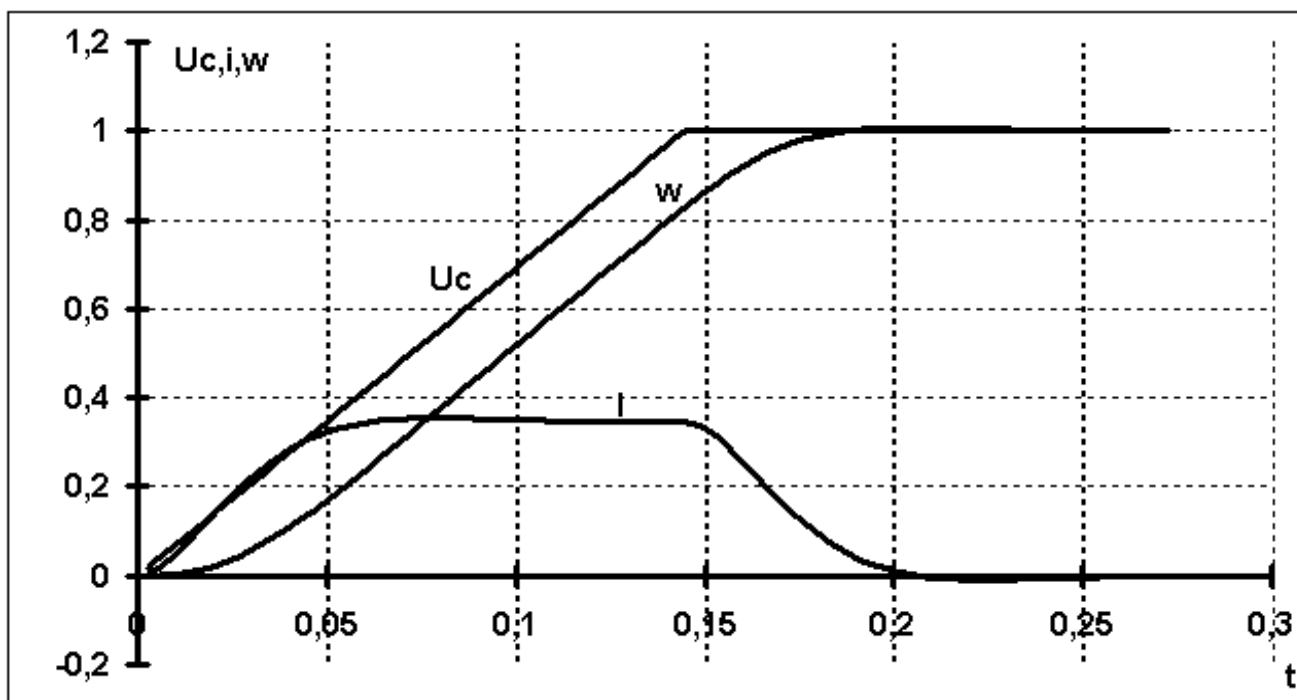
a)



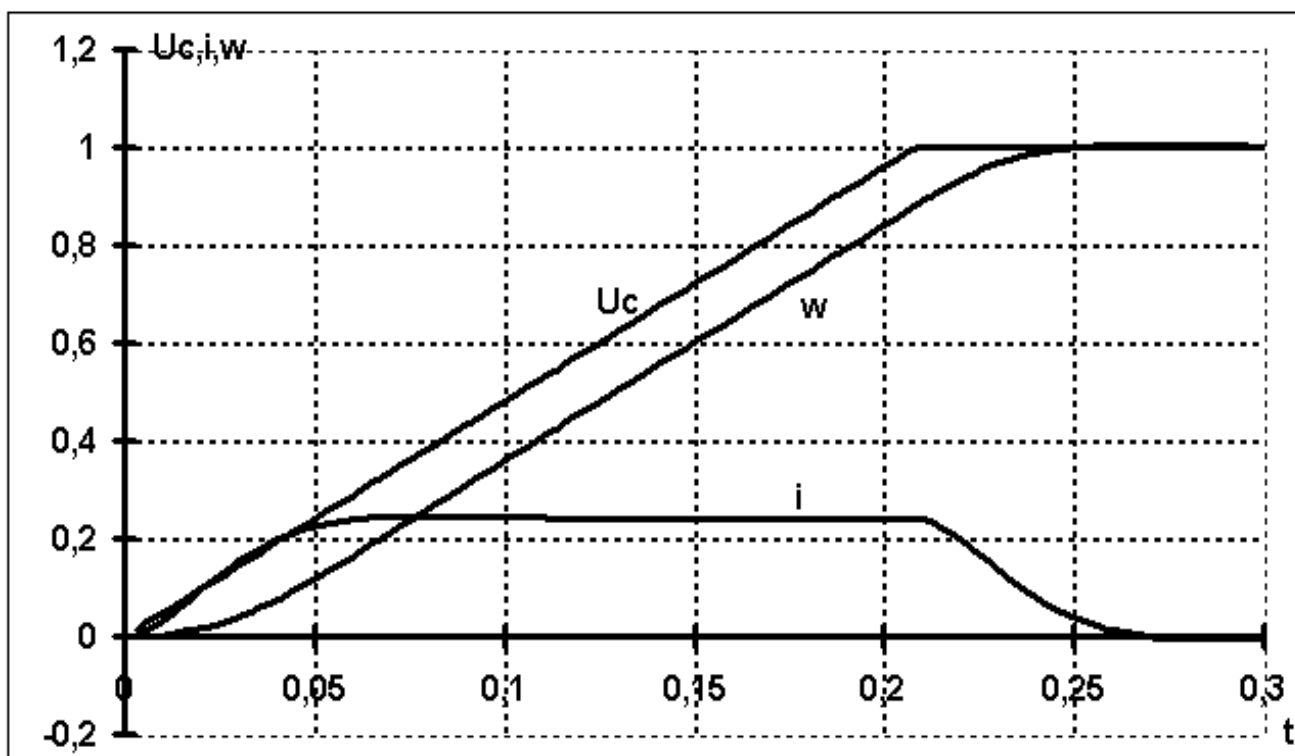


б)

Рис. 7. Криві перехідних процесів при прямому пуску двигуна; а) $T_M < 4T_J$; б) $T_M > 4T_J$.

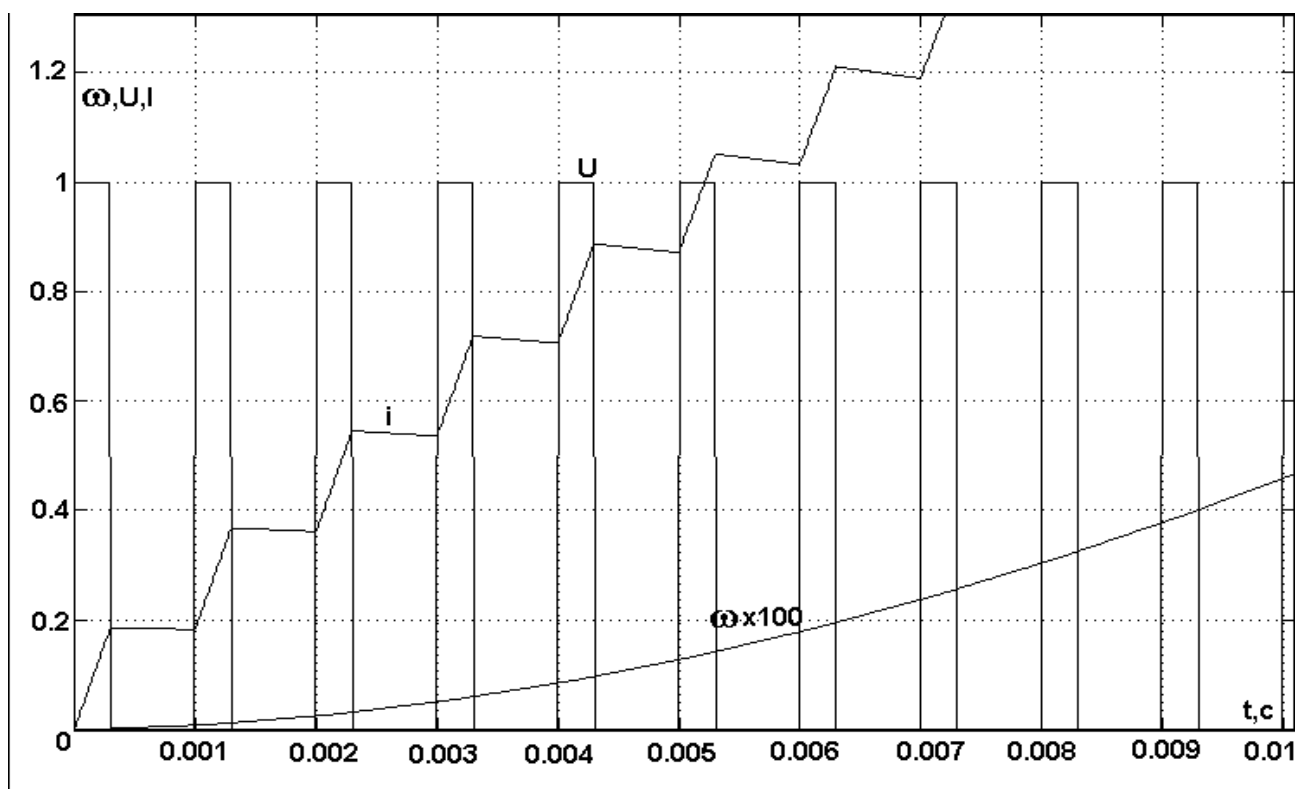


а)

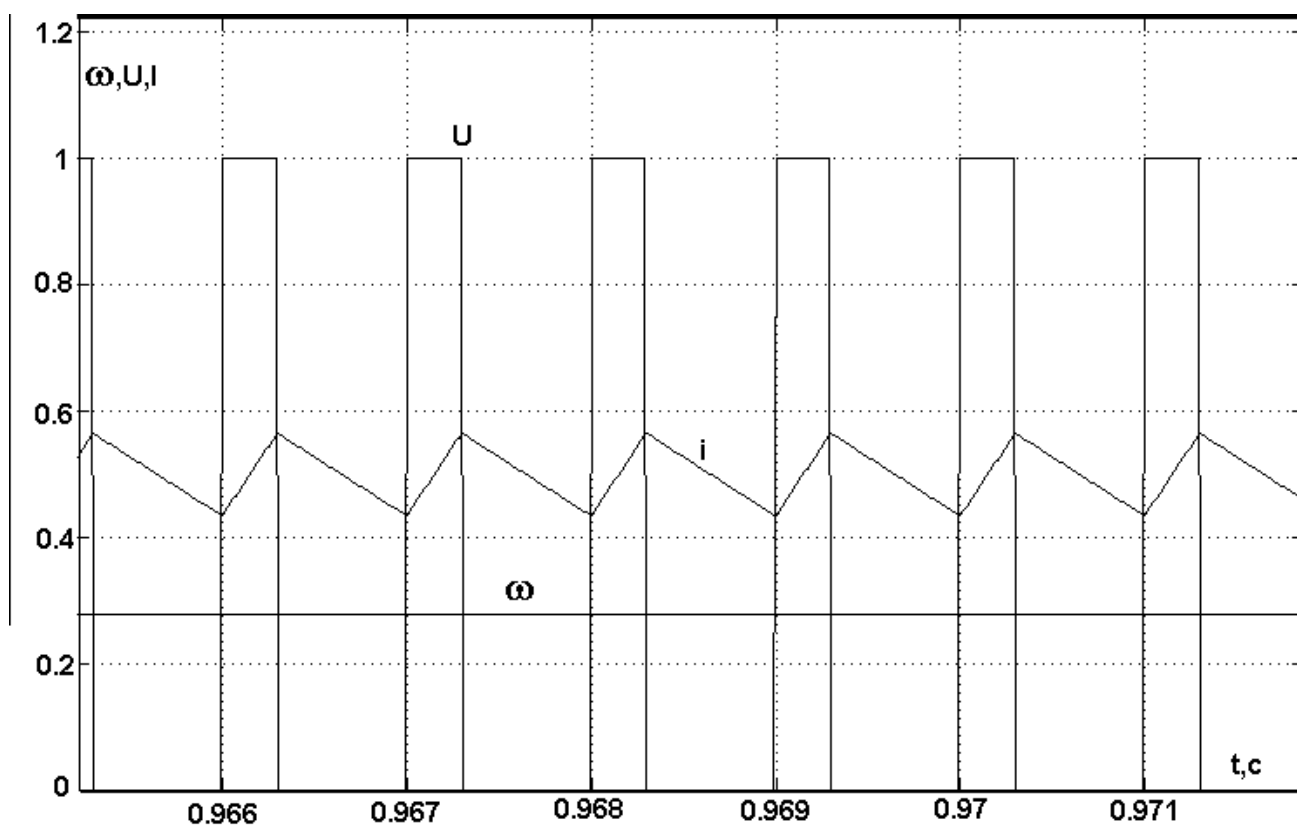


б)

Рис. 8. Криві перехідного процесу при лінійному наростанні напруги перетворювача: а) час наростання t_1 ; б) час наростання $t_2 = 1,5t_1$.

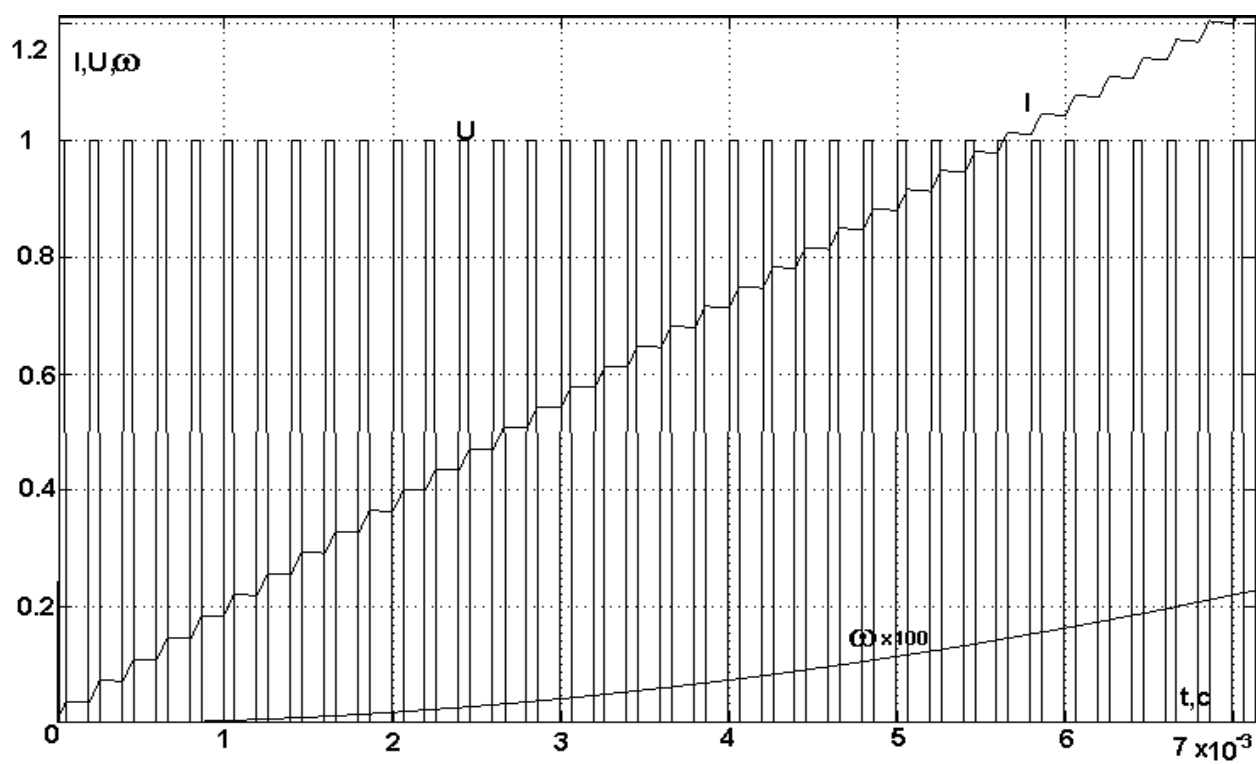


а)

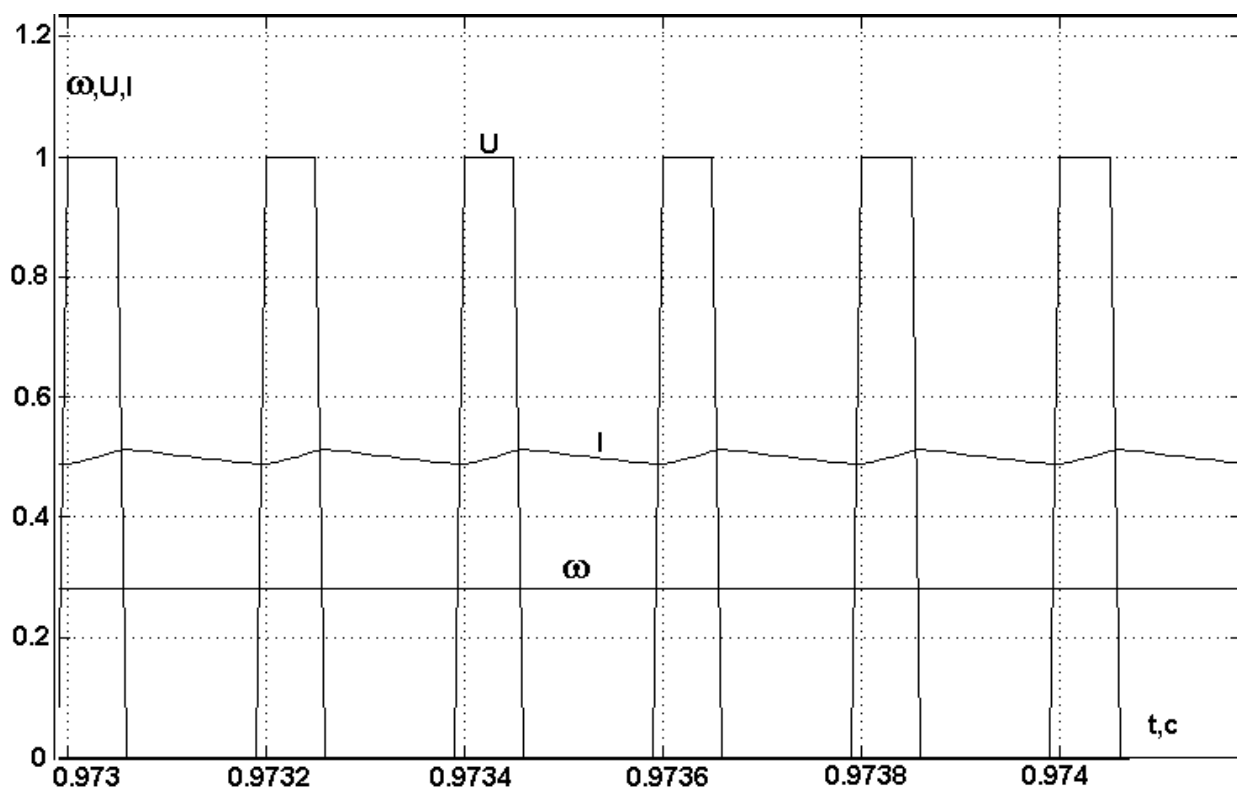


б)

Рис. 9. Криві перехідного процесу при живленні двигуна від ШПІ, $f = 1000 \Gamma\text{ц}$

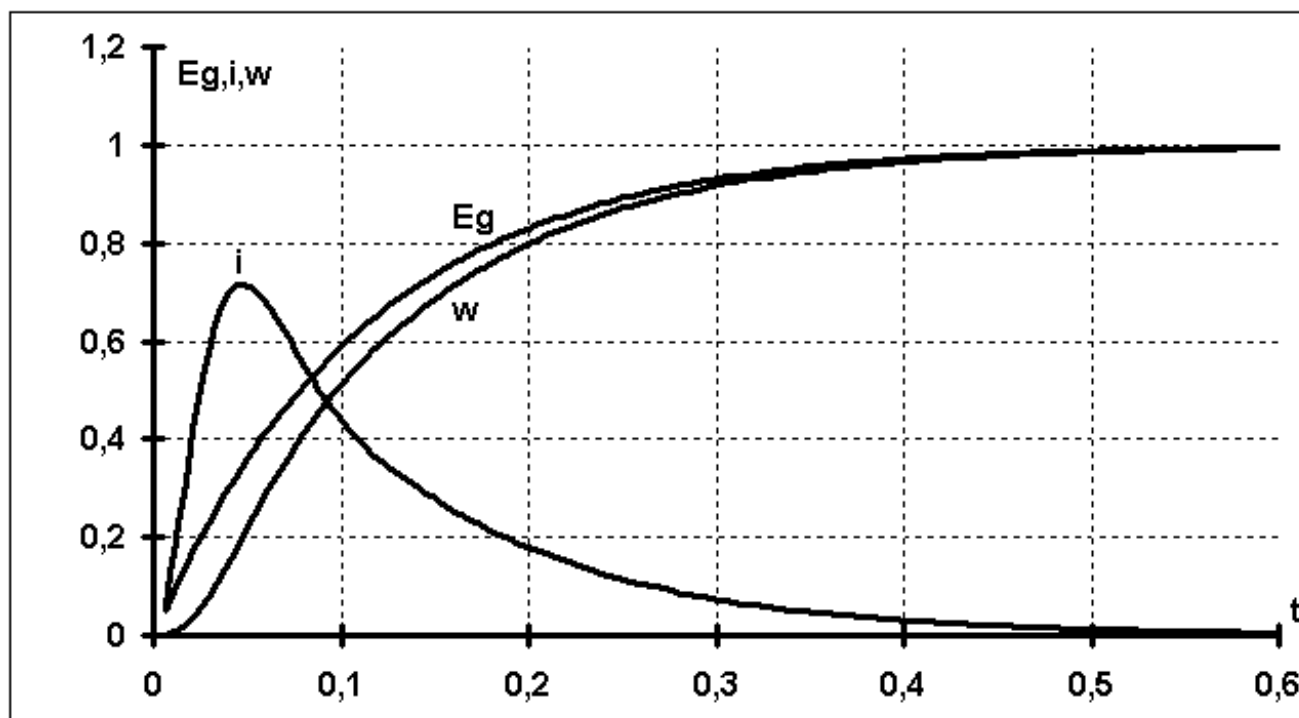


а)

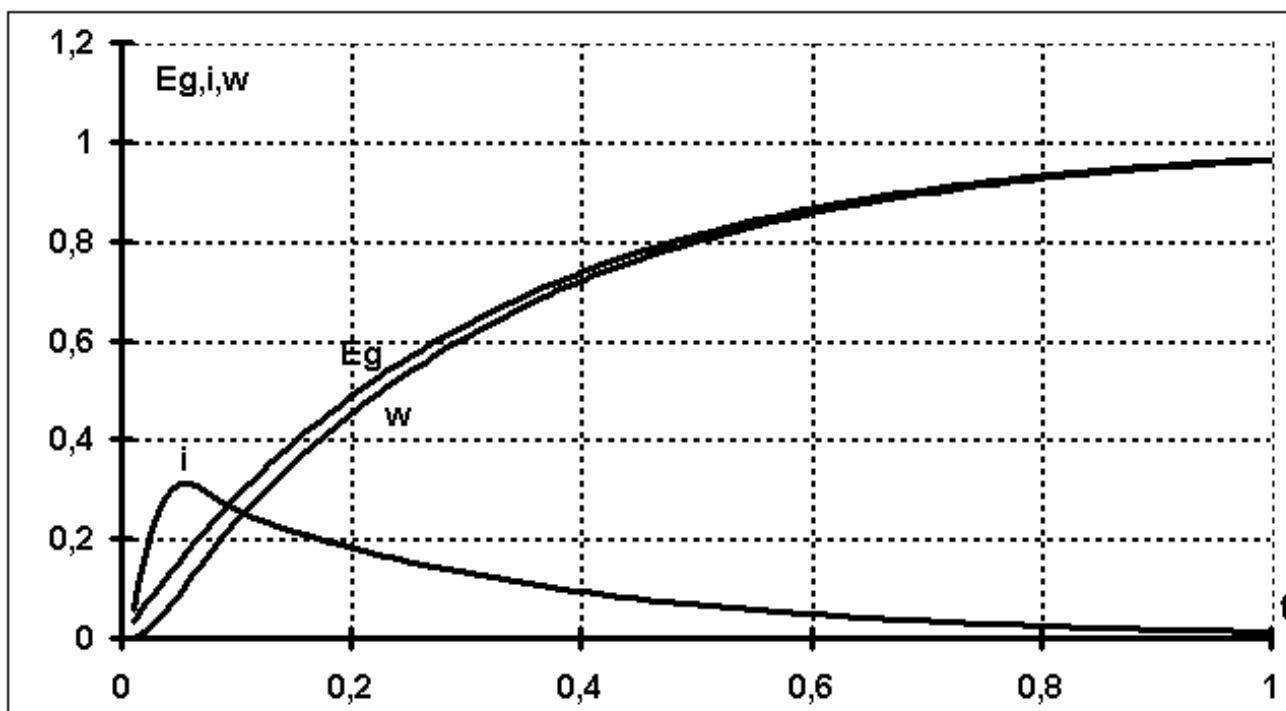


б)

Рис.10 Криві перехідного процесу при живленні двигуна від ШІМ, $f = 5000 \text{Гц}$

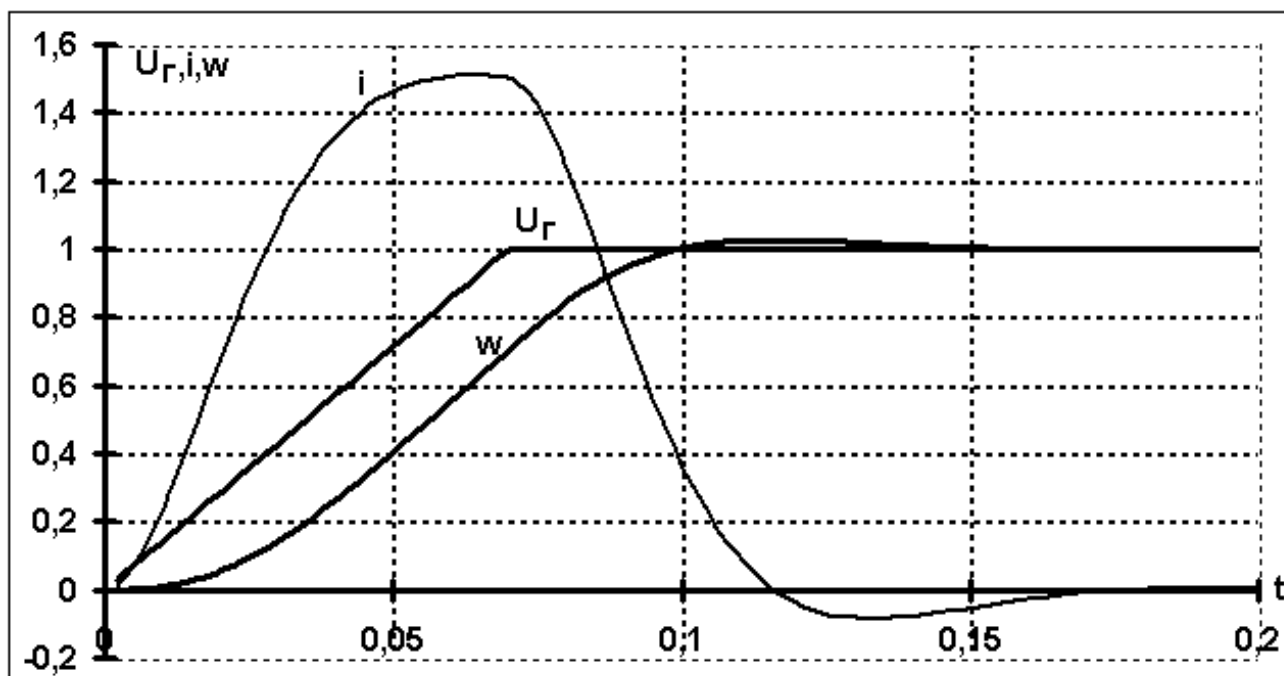


а)

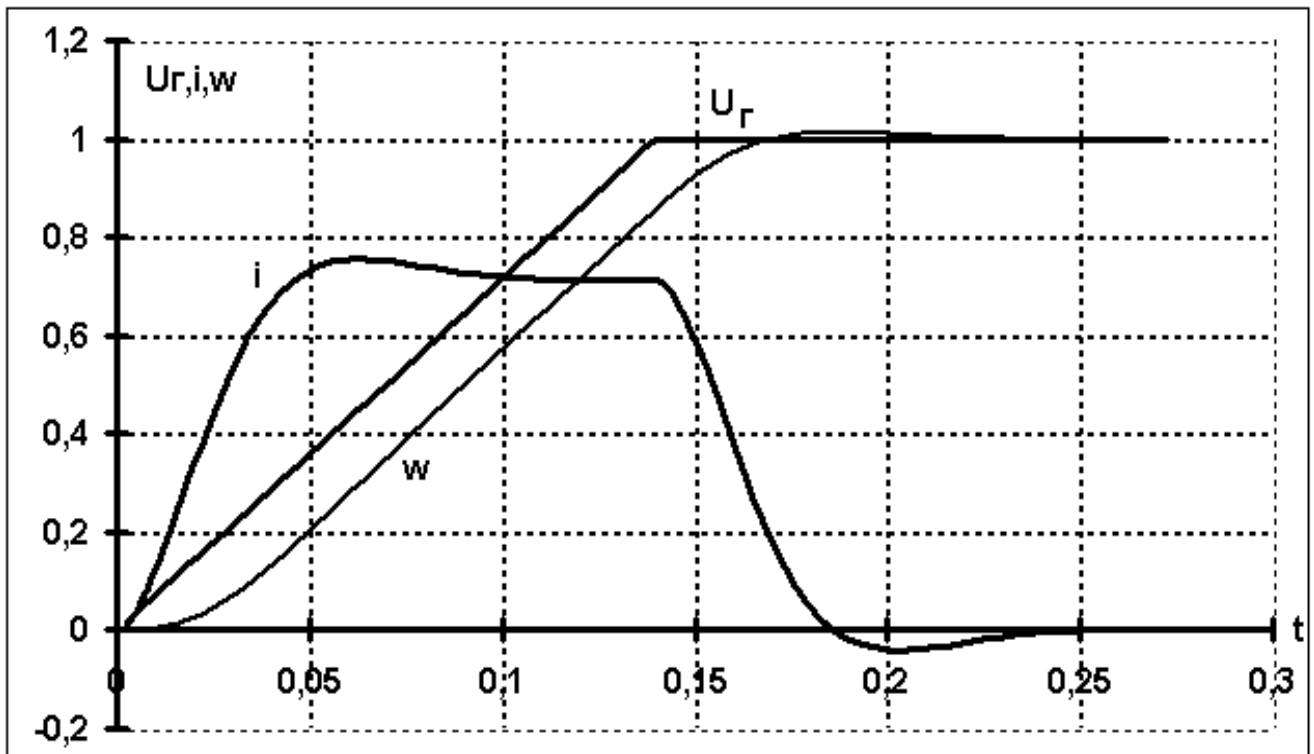


б)

Рис. 11. Криві перехідного процесу в системі Г-Д для східчастій зміни напруги збудження генератора при різноманітних значеннях T_B .



а)



б)

Рис. 12. Криві перехідного процесу в системі Г-Д; а) при відсутності форсировки;
б) при наявності форсировки

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

Дослідження механічних перехідних процесів двомасової пружної системи.

1. Мета роботи

Дослідження впливу пружних зв'язків на перехідні процеси в двомасовій механічній системі.

2. Програма роботи

2.1. Дослідження впливу жорсткості C і моменту другої маси J_2 на перехідні процеси в двомасовій пружній системі.

2.2. Дослідження перехідних процесів у двомасовій системі з урахуванням витрат на внутрішні тертя.

3. Теоретична частина

Дослідження динаміки приводів показують, що нерозгалужені механічні системи в більшості практичних випадків у результаті виділення найбільше податливої ланки приводяться до двомасової розрахункової схеми (рис.1.).

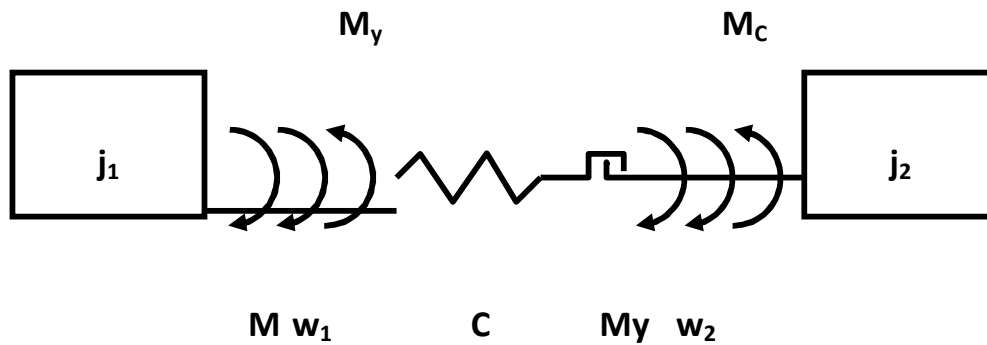


Рис. 1. Розрахункова схема двомасової механічної частини електропривода

На рис. 1 позначено: j_1, j_2 - відповідний сумарний приведений до швидкості двигуна момент інерції елементів, жорстко зв'язаних із двигуном і робочою машиною; M_y - пружний момент; C - еквівалентна жорсткість системи (для двигунів потужністю 10 – 30 кВт приймаємо $c = (200 - 400)$ Нм/рад; $\Delta\phi$ - зазор у передатному устрої.

Рівняння руху складаються для кожної маси окремо і мають вигляд:

$$M - M_y = j_1 \frac{dw_1}{dt}; \quad (1)$$

$$M_y - M_c = j_2 \frac{dw_2}{dt}; \quad (2)$$

$$M_y = c(\phi_1 - \phi_2) = \frac{c}{p}(w_1 - w_2), \quad (3)$$

де ϕ_1 і ϕ_2 - кутові переміщення мас, яким відповідають швидкості w_1 і w_2 .

Для одержання рівняння руху у відносних одиницях поділимо (1) на M_H .

У результаті отримаємо

$$\frac{M}{M_H} - \frac{M_y}{M_H} = \frac{j_1}{M_H} \frac{dw_1}{dt} = \frac{j_1}{M_H} \frac{w_0}{w_0} \frac{dw_1}{dt} \quad (4)$$

або

$$M^* - M_y^* = \frac{j_1 w_0}{M_H} \frac{dw_1^*}{dt}, \quad (5)$$

де

M^*, M_y^*, w_1^* - відносні значення.

Позначимо у (5) $\frac{j_1 w_0}{M_H} = T_1$, одержимо рівняння руху у відносних одиницях

$$M^* - M_y^* = T_1 \frac{dw_1^*}{dt}. \quad (6)$$

Аналогічно одержимо з (2) і (3)

$$M_y^* - M_c^* = T_2 \frac{dw_2^*}{dt}, \quad (7)$$

де $T_2 = \frac{j_2 w_0}{M_H}$

$$M_y^* = \frac{C w_0}{M_H p} (w_1^* - w_2^*) = \frac{C^*}{p} (w_1^* - w_2^*), \quad (8)$$

де $C^* = \frac{C w_0}{M_H}$

На підставі рівнянь (6), (7) і (8) структурна схема механічної частини електропривода з пружністю має вигляд поданий на рис. 2.

Перехідні процеси в даній схемі описуються такими рівняннями:

$$w_1 = \varepsilon t + \frac{\varepsilon j_2}{j_1 \Psi_0} \sin \Psi_0 t; \quad (9)$$

$$w_2 = \varepsilon t - \frac{\varepsilon}{\Psi_0} \sin \Psi_0 t; \quad (10)$$

$$M_y = \varepsilon j_2 (1 - \cos \Psi_0 t) = M_{y.c.p.} (1 - \cos \Psi_0 t), \quad (11)$$

де

$$\varepsilon = \frac{M - M_c}{j_1 + j_2} \text{ - прискорення привода;}$$

$$M_{y.c.p.} = \varepsilon j_2 \text{ - середнє значення пружного моменту.}$$

Характер залежностей $w_1 = f(t), w_2 = f(t), M_y = f(t)$ поданий на рис.

3.

При урахуванні втрат на внутрішні тертя пружний момент визначиться як

$$M_y = \frac{C}{p}(w_1 - w_2) + K_{тр.}(w_1 - w_2), \quad (12)$$

де

$K_{тр.}$ - коефіцієнт утрат на тертя.

З урахуванням утрат на тертя перехідний процес описується рівняннями:

$$w_1 = \varepsilon t + e^{-\alpha t} \frac{\varepsilon j_2}{j_1 \Psi_{от.}} \cos \Psi_{от.} t; \quad (13)$$

$$w_2 = \varepsilon t - e^{-\alpha t} \frac{\varepsilon}{\Psi_{от.}} \sin \Psi_{от.} t; \quad (14)$$

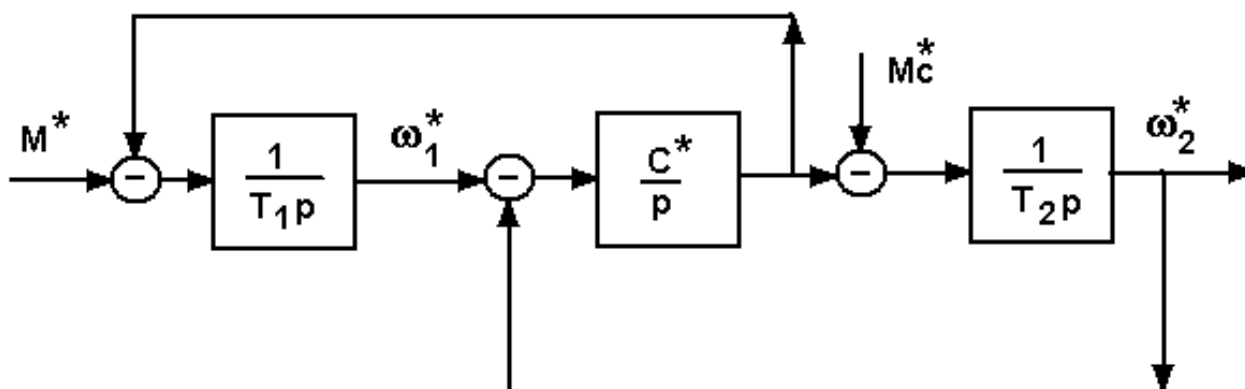


Рис. 2. Структурна схема механічної частини приводу з урахуванням пружкостей

$$M_y = e^{-\alpha t} \varepsilon j_2 (1 - \cos \Psi_0 t); \quad (15)$$

де

$$\alpha = \frac{K_{тр.}(j_1 + j_2)}{2j_1 j_2} \quad - \quad \text{коефіцієнт загасання (демпфірування)}$$

коливань;

$$\Psi_{от} = \sqrt{\Psi_0 - \alpha^2} \quad - \quad \text{частота вільних коливань.}$$

Коефіцієнт утрат на тертя буде визначатися як

$$K_{\text{тр.}} = \frac{2\alpha j_1 j_2}{j_1 + j_2} \quad (14)$$

У відносних одиницях

$$K_{\text{тр.}}^* = \frac{K_{\text{тр.}} w_0}{M_H} \quad (15)$$

Структурна схема механічної частини привода з пружністю й урахуванням утрат на тертя наведена на рис. 4.

Характер залежностей $w_1 = f(t)$, $w_2 = f(t)$, $M_y = f(t)$ поданий на рис. 5.

Параметри зміни α або $K_{\text{тр.}}$ задаються викладачем з таким розрахунком, що $\alpha = 0,3 - 1,0$

4. Порядок виконання роботи

4.1. Визначити параметри розрахункової схеми мал. 1.

4.2. Досліджувати вплив жорсткості C на характер перехідного процесу $w_1 = f(t)$, $w_2 = f(t)$, $M_y = f(t)$ ($C(200 - 400)$ Нм/рад).

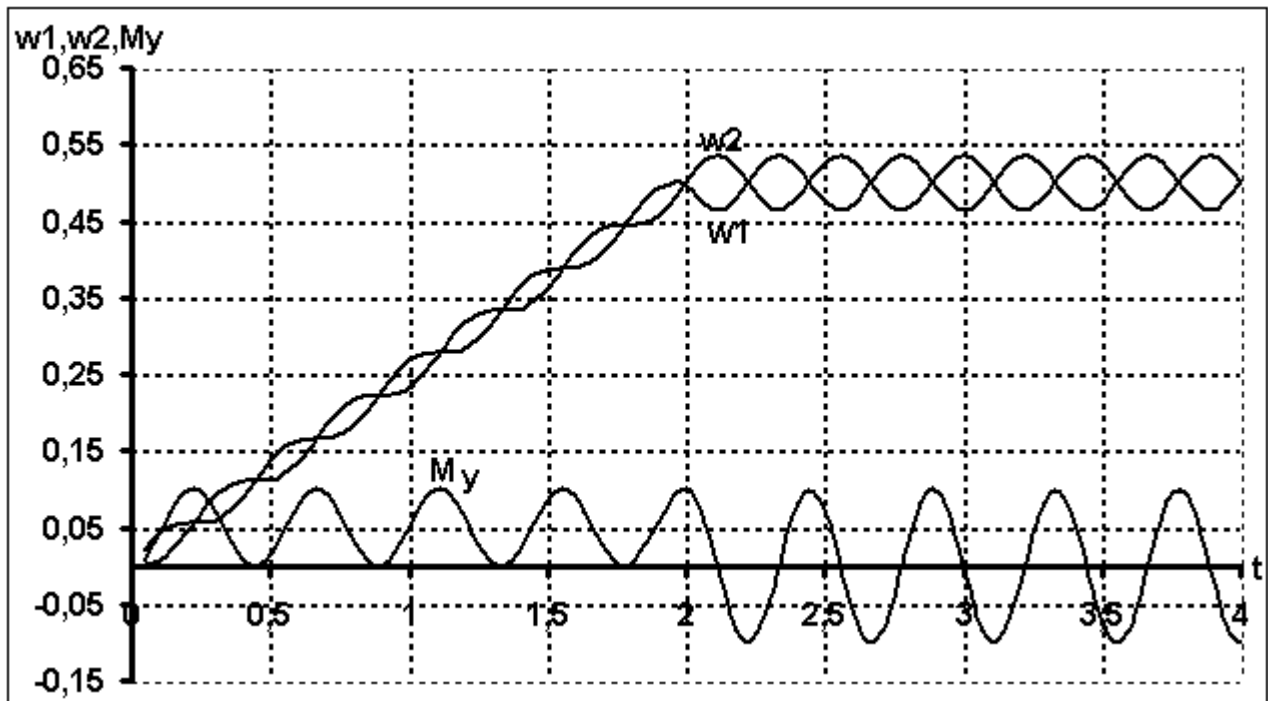


Рис. 3. Криві перехідних процесів в двомасовій пружній системі

4.3. Досліджувати вплив другої маси моменту інерції j_2 на характер перехідного процесу $w_1 = f(t), w_2 = f(t), M_y = f(t)$. Границі зміни параметрів C і j_2 задаються викладачем. При цьому $\gamma = (j_1 + j_2) / j_1 = 1,5 - 2$

4.4. Досліджувати перехідні процеси з урахуванням утрат на грузле тертя

5. Зміст звіту

5.1. Назва роботи.

5.2. Мета і програма роботи.

5.3. Структурні схеми механічної частини електропривода (рис.2 і рис.3).

5.4. Криві перехідних процесів за п. 4.2 - 4.4.

5.5. Аналіз отриманих результатів.

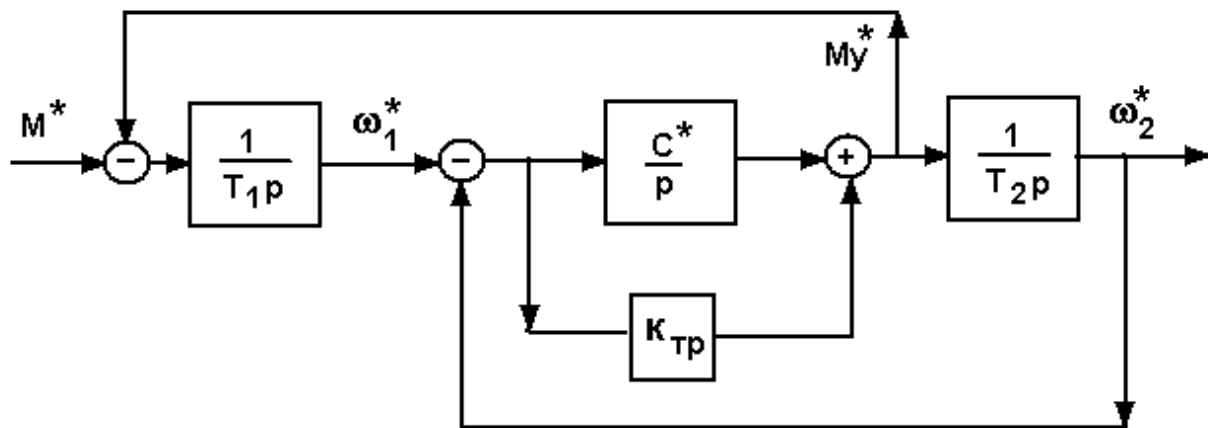


Рис. 4. Структурна схема механічної частини електропривода з пружкістю з урахуванням утрат на тертя

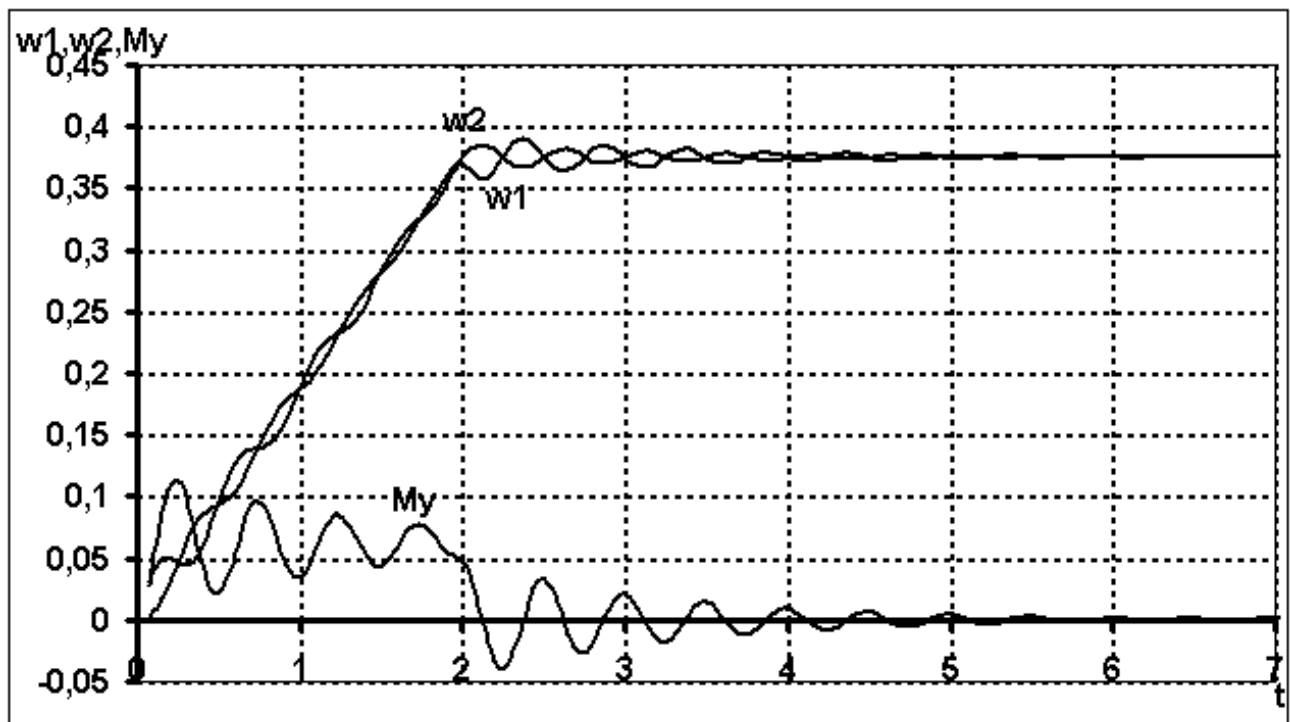


Рис. 5. Криві перехідних процесів двомасової пружної системи з урахуванням утрат на тертя

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

Дослідження електромеханічних перехідних процесів асинхронного електродвигуна

1. Мета роботи

Дослідити електромеханічні перехідні процеси асинхронного електродвигуна.

2. Програма роботи

2.1 Дослідити електромеханічні перехідні процеси асинхронного електродвигуна.

3. Теоретична частина

Для аналітичного опису електромагнітних перехідних процесів, що відбуваються в асинхронному двигуні, зручно використовувати модель узагальненої електричної машини, приведеної на рис. 1.

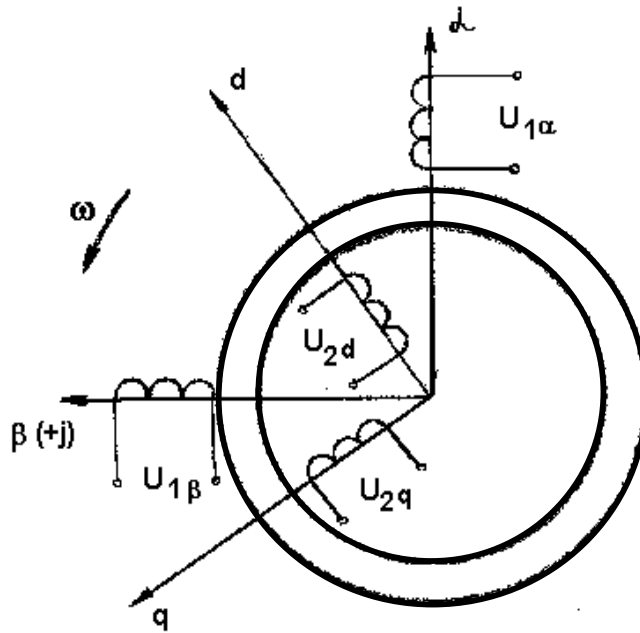


Рис.1. Схема узагальненої електричної машини

Теорія узагальненої електричної машини докладно розроблена в [2,5]. Узагальнена електрична машина є ідеалізованою і для неї використовуються такі допущення:

- 1) магніторухливі сили синусоїдально розподілені уздовж повітряного зазору, тобто не враховує просторові вищі гармонійні сили, що намагнічують, і магнітні поля;
- 2) усі три фази машини приймаються цілком симетричними;
- 3) не враховується вплив зубців;
- 4) насичення і втрати в сталі відсутні;
- 5) параметри обмоток приведені.

Основні рівняння узагальненої машини в координатній системі, що обертається з довільною швидкістю ω_k [2,5].

$$\bar{U}_1 = \bar{l}_1 R_1 + \frac{d\bar{\psi}_1}{dt} + j\omega_k \bar{\psi}_1; \quad (1)$$

$$\bar{U}_2 = \bar{l}_2 R_2 + \frac{d\bar{\psi}_2}{dt} + j(\omega_k - z_n \omega) \bar{\psi}_2; \quad (2)$$

$$\bar{\psi}_1 = \bar{l}_1 L_1 + L_m \bar{l}_2; \quad (3)$$

$$\bar{\psi}_2 = \bar{l}_2 L_2 + L_m \bar{l}_1; \quad (4)$$

де

$\bar{U}_1, \bar{U}_2, \bar{l}_1, \bar{l}_2, \bar{\psi}_1, \bar{\psi}_2$ - відповідно результуючі (узагальнені) просторові вектори напруг, струму та потокощеплення обмоток статора і ротора;

ω, ω_k - кутова швидкість двигуна і координатних осей;

$L_1 = L_{1\sigma} + L_m; L_2 = L_{2\sigma} + L_m$ - еквівалентна повна індуктивність відповідно статора і ротора, що складаються з індуктивностей від поля розсіювання ($L_{1\sigma}$ і $L_{2\sigma}$) та індуктивності

$$L_m = \frac{3}{2} L_{12} \text{ основного потоку, створеного потоком самої обмотки і}$$

потоками інших обмоток;

Z_n - число пар полюсів.

Узагальнений (результуючий) вектор, наприклад, для струму статора визначається виразом:

$$\bar{i}_1 = \frac{2}{3} (i_A + a i_B + a^2 i_C), \quad (5),$$

де i_A, i_B, i_C - миттєві значення струмів відповідних фаз статора.

$$a = e^{j120^\circ} = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}; a^2 = e^{j240^\circ} = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \quad (6)$$

Для геометричної побудови результуючого вектора струму статора $\bar{i}_1$ відповідно до (5) і (6) необхідно в напрямку осі фази А (збіжної з віссю α) завдати миттєві значення струмів фаз i_A, i_B, i_C з урахувань їхніх знаків, у результаті чого отримані вектори $\bar{i}_A, \bar{i}_B, \bar{i}_C$. Потім будуються вектори $\bar{i}_B e^{j120^\circ}$ і $\bar{i}_C e^{j240^\circ}$, повернені відносно векторів $\bar{i}_B$ і $\bar{i}_C$ відповідно на 120° і 240° у позитивному напрямку. Сума отриманих при цьому векторів складає $\frac{3}{2} \bar{i}_1$.

На рис.2. показано побудову узагальненого вектора струму статора для моменту часу, коли миттєве значення струму фази А дорівнює максимальному значенню $i_A = I_m$. При цьому миттєві значення струмів фаз В і С $i_B = i_C = -0,5 I_m$.

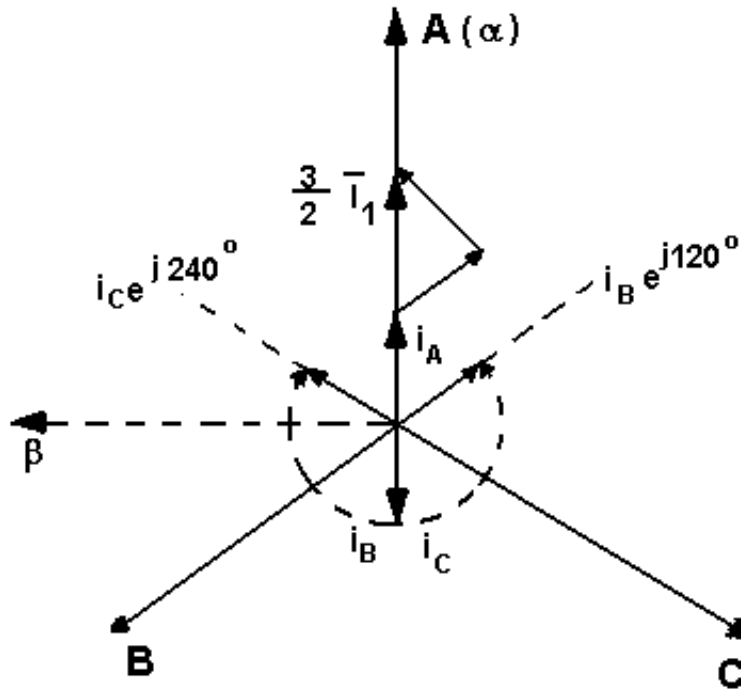


Рис. 2. Побудову узагальненого вектора струму статора

Таким же чином будуються результуючі вектори для других величин.

Для того, щоб за узагальненим вектором знайти миттєве значення розмірів кожної фази необхідно спроектувати його на відповідні осі обмоток.

У нерухомій системі координат α, β результуючий вектор, наприклад, струм статора можна розділити на речовинну і уявні складові

$$\bar{i}_1 = i_{1\alpha} + j i_{1\beta}, \quad (7)$$

де

$$i_{1\alpha} = \text{Re}(\bar{i}_1), i_{1\beta} = \text{Im}(\bar{i}_1). \quad (8)$$

При цьому напрямок осі фази A приймається за позитивний напрямок речовинної осі α .

Таким чином, використовуючи залежність (7) трифазна машина може бути замінена еквівалентною двофазною.

Аналітична залежність між складовими α й β і миттєвими значеннями струмів окремих фаз визначається за допомогою (5) і (8):

$$i_{1\alpha} = \text{Re}(\bar{i}_1) = \text{Re}\left[\frac{2}{3}(i_A + a i_B + a^2 i_C)\right] = \frac{2}{3}\left[i_A - \frac{i_B + i_C}{2}\right]; \quad (9)$$

$$i_{1\beta} = \text{Im}(\bar{i}_1) = \text{Im}\left[\frac{2}{3}(i_A + a i_B + a^2 i_C)\right] = \frac{i_B - i_C}{\sqrt{3}}. \quad (10)$$

Для симетричної машини $i_A + i_B + i_C = 0$, при цьому $i_{1\alpha} = i_A$.

Для того, щоб одержати структурну схему асинхронного двигуна необхідно підставити вираз потокоццеплення (3) і (4) у рівняння напруг (1) і (2), що призведе до рівняння у якому фігурують лише струми

$$\bar{U}_1 = \bar{i}_1 R_1 + \frac{d}{dt} (L_1 \bar{i}_1 + L_m \bar{i}_2) + j\omega_k (L_1 \bar{i}_1 + L_m \bar{i}_2); \quad (11)$$

$$\bar{U}_2 = \bar{i}_2 R_2 + \frac{d}{dt} (L_m \bar{i}_1 + L_2 \bar{i}_2) + j(\omega_k - z_n \omega) (L_m \bar{i}_1 + L_2 \bar{i}_2). \quad (12)$$

Розкладаючи (11) і (12) на дійсну і уявну складові (частини), одержимо для нерухомої системи координат α, β :

$$U_{1\alpha} = R_1 i_{1\alpha} + L_1 p i_{1\alpha} + L_m p i_{2\alpha}; \quad (13)$$

$$U_{1\beta} = R_1 i_{1\beta} + L_1 p i_{1\beta} + L_m p i_{2\beta}; \quad (14)$$

$$U_{2\alpha} = i_{2\alpha} R_2 + L_2 p i_{2\alpha} + L_m p i_{1\alpha} + z_n \omega L_m i_{1\beta} + z_n \omega L_2 i_{2\beta}; \quad (15)$$

$$U_{2\beta} = i_{2\beta} R_2 + L_2 p i_{2\beta} + L_m p i_{1\beta} - z_n \omega L_m i_{1\alpha} - z_n \omega L_2 i_{2\alpha}. \quad (16)$$

Момент двигуна в осях α, β може бути визначений як

$$M = \frac{3}{2} z_n L_m (i_{2\alpha} i_{1\beta} - i_{2\beta} i_{1\alpha}). \quad (17)$$

Використовуючи рівняння руху

$$M - M_c = j \frac{d\omega}{dt}. \quad (18)$$

Можна на базі рівнянь (13)-(18) можливо скласти структурну схему асинхронного двигуна (динамічної механічної характеристики) у нерухомій системі координат α, β рис.3. Рівняння для розрахунку параметрів моделі наведеної на рисунку 3:

$$\begin{aligned} R_1 &= R_1^* R_6; & R_2^* &= R_2' R_6; & x_\mu &= x_\mu^* R_6; & x_{1\sigma} &= x_{1\sigma}^* R_6; \\ x_{2\sigma} &= x_{2\sigma}^* R_6; & R_6 &= U_{1\phi} / I_{1\phi}; & I_{1\phi} &= P_H / 3 U_{1\phi} \eta_H \cos \phi_H; \\ x_1 &= \frac{3}{2} x_\mu + x_{1\sigma}; & x_2 &= \frac{3}{2} x_\mu + x_{2\sigma}; & L_1 &= x_1 / 2\pi f_1; & L_2 &= x_2 / 2\pi f_1; \\ L_{1\sigma} &= x_{1\sigma} / 2\pi f_1; & L_{2\sigma} &= x_{2\sigma} / 2\pi f_1; & L_\mu &= L_{12} = x_\mu / 2\pi f_1 \end{aligned}$$

Приклад розрахунку:

Паспортні данні двигуна:

$$P_H=22000 \quad \eta=0.9 \quad \cos(\varphi)=0.9 \quad U_\phi=220 \quad R1^*=0.041 \quad R2^*=0.021 \quad x_{\mu}^*=4 \\ x1^*=0.08 \quad x2^*=0.12 \quad f=50 \quad Z_n=2 \quad J=0.19$$

Послідовність розрахунку:

$$I_H = \frac{P_H}{3 \cdot U_f \cdot \eta \cdot \cos(\varphi)}; \quad I_H = 41.15; \quad R_b = \frac{U_\phi}{I_H}; \quad R_b = 5.346;$$

$$R1=R1^* \cdot R_b; \quad R1 = 0.21919; \quad R2=R2^* \cdot R_b; \quad R2 = 0.11227;$$

$$x_\mu = x_\mu^* \cdot R_b; \quad x_\mu = 21.384; \quad x_{1\sigma} = x1^* \cdot R_b; \quad x_{2\sigma} = x2^* \cdot R_b; \\ x_{1\sigma} = 0.42768; \quad x_{2\sigma} = 0.64152;$$

$$x_1 = \frac{3}{2} x_\mu + x_{1\sigma}; \quad x_2 = \frac{3}{2} x_\mu + x_{2\sigma}; \quad x_1 = 32.50; \quad x_2 = 32.71;$$

$$L_{1\sigma} = x_{1\sigma} / 2\pi f_1; \quad L_{2\sigma} = x_{2\sigma} / 2\pi f_1; \quad L_{1\sigma} = 1.36 \cdot 10^{-3};$$

$$L_{2\sigma} = 2.04 \cdot 10^{-3}; \quad L_\mu = \frac{x_\mu}{2 \cdot \pi \cdot f}; \quad L_\mu = 0.068; \quad L_m = \frac{3}{2} \cdot L_\mu;$$

$$L_m = 0.1021; \quad L_1 = L_m + L_{1\sigma}; \quad L_2 = L_m + L_{2\sigma}; \quad L_1 = 0.103446;$$

$$L_2 = 0.10414; \quad \frac{3}{2} \cdot Z_n \cdot L_m = 0.3063.$$

На рисунку 4 наведені результати моделювання при прямому пуску АД, отримані подачею в схемі на рис. 3 керуючих впливів:

$$U_{1\alpha} = U_{\phi \max} \cos \omega t; \quad U_{1\beta} = U_{\phi \max} \sin \omega t; \quad U_{2\alpha} = U_{2\beta} = 0$$

Якщо рівняння (1)-(4) вирішити відносно потокощеплення, то отримаємо рівняння:

$$\frac{d\Psi_{1\alpha}}{dt} = U_{1\alpha} - \frac{R_1}{L_1^n} \cdot \Psi_{1\alpha} + K_2 \cdot \frac{R_1}{L_1^n} \cdot \Psi_{2\alpha} \quad (19)$$

$$\frac{d\Psi_{1\beta}}{dt} = U_{1\beta} - \frac{R_1}{L_1^n} \cdot \Psi_{1\beta} + K_2 \cdot \frac{R_1}{L_1^n} \cdot \Psi_{2\beta} \quad (20)$$

$$\frac{d\Psi_{2\alpha}}{dt} = U_{2\alpha} - \frac{R_2}{L_2^n} \cdot \Psi_{2\alpha} + K_1 \cdot \frac{R_2}{L_2^n} \cdot \Psi_{1\alpha} - Z_n \cdot \omega \cdot \Psi_{2\beta} \quad (21)$$

$$\frac{d\Psi_{2\beta}}{dt} = U_{2\beta} - \frac{R_2}{L_2^n} \cdot \Psi_{2\beta} + K_1 \cdot \frac{R_2}{L_2^n} \cdot \Psi_{1\beta} + Z_n \cdot \omega \cdot \Psi_{2\alpha} \quad (22)$$

$$i_{1\alpha} = \frac{\Psi_{1\alpha} - K_2 \cdot \Psi_{2\alpha}}{L_1^n}; \quad i_{2\alpha} = \frac{\Psi_{2\alpha} - K_1 \cdot \Psi_{1\alpha}}{L_2^n}; \quad K_1 = \frac{L_m}{L_1};$$

$$K_2 = \frac{L_m}{L_2}; \quad i_{1\beta} = \frac{\Psi_{1\beta} - K_2 \cdot \Psi_{2\beta}}{L_1^n}; \quad i_{2\beta} = \frac{\Psi_{2\beta} - K_1 \cdot \Psi_{1\beta}}{L_2^n}$$

$$L_1^n = L_1 - \frac{L_m^2}{L_2}; \quad L_\mu = \frac{x_\mu}{2\pi \cdot f}; \quad L_m = \frac{3}{2} \cdot L_\mu \quad L_2^n = L_2 - \frac{L_m^2}{L_1}$$

$$M = \frac{3}{2} \cdot Z_n \cdot \frac{L_m}{L_1 \cdot L_2 - L_m^2} \cdot (\Psi_{2\alpha} \cdot \Psi_{1\beta} - \Psi_{2\beta} \cdot \Psi_{1\alpha}) \quad (23)$$

Модель АД побудована за допомогою виразів(19)-(23), наведена на рисунку 5

Послідовність розрахунку параметрів моделі наведена на рисунку 5.
Використовуючи розрахункові дані попереднього випадку, визначається:

$$K_1 = \frac{L_m}{L_1}; \quad K_2 = \frac{L_m}{L_2}; \quad K_1 = 0.9868 \quad K_2 = 0.98 \quad L_1^n = L_1 - \frac{L_m^2}{L_2}$$

$$L_2^n = L_2 - \frac{L_m^2}{L_1} \quad L_1^n = 0.003363 \quad L_2^n = 0.003385$$

Розрахунок коефіцієнтів для підстановки в блоки:

$$Y_1 = k_2 \frac{R_1}{L_1^n}; \quad Y_2 = \frac{R_1}{L_1^n}; \quad Y_3 = K_1 \frac{R_2}{L_2^n}; \quad Y_4 = \frac{R_2}{L_2^n}; \quad Y_5 = \frac{1}{L_1^n};$$

$$Y_6 = \frac{3}{2} \cdot Z_n \cdot \frac{L_m}{L_1 \cdot L_2 - L_m^2}$$

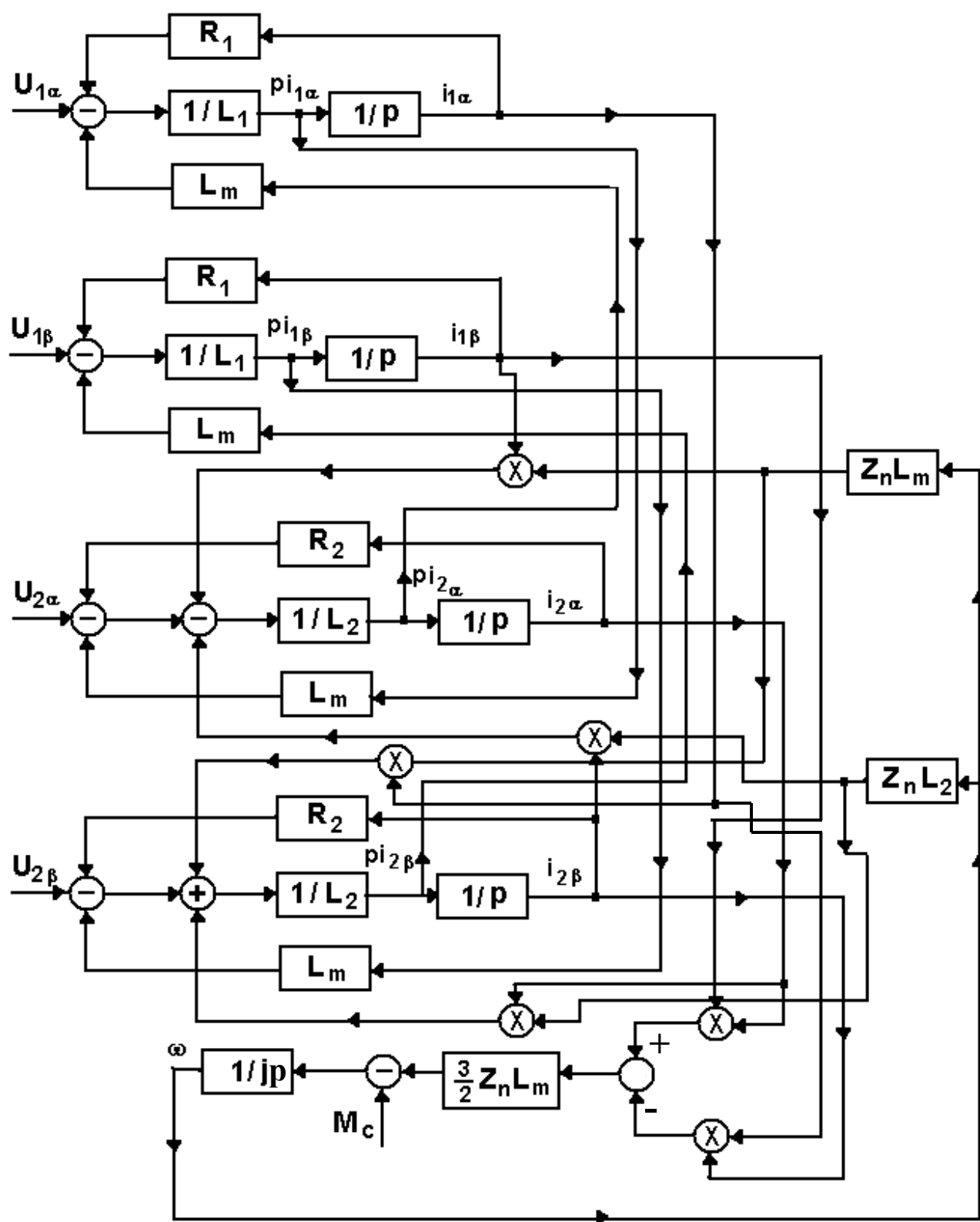


Рис. 3. Структурна схема асинхронного двигуна у нерухомій системі координат α, β

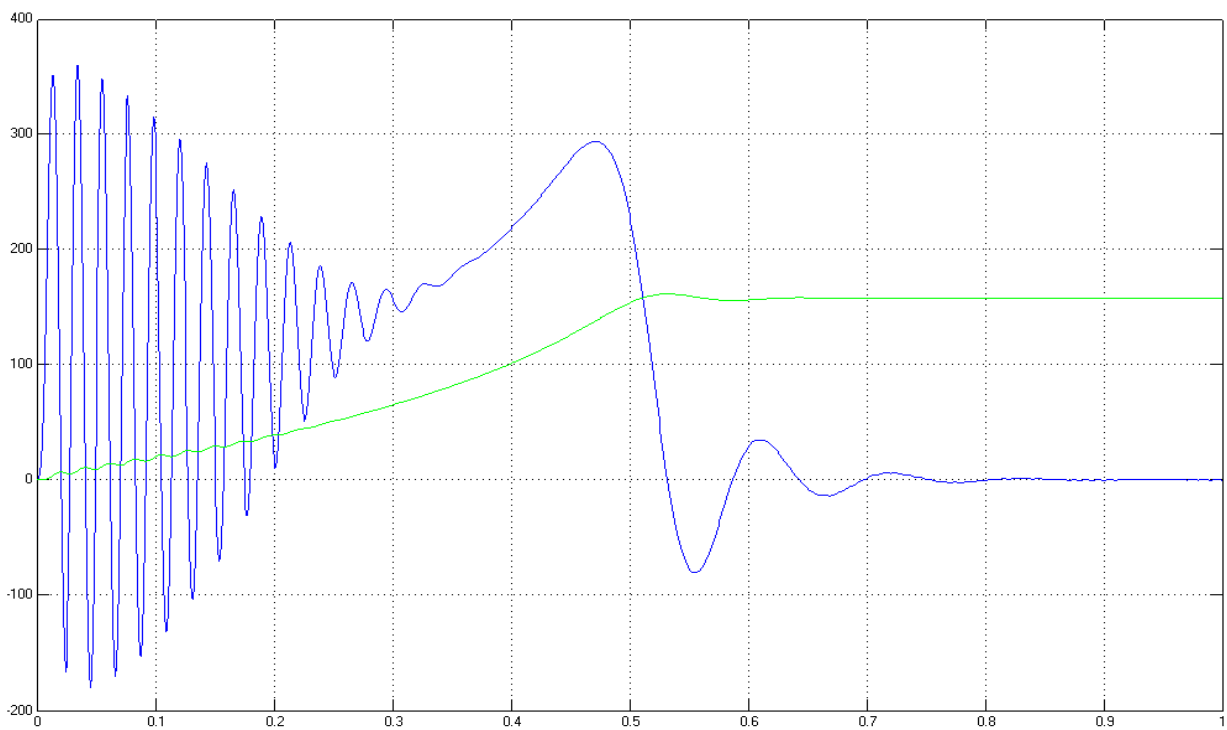
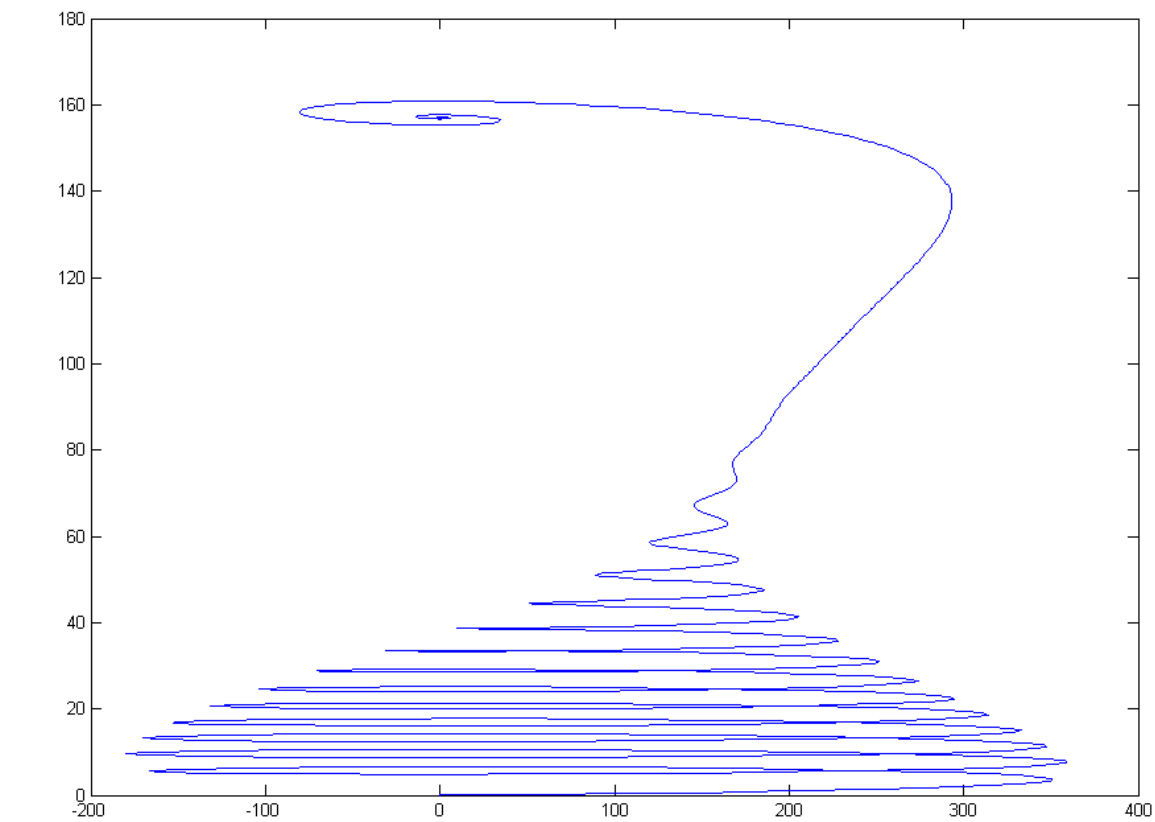


Рис. 4. Перехідні процеси в асинхронному двигуні при пуску.

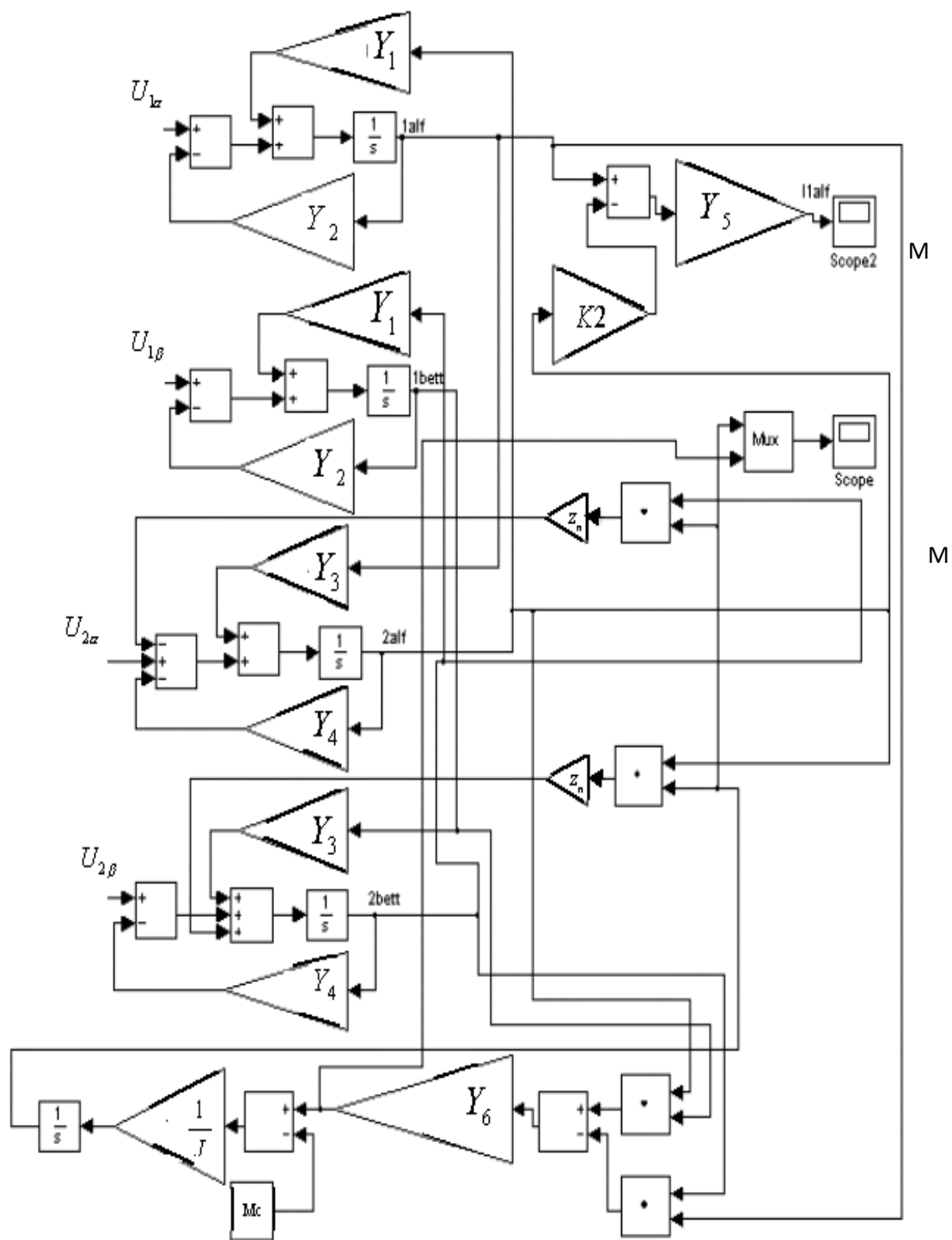


Рис. 5 Модель асинхронного двигуна набрана за допомогою пакету MATLAB

Послідовність розрахунку параметрів моделі наведена на рисунку 5.
Використовуючи розрахункові дані попереднього випадку, визначається:

$$K_1 = \frac{L_m}{L_1}; \quad K_2 = \frac{L_m}{L_2}; \quad K_1 = 0.9868 \quad K_2 = 0.98 \quad L_1^n = L_1 - \frac{L_m^2}{L_2}$$

$$L_2^n = L_2 - \frac{L_m^2}{L_1} \quad L_1^n = 0.003363 \quad L_2^n = 0.003385$$

Розрахунок коефіцієнтів для підстановки в блоки:

$$Y_1 = k_2 \frac{R_1}{L_1^n}; \quad Y_2 = \frac{R_1}{L_1^n}; \quad Y_3 = K_1 \frac{R_2}{L_2^n}; \quad Y_4 = \frac{R_2}{L_2^n}; \quad Y_5 = \frac{1}{L_1^n};$$

$$Y_6 = \frac{3}{2} \cdot Z_n \cdot \frac{L_m}{L_1 \cdot L_2 - L_m^2}$$

4. Програма роботи

- 4.1. Побудувати структурну схему асинхронного двигуна.
- 4.2. Визначити параметри структурної схеми.
- 4.3. Дослідити електромеханічні перехідні процеси асинхронного електродвигуна (загальний вид кривих наведен на рис.4).

5. Зміст звіту.

- 5.1. Назва роботи.
- 5.2. Мета і програма роботи.
- 5.3. Структурна схема двигуна (рис 3).
- 5.4. Криві перехідних процесів.
- 5.5. Аналіз отриманих результатів.

Зміст.

Лабораторна робота №1. Дослідження електромеханічних перехідних процесів у двигуні постійного струму методом цифрового моделювання.
Лабораторна робота №2. Дослідження механічних перехідних процесів двомасової пружної системи.
Лабораторна робота №3. Дослідження електромеханічних перехідних процесів асинхронного двигуна.
Література

Література

1. Вешеневський С.Н. Характеристики двигателів в електроприводі. –М.: Енергія, 1977. -432 с.
2. Ключев В.Т. Теорія електропривода. –М.: Енергоавтоматиздат, 1985. -560 с.
3. Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общій курс електропривода. –М.: Енергоавтоматиздат, 1981. -416 с.
4. Справочник по автоматизированному електроприводу /Под ред. В.А.Елисеева и А.В.Щинянского. –М.: Енергоавтоматиздат, 1983. -661 с.
5. Чиликин М.Г., Ключев В.И., Сандлер А.С. Теорія автоматизированного електропривода. –М.: Енергія, 1979. -616 с.
6. Справочник по электрическим машинам: В2т/Под общ.ред.И.П.Копыллова и Б.К.Клокова. Т.1.-М.: Енергоатомиздат, 1988.-456с.

№ вар.	Двигуни постійного струму		Асинхронні двигуни з короткозамкнутим ротором	
	Тип	Р _н , кВт	Тип	Р _н , кВт
1	П71У4	19	4А132М2У3	11
2		25	4А160S2У3	15
3		32	4А160М2У3	18.5
4	П72У4	10	4А180S2У3	22
5		14	4А180М2У3	30
6		25	4А200М2У3	37
7		32	4А200L2У3	45
8		42	4А225М2У3	55
9	П81У4	14	4А250S2У3	75
10		19	4А132М4У3	11
11		32	4А160S4У3	15
12	П82У4	19	4А160М4У3	18.5
13		25	4А180S4У3	22
14		42	4А180М4У3	30
15	П91У4	19	4А200М4У3	37
16		25	4А200L4У3	45
17		32	4А225М4У3	55
18		55	4А250S4У36У3	75
19	П92У4	25	4А160S6У3	11
20		32	4А160М6У3	15
21		42	4А180М6У3	18.5

№ вар.	Двигуни постійного струму		Асинхронні двигуни з короткозамкнутим ротором	
	Тип	Р _н , кВт	Тип	Р _н , кВт
22		75	4A200M6Y3	22
23	П101У4	32	4A200L6Y3	30
24		42	4A225M6Y3	37
25		55	4A250S6Y3	45

Примітка. Справочні данні двигунів наведені [6].