

Таблиця 5 - Вихідні дані для розробки скалярних систем керування частотних електроприводів

Варіант	Кількість зон регулювання	Тип двигуна (додаток Д)	Діапазон регулювання швидкості	Діапазон регулювання швидкості	Спосіб електромеханічного гальмування	Статична помилка регулювання, $\delta_{\text{ст}}, \%$	Динамічна помилка регулювання, $\sigma_{\text{д}}, \%$	Припустиме прискорення, $\varepsilon_{\text{пр}}, \text{рад/с}^2$
1	1	F011-6	4	2	Рекуп.	1	20	150
2	2	F411-8	10	2	Динам.	2	20	230
3	1	H112-6	5	2	Рекуп.	1	10	200
4	2	H311-8	20	2	Динам.	0.1	10	100
5	1	F012-6	4	2	Рекуп.	1	15	590
6	2	F111-6	10	2	Динам.	0.1	10	250
7	1	F112-6	4	2	Рекуп.	1	20	230
8	2	F211-6	15	2	Динам.	2	20	800
9	1	F311-6	5	2	Рекуп.	1	10	110
10	2	F312-6	30	2	Динам.	0.1	10	140
11	1	F411-6	40	2	Рекуп.	1	15	900
12	2	F412-6	20	2	Динам.	0.1	10	800
13	1	F311-8	4	2	Рекуп.	1	20	590
14	2	F312-8	50	2	Динам.	2	20	600
15	1	F412-8	1	2	Рекуп.	1	10	770
16	1	H111-6	40	2	Динам.	0.1	10	120
17	1	H112-6	4	2	Рекуп.	1	15	900
18	2	H211-6	10	2	Динам.	0.1	10	100
19	1	H311-6	4	2	Рекуп.	1	20	160
20	2	H312-6	40	2	Динам.	2	20	250
21	1	H411-6	5	2	Рекуп.	1	10	300
22	2	H412-6	30	2	Динам.	0.1	10	800
23	1	H311-8	4	2	Рекуп.	1	15	900
24	2	H312-8	20	2	Динам.	0.1	10	150
25	1	H411-8	4	2	Рекуп.	1	20	300
26	2	H412-8	5	2	Динам.	2	20	400
27	2	H511-8	5	2	Рекуп.	1	10	120
28	2	H512-8	10	2	Динам.	0.1	10	200
29	1	H512-8	4	2	Рекуп.	1	15	350
30	2	H311-6	50	2	Динам.	0.1	10	340
31	1	F412-8	4	2	Рекуп.	1	20	400
32	2	H411-6	25	2	Динам.	2	20	300
33	1	H412-6	4	2	Рекуп.	1	20	800
34	2	H311-8	30	2	Динам.	2	20	140
35	1	H312-8	5	2	Рекуп.	1	10	250
36	2	H411-8	20	2	Динам.	0.1	10	300
37	1	H412-8	4	2	Рекуп.	1	15	220
38	2	H511-8	10	2	Динам.	0.1	10	120
39	1	H512-8	8	2	Рекуп.	1	20	200
40	2	H512-8	10	2	Динам.	2	20	350
41	1	H311-6	16	2	Рекуп.	1	20	340

42	1	F011-6	4	2	Рекуп.	1	20	150
43	2	F411-8	10	2	Динам.	2	20	230
44	1	H112-6	5	2	Рекуп.	1	10	200
45	2	H311-8	20	2	Динам.	0.1	10	100
46	1	F012-6	4	2	Рекуп.	1	15	590
47	2	F111-6	10	2	Динам.	0.1	10	250
48	1	F112-6	4	2	Рекуп.	1	20	230
49	2	F211-6	15	2	Динам.	2	20	800
50	1	F311-6	5	2	Рекуп.	1	10	110
51	2	F312-6	30	2	Динам.	0.1	10	140
52	1	F411-6	40	2	Рекуп.	1	15	900
53	2	F412-6	20	2	Динам.	0.1	10	800
54	1	F311-8	4	2	Рекуп.	1	20	590
55	2	F312-8	50	2	Динам.	2	20	600
56	1	F412-8	1	2	Рекуп.	1	10	770
57	1	H111-6	40	2	Динам.	0.1	10	120
58	1	H112-6	4	2	Рекуп.	1	15	900
59	2	H211-6	10	2	Динам.	0.1	10	100
60	1	H311-6	4	2	Рекуп.	1	20	160
61	2	H312-6	40	2	Динам.	2	20	250

1 Схема силового модуля частотного перетворювача з керуванням за законом $\Psi_2 = \text{const}$

Схема силового модуля частотного перетворювача SIMOVERT MASTERDRIVES з керуванням за законом $\Psi_2 = \text{const}$ наведена на рисунку 79. Комплектний електропривід одержує живлення за магістральною лінією через лінійний контактор *KMI* захисної панелі.

У ланцюгу котушки керування лінійного контактора включені контакти реле максимального й нульового захистів, контакти блокувань (на силівій схемі не показані). Частотний перетворювач комутується контактором *KMI*, на який впливають відповідні захисти.

Мережний фільтр на вході частотного перетворювача, виконаний на базі *RC*-ланцюжків (*R1.1...R1.3*, *C1.1...C1.3*), захищає живильну мережу від парних і непарних вищих гармонік несучої частоти модулятора *ШИМ АІН*.

Одночасно фільтр виконує функції *du/dt*-фільтра, що захищає ізоляцію двигуна за допомогою обмеження швидкості наростання напруги й піків напруги на клеммах двигуна до некритичних величин згідно зі стандартом ІЕС 34-17:1992. *Du/dt*-фільтр призначений для роботи із частотою імпульсів $f_p = 3$ кГц і може працювати із частотами $f_p \leq 3$ кГц.

Мережний трифазний дросель *MD1.1*, виконаний на основі котушок індуктивностей *L1.1...L1.3* з феритовим осередям, обмежує динамічні струми в ланцюгах *АІН*, захищає живильну мережу від парних і непарних гармонік несучої частоти модуляторів *ШИМ АІН* і ланку постійного струму *V1.1*.

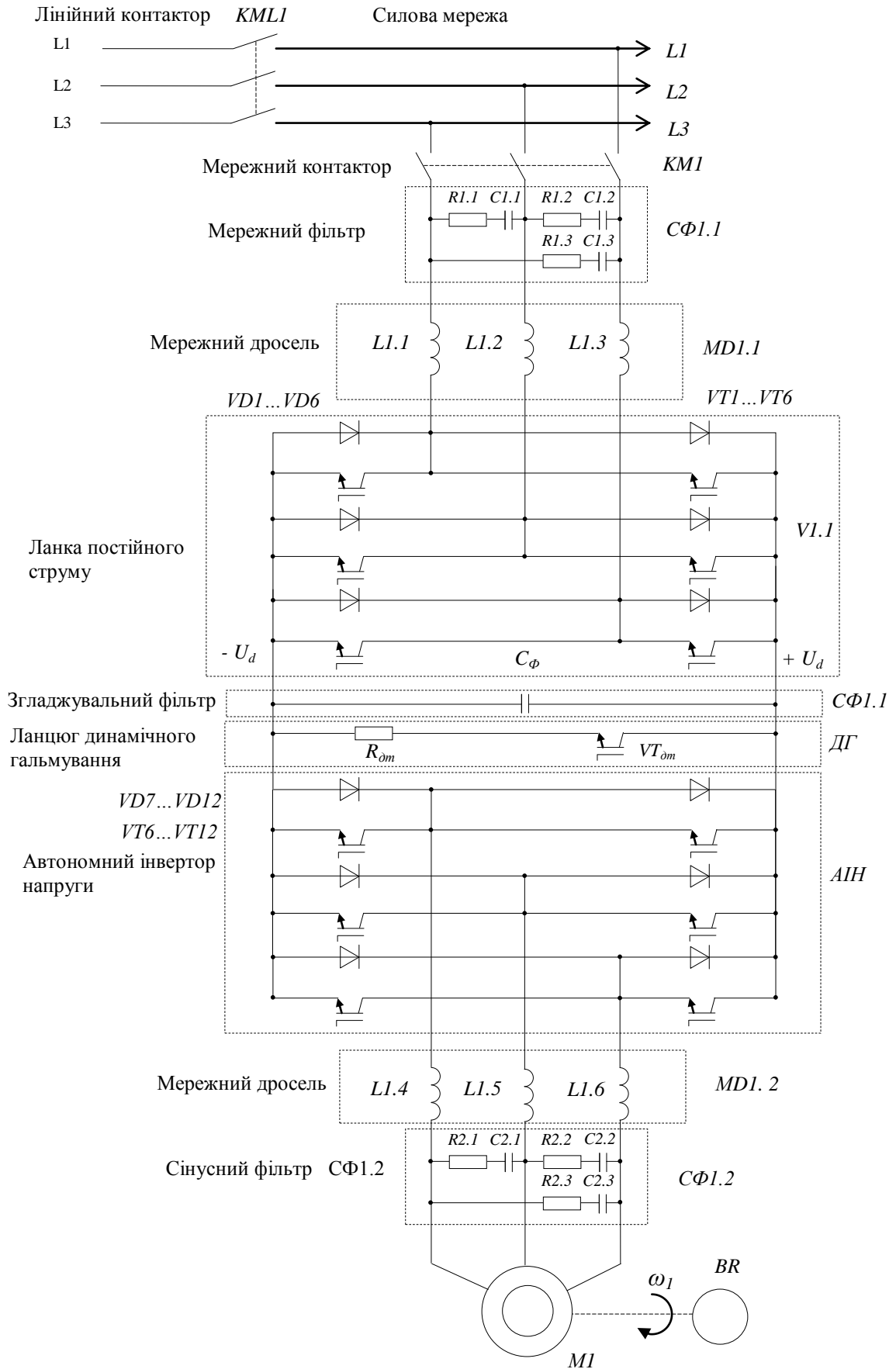


Рисунок 79 - Схема силової частини частотного електродвигуна з законом керування $\Psi_1 = const$

Ланка постійного струму $VI.1$ ($VD1...VD6$) випрямляє змінний струм за трифазної схеми Ларіонова.

Транзисторні комутатори $VT1...VT6$ зібрані також за трифазної схеми Ларіонова, забезпечують рекуперативне гальмування електропривода в динамічних режимах, коли модуль протиЕРС статора $|E_1|$ більше модуля напруги мережі $|U_M|$, ($|E_1| \geq |U_M|$).

Згладжувальний фільтр $3\Phi 1.1$ зменшує амплітуди пульсацій випрямленої напруги U_d на входах AIH .

Для забезпечення режиму динамічного гальмування асинхронного двигуна в схемі частотного перетворювача передбачен ланцюг, що включає резистор R_{dm} , транзисторний ключ VT_{dm} , що спрацьовує у цьому режимі.

Автономний інвертор напруги AIH що складається з IGB-транзисторних ключів $VT7...VT12$ і комутаційних діодів $VD7...VD12$, забезпечують перетворення випрямлених напруг U_d у трифазну систему змінних струмів регульованої частоти на основі ШИМ.

Вихідний мережний трифазний дросель $MD1.2$, виконані на основі котушок індуктивностей $L1.4...L1.6$ з феритовими осередям, обмежують динамічні струми в ланцюгах AIH , захищають обмотки статора від парних і непарних низьких гармонік несучої частоти модуляторів ШИМ AIH і ланки постійного струму $VI.1$.

Вихідний мережний фільтр $M\Phi 1.2$, виконані на базі набору режекторних RC-ланцюжків ($R2.1...R2.3$, $C2.1...C2.3$), виконує функції sin-фільтрів, що пропускають практично ідеально синусоїдальні струми від AIH до обмотки статора двигуна $M1$.

2 Векторне керування частотним асинхронним

електроприводом у перетвореній ортогональній системі

координат $x - y$

При синтезі систем керування частотних електроприводів вихідну систему диференціальних рівнянь, що описують електроприводи в трифазній системі, перетворюють у системи диференціальних рівнянь в ортогональних системах координат:

- 1) $\alpha - \beta$, жорстко пов'язаної з нерухомим статором;
- 2) $d - q$, жорстко пов'язаної з обертовим з кутовою частотою ω ротором;
- 3) $x - y$, що обертається з кутовою частотою ω_1 магнітного поля статора.

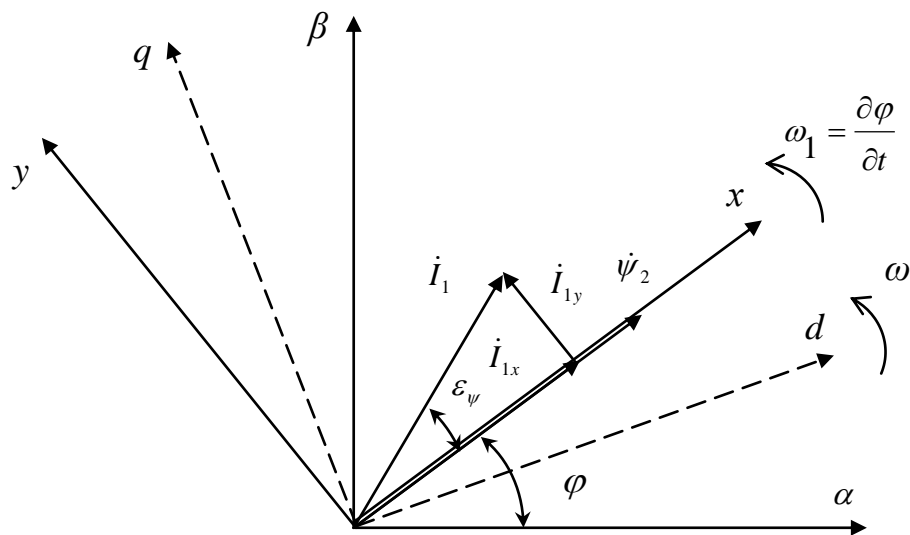


Рисунок 85 – Векторна діаграма струму статора I_1

і потокозчеплення ротора Ψ_2 в перетвореній ортогональній системі координат $x - y$

Такі перетворення дають можливість подати симетричну трифазну електричну машину двофазною, що значно спрощує математичний опис процесів електромеханічного перетворення енергії в електроприводах.

При синтезі систем керування частотним електроприводом, що забезпечують закон керування $\Psi_2 = const$, системи диференціальних рівнянь асинхронного двигуна перетворюють в ортогональну систему координат $x-y$.

Векторна діаграма струму статора I_1 і потокозчеплення ротора Ψ_2 у перетвореній ортогональній системі координат $x - y$ зображена на рисунку 85.

Проекція струму статора на вісь x є поточотвірною, $I_{1x} \equiv \Psi_2$.

Проекція струму статора на вісь y є моментотвірною, $I_{1y} \equiv M$.

Ідея векторного керування при законі керування $\Psi_2 = const$ ґрунтується на регулюванні складового струму статора $I_{1x} \equiv \Psi_2$.

Можливі 2 принципи векторного керування:

- 1) Регулюють модуль струму статора I_1 й кут ε_ψ ;
- 2) Регулюють проекції струму статора I_{1x} й I_{1y} .

Перший принцип не одержав поширення через складність виміру кута ε_ψ в динамічних режимах, через що в електроприводі виникають некеровані надструми й значні динамічні моменти.

Другий принцип керування використовується у всіх сучасних частотних електроприводах.

Для реалізації цього принципу керування необхідно спочатку трифазну систему струмів статора двигуна перетворити у двофазну, виділивши проекції струму статора на вісь x та y .

Потокозчеплення Ψ_2 можна виміряти за допомогою датчиків Холла, розташованих в основному магнітному полі АД ортогонально або визначити обчисленням за складовими струму статора.

У сучасних частотних електроприводах з векторним керуванням потокозчеплення й швидкість обчислюють за допомогою контролерів з алгоритмів, заснованих на різних непрямих методах з достатньою точністю.

3 Функціональна схема системи векторного керування

частотним електроприводом за законом $\Psi_2 = const$

с виміром швидкості

Векторна система керування за законом $\Psi_2 = const$ дає можливість одержати електромеханічні властивості АД аналогічні приводу постійного струму. При цьому збільшується швидкодія, значно підвищується надійність приводу.

Функціональна схема системи векторного керування частотним електроприводом за законом $\Psi_2 = const$ у координатах $x - y$ з виміром швидкості наведена на рисунку 86 [32].

На функціональній схемі позазначено:

АІН – автономний інвертор напруги із ШІМ;

ДС1 ... ДС3 – датчики струму статора;

М – виконавчий двигун;

ВР – датчик швидкості;

РШ – регулятор швидкості;

РП – регулятор потокозчеплення;

РС – регулятор струмів;

ПК1 – перетворювач трифазної координат в ортогональну двофазну $x - y$;

ПК2 – перетворювач ортогональної системи координат $x - y$ у трифазну;

БОП – блок обчислення потокозчеплення;

БО ω – блок обчислення ковзання.

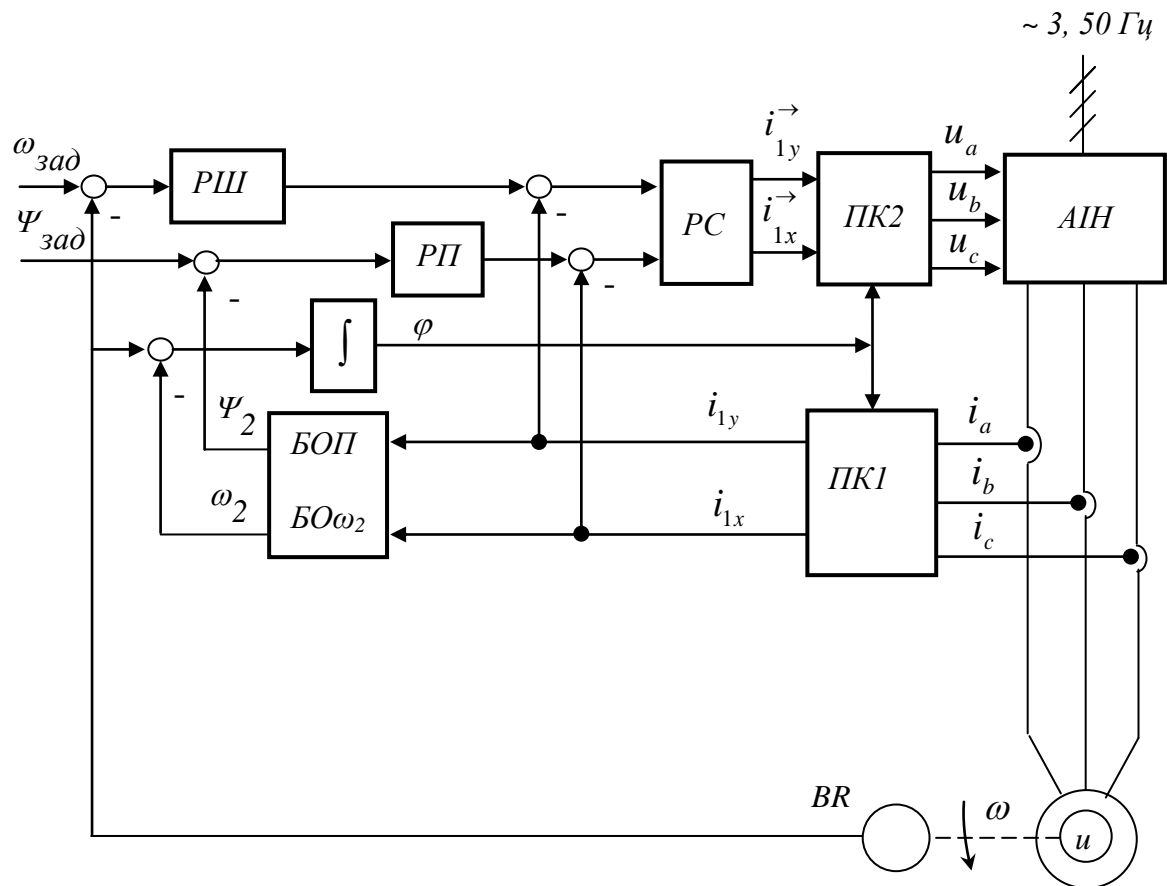


Рисунок 86 – Функціональна схема системи векторного керування частотним електроприводом за законом $\Psi_2 = const$ з вимірюванням швидкості

Струми статора в трьох фазах вимірюються датчиками струму й у координатному перетворювачі ПК1 перетворюються у двофазні, при цьому визначаються проекції струму статора на осі x та y .

У блоці БОП обчислюється поточне значення потокозчеплення Ψ_2 .

Система керування швидкістю побудована за двоканальним підпорядкованим принципом регулювання.

Підпорядкованими контурами керування є контур регулювання струму $i_{1\phi}$ і контур регулювання струму i_{1x} .

У такий спосіб система керування забезпечує стабілізацію заданого значення потокозчеплення Ψ_2 і регулювання динамічного моменту.

4 Структурна схема системи векторного керування в координатах $x - y$ частотного електропривода із законом $\Psi_2 = \text{const}$

За математичною моделлю системи керування й векторних діаграм встановлено [34], що:

- 1 Потокочеплення Ψ_2 пропорційне струму i_{1x} ($\psi_2 \equiv i_{1x}$).
- 2 Електромагнітний обертальний момент M пропорційний i_{1y} ($M \equiv i_{1y}$).
- 3 Струм $i_{1x} \equiv U_{1x}$.
- 4 Струм $i_{1y} \equiv U_{1y}$.

З урахуванням цих співвідношень і функціональної схеми СКЕП без обліку прямих і зворотних координатних перетворень, обчислень Ψ_2 й ω_2 структурна схема СКЕП є аналогічною структурі двозонного електропривода постійного струму (рис. 87).

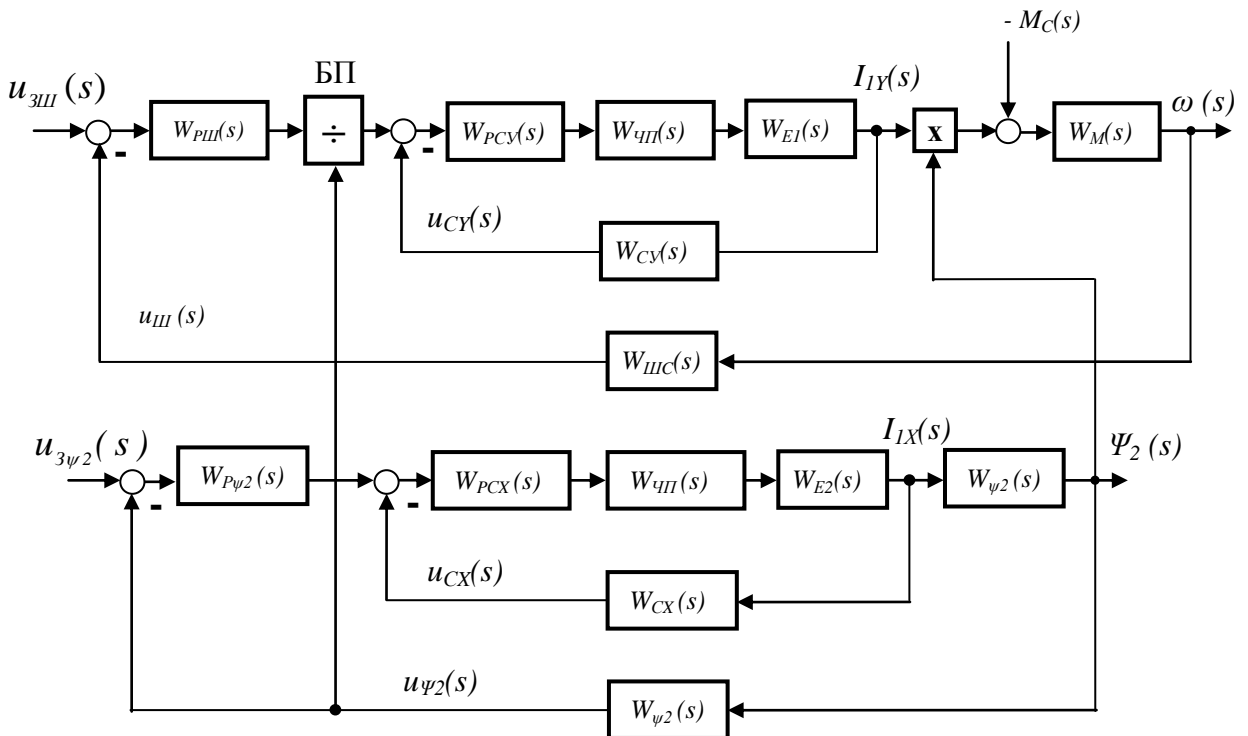


Рисунок 87 – Структурна схема системи векторного керування частотним електроприводом за законом $\Psi_2 = const$

5 Передатні функції елементів структурної схеми аналогової СКЕП з векторним керуванням

У зв'язку зі значним обсягом обчислювальних операцій аналогові система векторного керування частотним електроприводом не забезпечують необхідні показники якості регулювання швидкості.

Розрахунок параметрів аналогової системи керування доцільно робити з метою наступної параметризації цифрової системи керування.

З урахуванням високої роздільної здатності імпульсних засобів виміру технологічних параметрів електропривода, високою розрядністю й частотою генераторів синхроімпульсів сучасних мікропроцесорів погрішність параметризації керуючих контролерів приводів не перевищує 1%. Ця погрішність легко усувається в процесі налагодження системи керування.

Передаточна функція задавача інтенсивності:

$$W_{3I}(p) = \frac{k_{3I}}{T_{3I} p},$$

$$k_{3I} = 1,$$

$$\text{де } T_{3I} = \frac{\omega_H}{\varepsilon_{\text{прин}}};$$

Параметри каналу регулювання швидкості

Передатна функція ланцюга зворотного зв'язку за струмом i_{Iy} :

$$W_{CY}(p) = k_{CY}, \quad (227)$$

$$\text{де } k_{CY} = \frac{u_{3CY.HOM}}{\lambda \cdot I_{IY.HOM}}; \quad (228)$$

λ - припустима кратність струму;

$$I_{IY} = \frac{M_H}{3/2 k \psi_{2.HOM}}; \quad (229)$$

$$k = p_{\Pi} \frac{L_{12}}{L_2}; \quad (230)$$

$$\psi_{2.HOM} = L_2 I_{2.HOM} + L_{12} I_{I.HOM}, \quad (231)$$

де L_1, L_2 – наведені індуктивності обмоток статора й ротора відповідно;

L_{12} – взаємна індуктивність між статором і ротором;

$$L_1 = (1 + \sigma_1) L_{12}; \quad (232)$$

$$L_2 = (1 + \sigma_2) L_{12}; \quad (233)$$

σ_1, σ_2 – коефіцієнти розсіювання магнітних полів статора й ротора відповідно;

p_{II} – кількість пар полюсів двигуна;

$I_{1НОМ}, I_{2НОМ}$ – номінальні струми статора й ротора відповідно.

Передатна функція регулятора струму i_{Iy} :

$$W_{PCY}(s) = k_{PCY} + \frac{1}{T_{PCY} s}, \quad (234)$$

де k_{PCY} – статичний коефіцієнт передачі пропорційної частини III -регулятора струму.

$$k_{PCY} = \frac{T_1 R_{E1}}{2\tau k_{ЧПДy} k_{CY}}, \quad (235)$$

де T_1 – постійна часу статора;

$$T_1 = \frac{X_1 / 2\pi f_H}{R_{E1}}; \quad (236)$$

X_1 – індуктивний опір статора

$$R_{E1} = R_{E2} = R_1 + \frac{L_{12}^2}{L_2} R_2; \quad (237)$$

R_1, R_2 – активні опори обмоток статора й ротора відповідно при робочій температурі;

τ – некомпенсована постійна часу системи керування приводу;

$k_{\text{чп}}$ – еквівалентний статичний коефіцієнт передачі частотного перетворювача;

$$k_{\text{чп}} = \frac{f_{1H}}{u_{\text{зч.НОМ}}}, \quad (238)$$

де $u_{\text{зч.НОМ}}$ – номінальне завдання за частотою; для однозонних приводів $u_{\text{зч.НОМ}} = 10 \text{ В}$; Для ДВОЗОННИХ $u_{\text{зч.НОМ}} = 5 \text{ В}$

$T_{\text{рту}}$ – постійна часу регулятора струму;

$$T_{\text{PCY}} = \frac{2\tau k_{\text{чп}} k_{\text{CV}}}{R_{E1}}; \quad (239)$$

Передатна функція частотного перетворювача

$$W_{\text{чп}}(s) = \frac{k_{\text{чп}}}{T_{\text{чп}}s + 1}, \quad (240)$$

де $T_{\text{чп}} = \tau$.

Передатна функція електричної частини двигуна за каналом регулювання струму i_{1y}

$$W_{E1}(s) = \frac{1/R_{E1}}{T_{E1}s + 1}, \quad (241)$$

де

$$T_{E1} = \frac{L_1(L_1L_2 - L_{12}^2)}{R_1L_2^2 + L_{12}^2R_2}. \quad (242)$$

Передатна функція механічної частини двигуна

$$W_M(s) = \frac{1}{Js}. \quad (243)$$

Передатна функція ПИ-регулятора швидкості

$$W_{\text{ПИ}}(s) = k_{\text{ПИ}} + \frac{1}{T_{\text{ПИ}}s}, \quad (244)$$

$k_{PШ}$ – статичний коефіцієнт передачі регулятора швидкості

$$k_{PШ} = \frac{J k_{CY}}{6p_{II} \frac{L_{12}}{L_2} k_{Ш} \tau}, \quad (245)$$

де $T_{PШ}$ – постійна часу інтегруючої частини *PII*-регулятора швидкості

$$T_{PШ} = \frac{24p_{II} L_2 k_{Ш} \tau^2}{J k_{CY} L_{12}}, \quad (246)$$

$k_{Ш}$ – коефіцієнт зворотного зв'язку за швидкістю.

Передатна функція ланцюга зворотного зв'язку за швидкістю

$$W_{Ш}(s) = k_{Ш}, \quad (247)$$

де

$$k_{Ш} = \frac{u_{3Ш.НОМ}}{\omega_{НОМ}}, \quad (248)$$

$u_{3Ш.НОМ}$ – сигнал завдання номінальної швидкості.

Параметри каналу регулювання поточозчеплення ψ_2

Передатна функція ланцюга зворотного зв'язку за струмом

$$W_{CX}(s) = k_{CX}, \quad (249)$$

$$k_{CX} = \frac{U_{3CX.НОМ}}{I_{1X.НОМ}}; \quad (250)$$

$$U_{3CX.НОМ} = 10 \text{ В};$$

$$I_{1.НОМ} = \psi_{2НОМ} \frac{T_2}{L_2}; \quad (251)$$

$$T_2 = \frac{L_2}{R_2}. \quad (252)$$

де T_2 – постійна часу ротора.

Передатна функція регулятора струму i_{1x} є динамічною ланкою *III*-регулятора

$$W_{PCX}(s) = k_{PCX} + \frac{1}{T_{PCX} s}, \quad (253)$$

де k_{PCX} – статичний коефіцієнт передачі пропорційної частини *III*-регулятора струму

$$k_{PCX} = \frac{T_1 R_{E2}}{2\tau k_{ЧПХ} k_{СХ}}; \quad (254)$$

де $R_{E2} = R_{E1}$;

T_{PCX} – постійна часу інтегруючої частини *III*-регулятора струму i_{1x}

$$T_{PCX} = \frac{2\tau k_{ЧПХ} k_{СХ}}{R_{E2}}. \quad (255)$$

$$k_{ЧПХ} = \frac{f_{1H}}{u_{3П.НОМ}},$$

де $u_{3П.НОМ}$ – номінальне завдання за ПОТОКОМ; для ВСІХ приводів $u_{3Ч.НОМ} = 10B$;

Передатна функція ланцюга зворотного зв'язку з потокозчепленням

$$W_{\psi}(s) = k_{\psi}, \quad (256)$$

$$k_{\psi} = \frac{u_{3\psi.НОМ}}{\psi_{2НОМ}}; \quad (257)$$

де $u_{3\psi.НОМ}$ – сигнал завдання номінального потокозчеплення.

Передатна функція регулятора потокозчеплення

$$W_{P\psi_2}(s) = k_{P\psi_2} + \frac{1}{T_{P\psi_2} s}, \quad (258)$$

де $k_{p\psi_2}$ – статичний коефіцієнт передачі пропорційної частини III -регулятора потокозчеплення.

$$k_{p\psi_2} = \frac{T_2 k_{CX}}{T_\Psi k_\Psi L_{12}}, \quad (259)$$

де $T_\Psi = \tau$ (береться з урахуванням модульного оптимуму);

$$T_2 = \frac{L_2}{R_2}. \quad (260)$$

$T_{p\psi_2}$ – постійна часу III -регулятора потікозчеплення;

$$T_{p\psi_2} = \frac{T_\Psi k_\Psi L_{12}}{k_{CX}}. \quad (261)$$

Передатна функція електричної частини двигуна за каналом регулювання струму i_{lx}

$$W_{E2}(s) = W_{E1}(s) = \frac{1/R_{E2}}{T_{E2}s + 1}, \quad (262)$$

де $T_{E1} = T_{E2}$.

Передатна функція перетворення струму i_{lx} у потокозчеплення ψ_2

$$W_{\psi_2}(s) = \frac{L_{12}}{T_2 s + 1}. \quad (263)$$

6 Оцінка статичних і динамічних властивостей системи регулювання швидкості частотного електропривода за законом керування $\Psi_2 = \text{const}$ у середовищі MatLab

Оцінка статичних і динамічних властивостей системи регулювання швидкості виконується в режимах, зазначених у підрозділі 3.6.

На рисунку 88 як приклад дається структурна модель частотного електропривода головного руху токаного верстату із двозонним регулюванням швидкості за законом $\Psi_2 = \text{const}$ у середовищі MatLab.

На рисунку 89 наведені отримані за допомогою моделі графіки зміни швидкості ω , моменту M , потокозчеплення Ψ_2 при пуску, накиді та скиданні навантаження і гальмуванні електропривода при номінальному сигналі завдання швидкості.

7 Виконання самостійної роботи «Аналогові системи керування електроприводами змінного струму»

Завдання на проектування системи керування електроприводом.

1 КОМПЛЕКТНИЙ ЧАСТОТНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ

1.1 Принципова силова схема частотного електропривода.

2 ФУНКЦІОНАЛЬНА І СТРУКТУРНА СХЕМИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЧАСТОТНИМ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ

3.1 Опис роботи системи керування.

3.2 Передатні функції системи керування частотним електроприводом.

4 ОЦІНКА СТАТИЧНИХ І ДИНАМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ЧАСТОТНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА

4.1 Структурне моделювання двозонного електропривода у середовищі MatLab.

4.2 Електромеханічні перехідні процеси в електроприводі при пуску, накиді та скиданні навантаження, гальмуванні у всіх зонах регулювання швидкості.

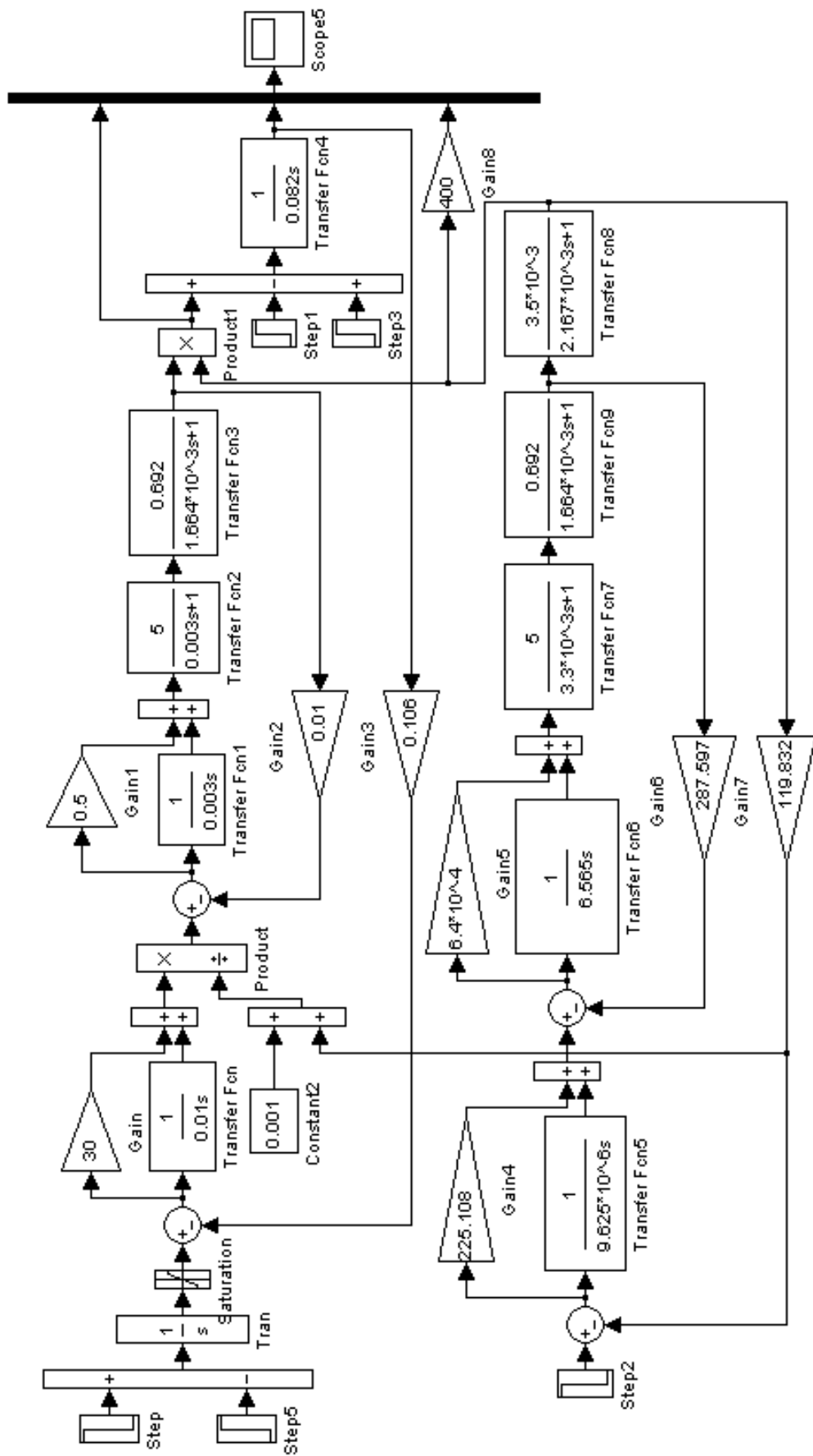


Рисунок 88 – Схема структурної моделі векторної системи керування у MatLab Simulink

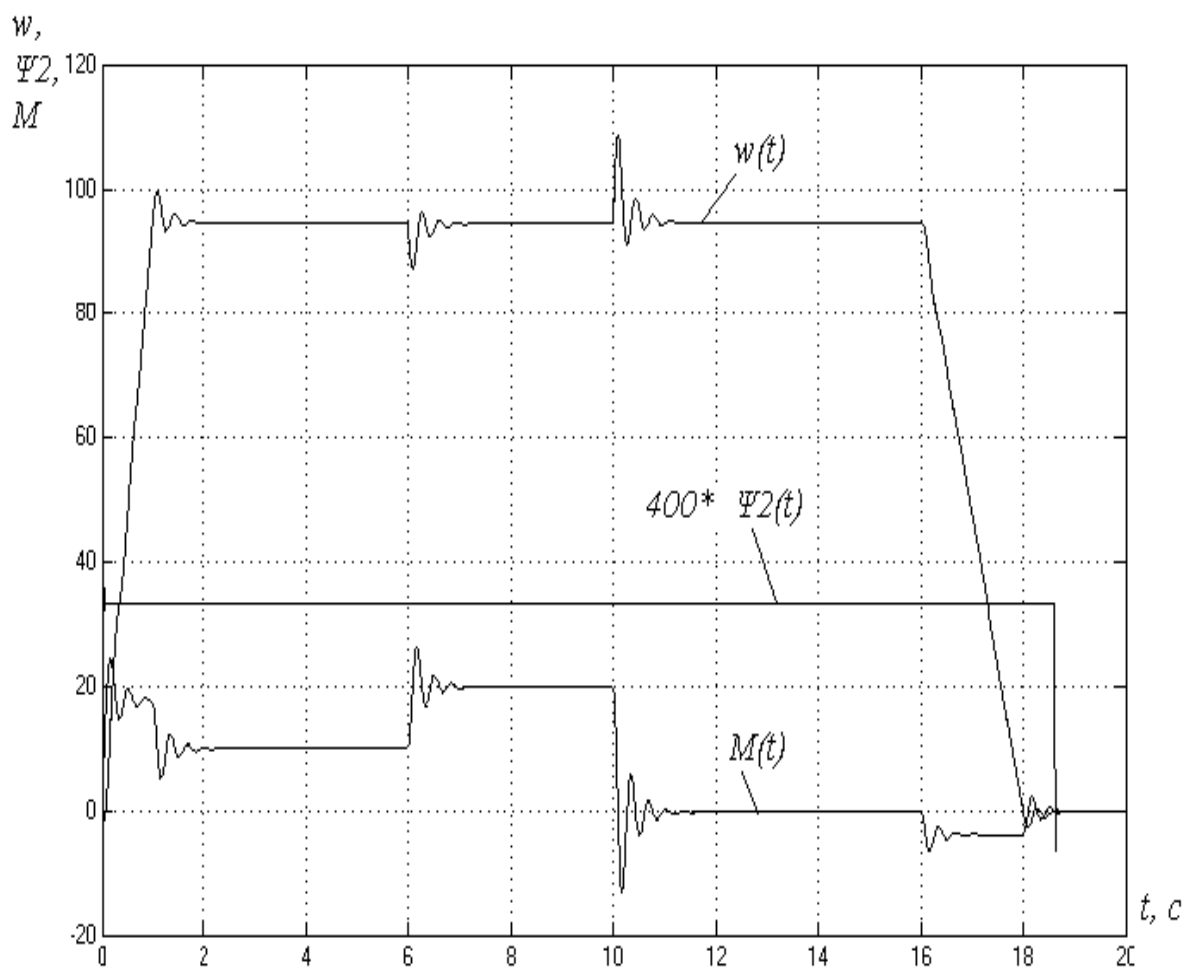


Рисунок 89 - Графики переходных процессов $\omega(t)$, $M(t)$, $f(t)$, $\Psi_2(t)$ в частотном электроприводе с законом управления $\Psi_2 = const$

Додаток Д. Технічні дані асинхронних двигунів

Таблиця Д.1 - Технічні дані асинхронних двигунів

	Дані/№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Тип двигуна із ПВ 25%	F011-6	F411-8	H112-6	H311-8	F012-6	F111-6	F112-6	F211-6	F311-6	F312-6
2	Номінальна потужність, кВт	1,7	18	5,3	9	2,7	4,1	5,8	9	13	17,5
3	Номінальна напруга, U_n , В	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380
4	Номінальний струм, А	5,8	45	14,0	24	8,2	10,9	15,5	23,3	32,3	40,5
5	Номінальна швидкість, об/хв	835	660	875	670	835	850	870	840	895	915
6	$\cos\phi_n/\eta_n$, %	0,74/60	0,77/78,5	0,81/71	0,77/74	0,77/65	0,83/69	0,8/71	0,81/72,5	0,8/76,5	0,82/80
7	Максимальний момент, Нм	41	657	155	324	66	103	172	216	382	589
8	Маховий момент GD^2 , кгм ²	0,08	2,15	0,26	1,10	0,11	0,18	0,26	0,44	0,85	1,2
9	$\cos\phi_{до}$ – режим КЗ	0,87	0,672	0,59	0,797	0,85	0,65	0,59	0,71	0,71	0,72
10	Статорне активне R_1 , Ом	5,78	0,327	1,67	0,875	3,63	2,1	1,28	0,755	0,48	0,268
11	Статорне реактивне x_1 , Ом	3,6	0,530	1,88	1,08	2,51	2,45	1,74	1,05	0,645	0,334
12	Роторне активне R_2 , Ом	7,45	0,507	2,17	1,01	5,38	2,34	2,17	1,62	0,8	0,477
13	Роторне реактивне x_2 , Ом	3,17	0,409	2,06	0,645	2,32	2,76	2,06	1,02	0,555	0,356
14	Передаточне число редуктора і	16,3	12,41	16,3	16,3	16,3	19,88	19,88	16,3	19,88	19,88
15	Момент інерції механізму $J_{ю}$, кг·м ²	5,31	144	6	265	64	144	78	112	212	180

Продовження таблиці Д.1

	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	F411-6	F412-6	F311-8	F312-8	F412-8	H111-6	H112-6	H211-6	H311-6	H312-6
2	27	36	9	13	26	3,5	5,3	8,2	13,0	17,5
3	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380
4	61	81	24	31,8	66	10,5	14	23,2	32,3	40,5
5	915	920	670	690	690	890	875	875	895	915
6	0,83/81	0,82/82	0,77/74	0,79/77	0,8/80	0,75/67	0,81/71	0,75/71	0,8/76,5	0,8/80
7	765	981	324	500	981	97	155	226	383	589
8	1,9	2,55	1,1	1,55	3	0,18	0,26	0,44	0,85	1,2
9	0,62	0,62	0,77	0,73	0,63	0,65	0,59	0,6	0,725	0,71
10	0,197	0,124	0,8	0,45	0,18	2,25	1,67	0,835	0,51	0,34
11	0,287	0,197	1,08	0,666	0,31	2,45	1,88	0,88	0,645	0,43
12	0,327	0,236	1,01	0,64	0,32	2,34	2,17	1,4	0,8	0,47
13	0,348	0,251	0,645	0,42	0,28	2,76	2,06	0,88	0,555	0,35
14	19,88	24,9	16,3	12,41	12,4	16,3	16,3	16,3	19,88	19,88
15	665	796	130	144	378	12	25	56	212	360

Продовження таблиці Д.1

	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	H411-6	H412-6	H311-8	H312-8	H411-8	H412-8	H511-8	H512-8	H512-8	H311-6
2	27	36	9	13	18	26	34	45	2,2	3,5
3	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380
4	61	81	24	31,8	45	66	79	104	6,8	9,3
5	915	920	670	690	680	690	680	680	930	920
6	0,83/81	0,82/82	0,77/74	0,79/78	0,77/78	0,75/80	0,82/80	0,81/81	0,75/72	0,8/76,5
7	765	981	324	500	657	981	1128	1470	59	98
8	1,9	2,55	1,1	1,55	2,15	3	4,3	5,7	0,25	0,46
9	0,651	0,62	0,797	0,764	0,67	0,655	0,51	0,5	0,6	0,725
10	0,219	0,133	0,875	0,51	0,352	0,202	0,164	0,103	2,23	1,24
11	0,271	0,197	1,08	0,666	0,507	0,313	0,232	0,172	4,19	2,98
12	0,328	0,36	1,01	0,64	0,507	0,325	0,307	0,237	3,11	2,22
13	0,346	0,25	0,645	0,42	0,409	0,27	0,464	0,366	1,78	0,872
14	19,88	24,9	16,3	16,3	12,41	16,3	12,41	12,41	19,88	24,9
15	665	400	140	795	190	576	554	205	37,5	144