

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ
Донецький державний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до лабораторних робіт з курсу

«ТЕОРІЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ»

(для студентів спеціальності 7.092208
«Електропривод і автоматизація промислових установок
та технологічних комплексів»)

Рекомендовано до видання
методичною комісією
спеціальності ЕАПУ
Протокол № 01/99 від 26.01.99 р.

Донецьк 1999

УДК 62-83 (071)

Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу «Теорія електроприводу» (для студентів спеціальності 7.092208) / Укл. А.О. Чепак, Ю.О. Нескородєєв . - Донецьк : ДонДТУ , 1999. - 47с.

Частина третя праці містить вказівки до лабораторних робіт по вивченню електромеханічних властивостей каскадних систем регулювання швидкості асинхронних двигунів, дослідженню динаміки електроприводів та визначенню допустимої тривалої потужності двигуна.

Укладачі : А. О. Чепак , доцент
 Ю. О. Нескородєєв , студент
Відп. за випуск : П. Х. Коцегуб , зав. кафедрою
Рецензент : М. З. Дуднік , професор

Рекомендовано до видання в електронному варіанті учбово-методичною радою ДонДТУ. Протокол № 4 від 6.04.99 р.

ЗМІСТ

Вступ	4
1. Лабораторна робота №10 . Дослідження регулювальних властивостей асинхронно-вентильного каскаду без зворотних зв'язків	5
2. Лабораторна робота №11 . Дослідження регулювальних властивостей асинхронного двигуна в системі АВК із зворотними зв'язками.....	13
3. Лабораторна робота №12 . Дослідження регулювальних властивостей асинхронного двигуна в системі вентильно-машинного електричного каскаду.....	17
4. Лабораторна робота №13 . Дослідження регулювальних властивостей асинхронного двигуна в електромеханічному вентильно-машинному каскаді	20
5. Лабораторна робота №14 . Експериментальне визначення моменту інерції електроприводу.....	24
6. Лабораторна робота №15 . Дослідження перехідних процесів при пуску двигуна постійного струму з незалежним збудженням	30
7. Лабораторна робота №16 . Дослідження перехідних процесів в системі генератор-двигун.....	35
8. Лабораторна робота №17 . Експериментальне визначення номінальної потужності двигуна тривалого режиму	41
Перелік посилань.....	47

ВСТУП

Дані методичні вказівки є переробленим та доповненим варіантом одиниць методвказівок, виданих доц. Р. О. Богдановим у 1987 році.

Робота містить третю, заключну частину лабораторного практикуму з курсу «Теорія електроприводу» загальним об'ємом 17 лабораторних робіт, методичні вказівки до яких випущені трьома окремими виданнями 1987...1989 р.р. У ній описані вісім лабораторних робіт (№№ 10 ... 17), присвячених вивченню статичних режимів каскадних систем регулювання швидкості асинхронних двигунів, дослідженню електромагнітних, електромеханічних та механічних перехідних процесів в електроприводах постійного струму, із застосуванням осцилографа, а також теплового перехідного процесу в асинхронному двигуні, із застосуванням електронного термометра, з метою визначення допустимої за нагрівом тривалої потужності електричної машини.

Для підвищення якості практичної підготовки студентів описи робіт містять загальні теоретичні положення, зміст досліджень, методичні вказівки до їх проведення, зміст звіту про роботу та контрольні запитання для самоперевірки отриманих знань. Для успішного засвоєння достатньо складних лабораторних робіт, описаних в методвказівках, студент повинен бути добре ознайомленим з принципами роботи каскадних систем, вільно володіти основними поняттями в галузях динаміки і теорії нагріву електричних машин. З метою попередньої теоретичної підготовки використовуються відповідні розділи лекційного курсу та доданий список рекомендованої літератури.

В розробці методвказівок приймав участь студент спеціальності «Системи програмного керування» Кельганкін М. В.

1 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 10

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕГУЛЮВАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ АСИНХРОННО-ВЕНТИЛЬНОГО КАСКАДУ БЕЗ ЗВОРОТНИХ ЗВ'ЯЗКІВ

Метою роботи є отримання залежностей $S(I_d)$ та $S(M)$ дослідним і розрахунковим шляхами асинхронно-вентильного каскаду (АВК) при різних кутах керування β .

1.1 Загальні положення

Принципова схема АВК [1] складається з таких елементів (рис. 1.1): асинхронного електродвигуна з фазним ротором, некерованного випрямляча $UZ1$, який служить для випрямлення струму ротора, джерела регульованої додаткової е.р.с., за чого використовується вентильний перетворювач (інвертор $UZ2$), що складається з керованих вентилів VS і трансформатора T . На схемі інвертор, виконаний за однофазною схемою (у відповідності до схеми лабораторного стенду). На практиці найчастіше використовують трифазні мостові схеми. В вентильних каскадах з проміжним колом постійного струму функції перетворення струму та енергії ротору чітко розмежовані поміж двома групами вентилів: вентиля VD працюють у випрямлюючому режимі, перетворюючи змінний струм ротору, що має частоту, пропорційну ковзанню двигуна, в постійний, вентиля VS працюють в режимі ведомого мережою інвертора, перетворюючи випрямлений струм ротору в змінний струм з частотою мережі.

Принцип дії АВК такий: при роботі електричної машини в режимі двигуна з частотою обертання нижче синхронної струм ротора випрямлюється за допомогою вентилів VD . В коло випрямленого струму запроваджена додаткова е.р.с., що являє собою середню випрямлену напругу інвертора (проти - е.р.с. інвертора). Випрямлена напруга ротора E_{d2H} зрівноважується проти - е.р.с. інвертора E_{di} , падінням напруги на активному опорі роторного контуру та падінням напруги, зумовленим процесом комутації вентилів.

На рис. 1.2 надана схема заміщення роторного кола асинхронного двигуна, що відповідає розглянутій принциповій схемі.

Замінюючи падіння напруги, зумовлене активним опором кола та комутацією вентилів, падінням напруги на еквівалентному опорі $R_{екв}$, можна записати:

$$E_{d2H}S = E_{di} + \Delta U_{B\Sigma} + I_d \cdot R_{екв} \quad , \quad (1.1)$$

звідки
$$I_d = \frac{(E_{d2H} \cdot S - E_{di} - \Delta U_{B\Sigma})}{R_{екв}} \quad ,$$

де E_{d2H} - випрямлена напруга ротора нерухомого двигуна ($S=1$);

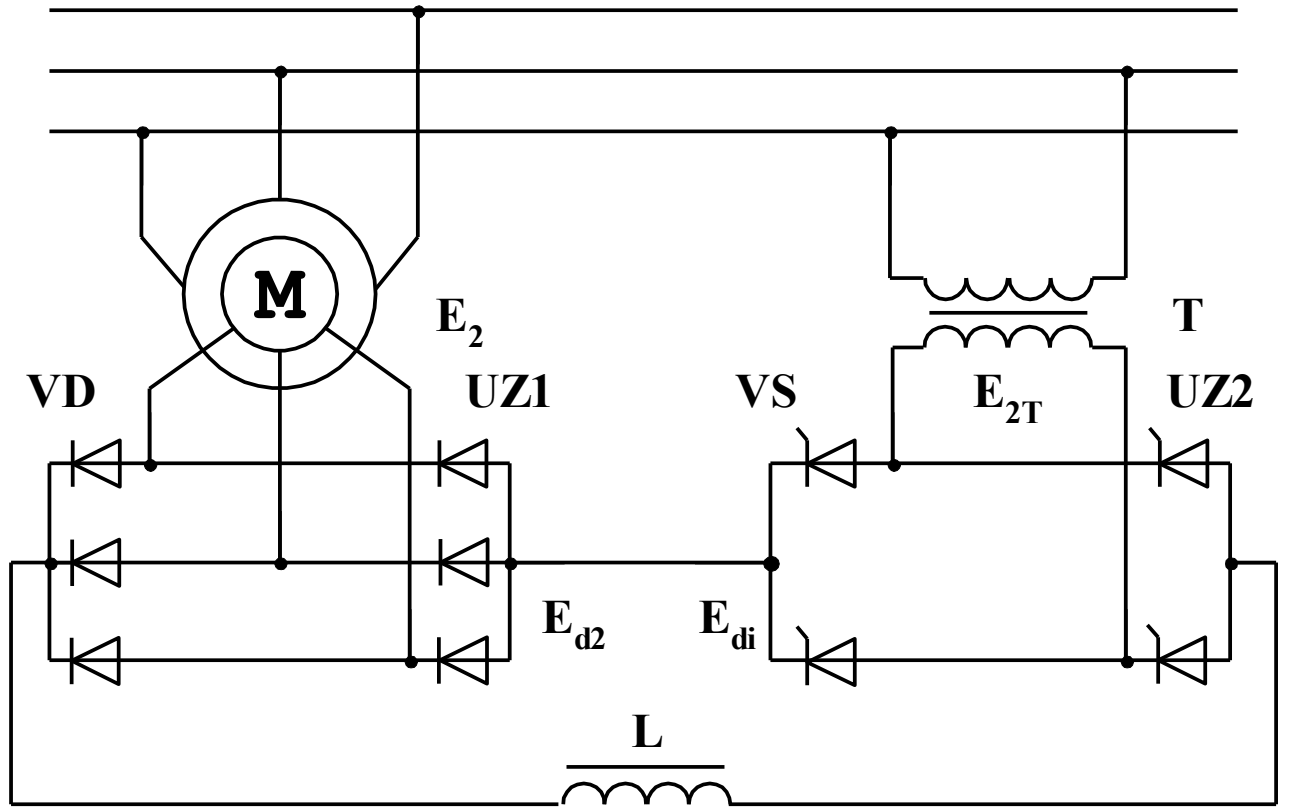


Рисунок 1.1 - Принципова схема АВК з проміжним колом випрямленого струму

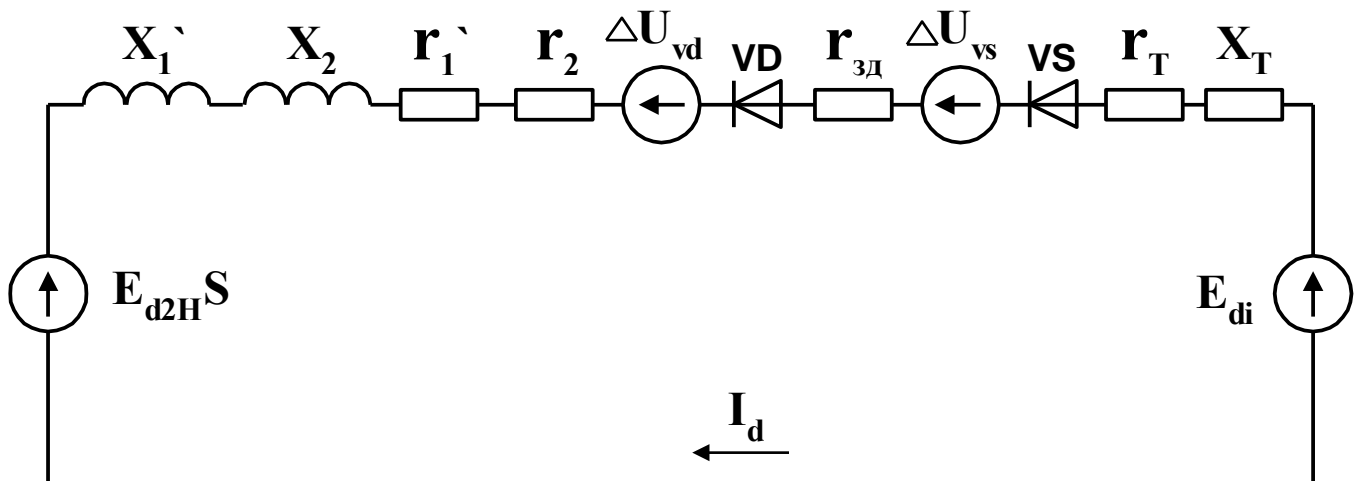


Рисунок 1.2 - Схема заміщення роторного кола асинхронно-вентильного каскаду

$\Delta U_{B\Sigma}$ - падіння напруги у вентилях;

I_d - випрямлений струм.

Момент, що розвивається асинхронним двигуном, пропорційний випрямленому струму ротора. Таким чином, регулювання останнього шляхом зміни величини проти-е.р.с. інвертора дозволяє регулювати значення моменту та швидкість обертання. Величина проти-е.р.с. регулюється зміною кута відкривання керування вентилів VS.

Якщо випрямлена проти-е.р.с. інвертора буде дорівнювати випрямленій напрузі ротора двигуна, то струм в колі ротора та момент двигуна будуть дорівнювати нулю. При зменшенні проти-е.р.с. інвертора струм в колі ротора зростає, момент двигуна збільшується, його швидкість обертання починає підвищуватися. Оскільки із збільшенням швидкості обертання випрямлена напруга ротора E_{d2} зменшується, то прискорення двигуна буде відбуватися доти, доки знову не задовільниться рівняння (1.1) напруг в роторному колі. При збільшенні проти-е.р.с. інвертора струм і момент зменшуються, швидкість обертання двигуна знижується. Із зменшенням швидкості обертання підвищується випрямлена напруга ротора. Струм ротора та момент двигуна збільшуються до тих пір, доки момент двигуна не буде дорівнювати моменту опору. При цьому двигун перейде до роботи в усталеному режимі з новим значенням швидкості обертання, якому відповідає рівність (1.1). При постійності керуючого впливу та змінненні моменту на валу двигуна перехідний процес протікає аналогічно викладеному. Зміна швидкості буде незначною.

У випадку зменшення проти-е.р.с. інвертора до нуля швидкість обертання двигуна при номінальному навантаженні зростає до $(0.8 \dots 0.9)\omega_0$. Відносно велике ковзання двигуна при відсутності проти-е.р.с. пояснюється наявністю в колі ротора додаткових опорів.

Вираз для моменту асинхронного двигуна в системі АВК має вигляд [3]:

$$M = \frac{k_1}{\omega_0} \left(I_d \cdot E_{d2} - \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot I_d^2 \cdot x_p \right),$$

де $E_{d2} = k_1 E_{2H} S$ - випрямлена напруга ротора, яка для мостової схеми дорівнює $1,35 E_{2H} S$;

x_p - індуктивний опір фази двигуна, приведений до обмотки ротора.

Випрямлений струм ротора залежить від різниці між випрямленою е.р.с. і проти-е.р.с. інвертора. При цьому є справедливим співвідношення:

$$E_{d2} = E_{di} + \Delta E = k_2 \cdot E_{2T} \cdot \cos\beta + \Delta E,$$

де E_{2T} - фазна напруга вторинної обмотки трансформатора інвертора;

k_2 - коефіцієнт схеми випрямлення інвертора;

β - кут випередження відкривання вентилів інвертора;

ΔE - падіння напруги в роторному колі.

Падіння напруги в роторному колі складається з чотирьох доданків:

а) падіння напруги , зумовленого перекриттям анодів вентиляльної групи роторного кола , яке дорівнює $3 \cdot X_p \cdot S \cdot I_d / \pi$;

б) падіння напруги , зумовленого перекриттям анодів трансформаторної групи вентилів , яке дорівнює $2 \cdot X_T \cdot I_d / \pi$ для однофазного перетворювача , де x_T - індуктивний опір фази трансформатора , приведений до вторинної обмотки ;

в) падіння напруги на активних опорах роторного кола , що дорівнює $(2 \cdot r_2 + 2 \cdot r_1' \cdot S + r_{3,d} + r_T) \cdot I_d$;

г) падіння напруги на вентилях роторної та інверторної груп .

Таким чином , $\Delta E = I_d \cdot \left(\frac{3 \cdot x_p \cdot S}{\pi} + \frac{2 \cdot x_T}{\pi} + 2 \cdot r_2 + 2 \cdot r_1' \cdot S + r_{3,d} + r_T \right) + 4 \cdot \Delta U_B$.

Позначивши $\frac{k_2 \cdot E_{2T}}{k_1 \cdot E_{2H}} = A$, $\frac{4 \cdot \Delta U_B}{k_1 \cdot E_{2H}} = B$, $\frac{2 \cdot r_1' \cdot \pi}{3 \cdot x_p} = C$,

$\left(\frac{2 \cdot x_T}{3 \cdot x_p} \right) + \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot r_2}{3 \cdot x_p} \right) + \left(\frac{\pi \cdot r_T}{3 \cdot x_p} \right) + \left(\frac{\pi \cdot r_{3,d}}{3 \cdot x_p} \right) = D$, отримаємо для випрямленого струму ротора

$$I_d = \left(\frac{\pi \cdot k_1 \cdot E_{2H}}{3 \cdot x_p} \right) \cdot \frac{[S - (A \cdot \cos \beta + B)]}{[S \cdot (1 + C) + D]} , \quad (1.2)$$

або , з урахуванням чисельних значень величин , що відповідають параметрам

$$\text{стенду} , I_d = 226 \cdot \frac{[S - (0,952 \cdot \cos \beta + 0,035)]}{(1,411 \cdot S + 1,913)} .$$

Для моменту двигуна відповідно будемо мати

$$M = \frac{1,91 \cdot E_{2H}^2}{\omega_0 \cdot x_p} \cdot \frac{S - S_0}{S \cdot (1 + C) + D} \left[1 - \frac{S - S_0}{S(1 + C) + D} \right] \quad (1.3)$$

або , з урахуванням чисельних значень величин ,

$$M = 164 \cdot \frac{S - (0,952 \cdot \cos \beta + 0,035)}{1,411 \cdot S + 1,913} \cdot \left[1 - \frac{S - (0,952 \cdot \cos \beta + 0,035)}{1,441 \cdot S + 1,913} \right] .$$

Наведені вирази правдиві для неперервних струмів .

На рис. 1.3 надані розрахункові 1 та експериментальні 2 залежності $S(I_d)$ при різних значеннях β . Крива 3 відповідає гранично-неперервному струмові .

Залежність гранично-неперервного струму від величини випрямленого струму та кута керування α визначається виразом :

$$I_{dnp} = I_{дн} \cdot \frac{U_{do}}{x_p + x_{3,d} + x_T} \cdot \left(1 - \frac{\pi}{p} \cdot \text{ctg} \frac{\pi}{p} \right) \cdot \sin \alpha , \quad (1.4)$$

де U_{do} - напруга перетворювача , що відповідає $S=1$;

$x_p + x_{3,d} + x_T$ - індуктивний опір роторного контуру .

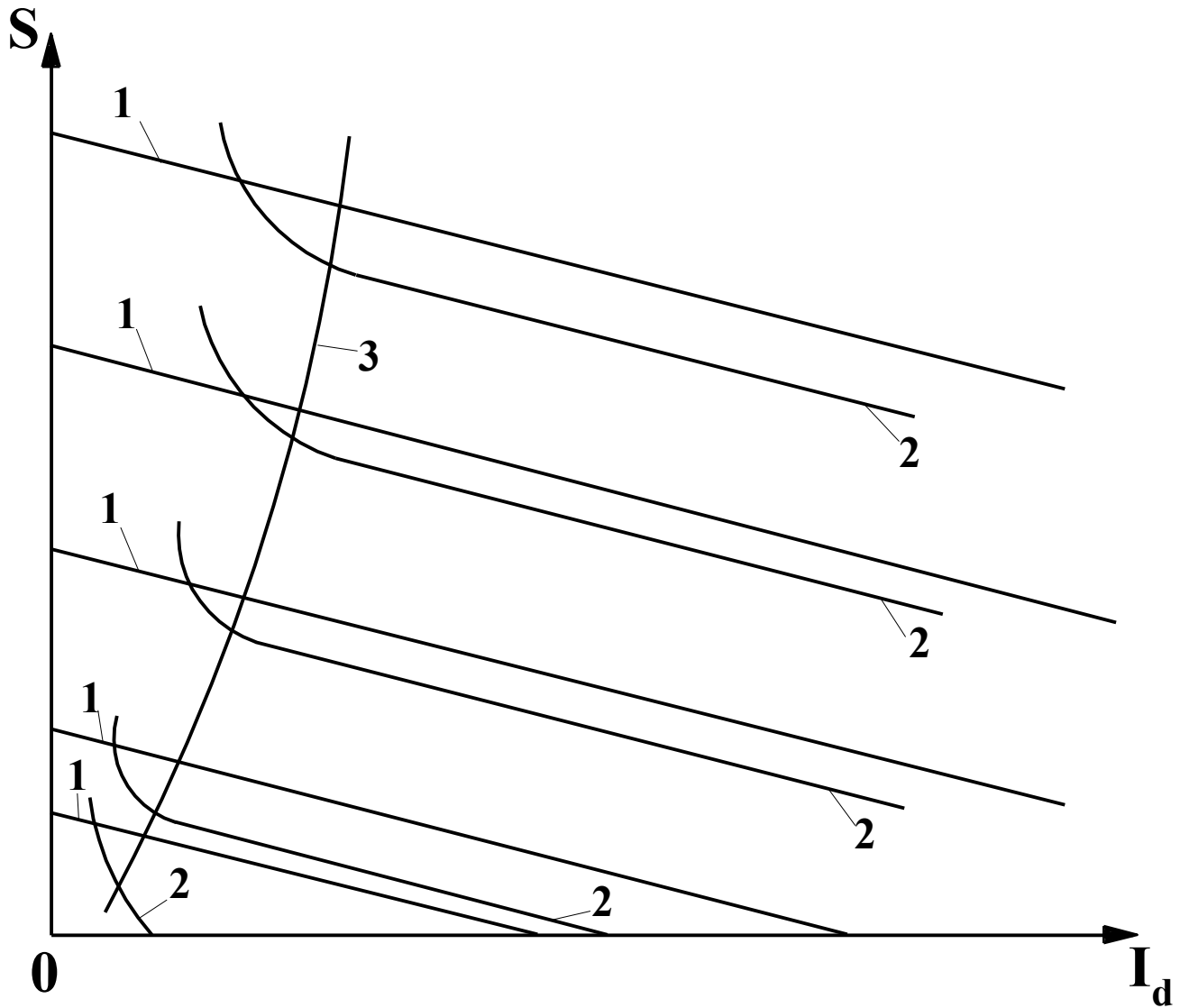


Рисунок 1.3 - Розрахункові та експериментальні графічні залежності $S(I_d)$ при різних значеннях β : 1-розрахункові; 2-експериментальні; 3-граничне значення переривчастого струму $I_{d\text{ гр}}$

Із врахуванням реальних параметрів стенду , $I_{дрп} = 12,5 \cdot \sin \alpha$.

1.2 Зміст роботи

- а) зібрати схему (рис. 1.4) ;
- б) зняти залежності $S(I_d)$ при різних кутах випередження відкривання тиристорів та побудувати відповідні характеристики ;
- в) розрахувати за отриманими залежностями $S(I_d)$ криві $S(M)$ та побудувати їх ;
- г) розрахувати та побудувати аналітичні залежності $S(I_d)$, $S(M)$;
- д) розрахувати та побудувати залежність $I_{дрп}(\beta)$;
- е) побудувати природну механічну характеристику двигуна ;
- ж) провести аналіз розрахункових і експериментальних характеристик .

1.3 Методичні вказівки

Перед початком виконання роботи ознайомитися зі схемою лабораторного стенду (див. рис. 1.4) , усвідомити призначення кожної електричної машини , електричних приладів і апаратів .

Після перевірки викладачем зібраної схеми та знань з порядку виконання дослідів проводиться включення лабораторного стенду :

- у початковому стані напруга завдання , що встановлюється потенціометрами RP1 та RP2 , повинна дорівнювати нулеві , що відповідає мінімальному куту β ; всі автомати треба вимкнути, ручку джерела регульованої напруги UV1 установити в крайнє ліве положення ;

- ввімкнути автомат QF1 і натиснути кнопку SB («Пуск») магнітного пускача KM1 , при цьому обмотки статора досліджуваного двигуна 33 підключаються до мережі ;

- ввімкнути автомат QF3 , інвертор UZ2 при цьому отримує живлення ;

- ввімкнути тумблер SA4 та автомат QF10 і , поступово збільшуючи напругу завдання потенціометром RP1 , установити потрібний кут β ;

- ввімкнути автомат QF6 (UV1 отримує при цьому живлення) і , поступово збільшуючи напругу на обмотці збудження L32 навантажувальної машини 32, навантажувати досліджуваний двигун 33 , фіксуючи для кожного значення струму навантаження I_d величину швидкості за допомогою таховольтметра TV (навантаження - динамічним гальмуванням) . Струм I_d вимірюється амперметром PA2 . Доцільно струм навантаження змінювати через 2 А , максимальне значення струму I_d не повинно перевершувати 25 А .

Після зняття залежності $S(I_d)$ при заданому куті β розвантажити двигун зменшенням струму збудження до нуля , після чого установити нове значення кута β і повторити дослід .

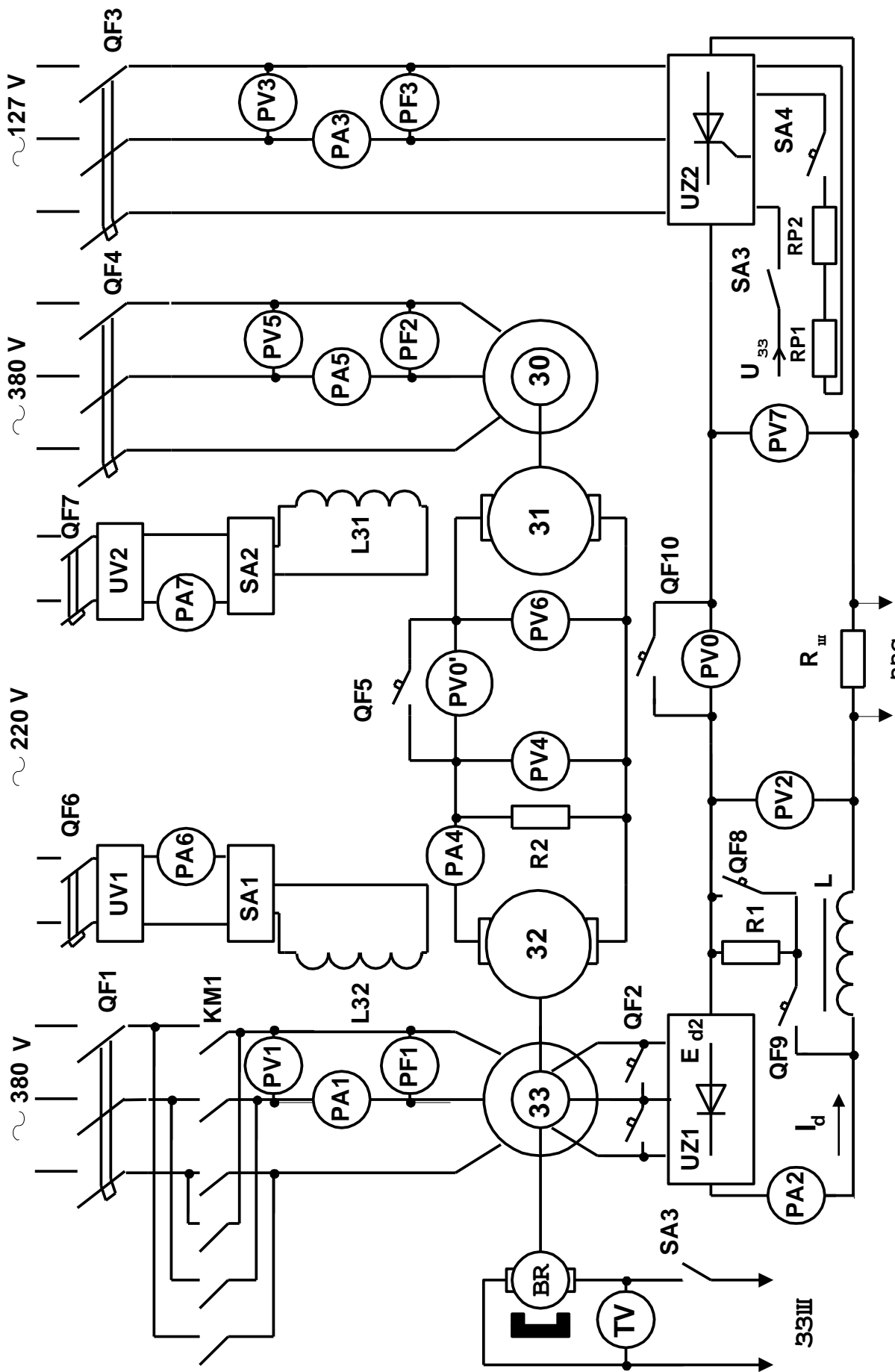


Рисунок 1.4 - Принципова схема асинхронно-вентильного каскаду

Закінчивши експериментальне зняття залежностей $S(I_d)$, знизити напругу задання до нуля та вимкнути автомати у такій послідовності : QF10 , QF1 , QF3, QF6 ; стенд в результаті знеструмується .

Розрахунки залежностей $I_d(S)$, $M(S)$, $I_{dгр}(\beta)$ виконуються за виразами (1.2), (1.3) , (1.4) . Розрахунки зручніше вести у відносних одиницях $I_d^* = I_d/I_{dH}$, $M^* = M/M_H$.

Природна механічна характеристика розраховується за відомим рівнянням

$$M = 2 \cdot M_k \cdot \frac{1 + a \cdot S_k}{\frac{S}{S_k} + \frac{S_k}{S} + 2 \cdot a \cdot S_k}, \quad \text{де} \quad a = \frac{r_1}{r_2} = \frac{1,54}{2,86} = 0,54.$$

Після закінчення роботи для перевірки правильності отриманих результатів необхідно побудувати експериментальні та розрахункові залежності $S(I_d)$, $S(M)$ та показати їх викладачеві .

1.4 Зміст звіту

У звіті необхідно привести :

- схему експериментальної установки ;
- технічні дані машин 32, 33 ;
- таблиці з експериментальними та розрахунковими даними ;
- графіки дослідних і розрахункових характеристик $S(I_d)$, $S(M)$;
- стислий аналіз результатів експерименту .

Дані вимірів і розрахунків подати у вигляді табл. 1.1 - 1.4 .

Таблиця 1.1 - Розрахункові дані залежностей $S(I_d)$ та $S(M)$ при різних кутах β

β , ел. гр.	$\cos\beta$	$S_0=0,952**\cos\beta+0,035$	$\omega_{xx},с^{-1}$	S	ω_c^{-1}	S-S ₀	$k=1,411S++1,913$	$N = \frac{S - S_0}{k}$	N(1-N)	$\frac{I_d}{I_{dH}} = 8,26N$	$\frac{M}{M_H} == 8,4N(1 - N)$
30											
50											
80											

Таблиця 1.2 - Експериментальні дані залежностей $S(I_d)$ та $S(M)$ при різних кутах керування β

β , ел. гр.	n , об/хв.	S	I_d , А	M , Н м	$\frac{I_d}{I_{dH}}$	$\frac{M}{M_H}$
30						
50						
80						

Таблиця 1.3 - Розрахункові дані залежності $I_{dгр}(\beta)$

β , ел гр.	$\alpha=180^\circ-\beta$	$\sin\alpha$	$I_{дрп}$, А	$\frac{I_{дрп}}{I_{дн}}$

Таблиця 1.4 -Розрахункові дані природної механічної характеристики двигуна

S						
M, Н·м						
M/M _н						

1.5 Контрольні запитання

1. В чому полягає принцип регулювання швидкості обертання двигуна в системі АВК?
2. Як залежить випрямлена е.р.с. від швидкості обертання двигуна ?
3. Як регулюється проти-е.р.с. інвертора ?
4. Чому із збільшенням кута керування β швидкість обертання двигуна зростає ?
5. Чому швидкість обертання двигуна в зоні малих навантажень різко збільшується ?
6. Від чого залежить величина гранично-неперервного струму і як її зменшити ?
7. Чому в інверторному режимі із збільшенням кута керування гранично-неперервний струм зменшується ?
8. В чому полягають достоїнності та недоліки регулювання швидкості обертання двигуна в системі АВК ?

2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 11

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕГУЛЮВАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА В СИСТЕМІ АВК ІЗ ЗВОТНИМИ ЗВ'ЯЗКАМИ

Метою роботи є отримання дослідним шляхом залежності $S(I_d)$ і розрахунок залежності $S(M)$ асинхронно-вентильного каскаду при наявності зворотного зв'язку за швидкістю та різних кутах керування β .

2.1 Зміст роботи

Робота виконується в послідовності:

- а) зібрати схему (рис 2.1) ;
- б) зняти залежності $S(I_d)$ при кутах керування $\beta=30$, 50 та 80 ел. град ;
- в) розрахувати залежність $S(M)$ при таких самих кутах β ;
- г) побудувати залежності $S(I_d)$ та $S(M)$;
- д) провести короткий аналіз отриманих результатів .

2.2 Методичні вказівки

Ознайомившись із схемою лабораторного стенду та з'ясувавши призначення кожної з електричних машин , електричних приладів і апаратів , зібрати схему (див. рис. 2.1) .

Після перевірки викладачем зібраної схеми та знань з порядку виконання експерименту приступити до проведення досліду . У початковому стані всі автомати та тумблери повинні бути вимкнені , рукоятки управління джерелом регульованої напруги UV1 та задавачів частоти обертання RP1 і RP2 - знаходитися у крайньому лівому положенні .

Для проведення досліду необхідно :

- ввімкнути автомат QF1 і натиснути кнопку «Пуск» магнітного пускача KM1 , при цьому обмотки статора досліджуваного двигуна 33 підключаються до мережі ;
- ввімкнути тумблер SA3 в положення «Зворотний зв'язок» ;
- ввімкнути тумблер SA4 та потенціометрами RP1 і RP2 установити потрібний кут керування ;
- ввімкнути автомат QF3 , інвертор при цьому підключається до мережі і двигун розгоняється до заданої швидкості ;
- ввімкнути автомат QF6 і , збільшуючи за допомогою UV1 напругу збудження навантажувальної машини 32 , навантажувати досліджуваний двигун 33 динамічним гальмуванням .

Вимірювання струму I_d (амперметр PA2) при навантаженні доцільно здійснювати через кожні 2А . Максимальне значення струму навантаження не повинно перевищувати 25А .

Для кожного значення навантаження фіксується за таховольтметром TV відповідне значення швидкості обертання двигуна .

Після зняття залежності $S(I_d)$ для заданого кута керування β розвантажити двигун , зменшуючи збудження навантажувальної машини до нуля , після чого установити нове значення кута β і дослід повторити .

Після завершення досліду розвантажити досліджуваний двигун , зняти напругу завдання , відключити стенд . Порядок вимикання автоматів : QF10 , QF1, QF3 , QF6 .

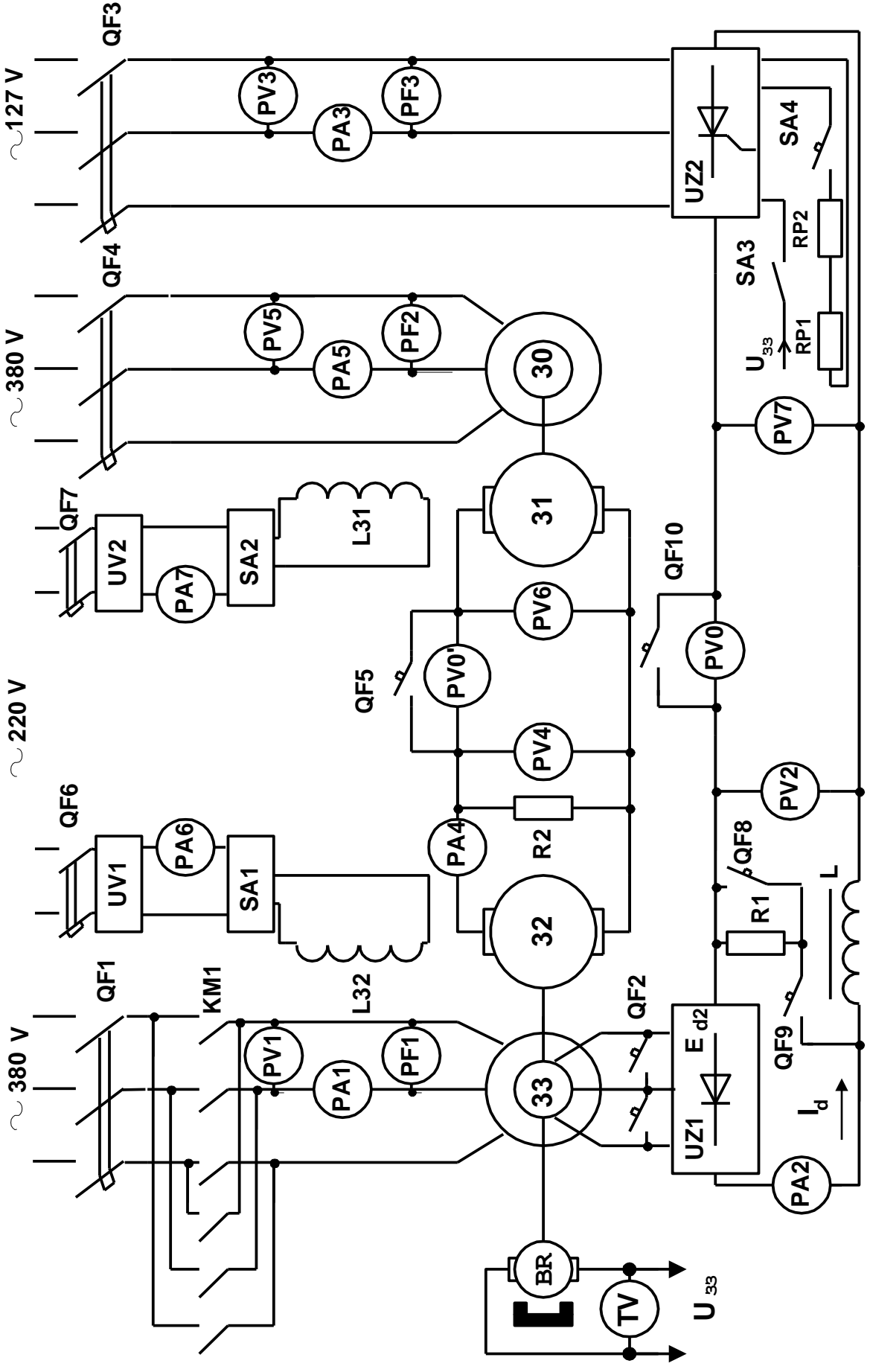


Рисунок 2.1 - Принципова електрична схема стенду АВК із зворотними зв'язками

Розрахунок залежності $S(M)$ на основі отриманої залежності $S(I_d)$ виконується за формулою [3]:

$$M = \frac{I_d}{\omega_o} \left(E_{d2H} - \frac{m \cdot x_p}{2 \cdot \pi} \cdot I_d \right), \quad (2.1)$$

де I_d - випрямлений струм роторного кола ;

$\omega_o = 157 \text{ c}^{-1}$ - синхронна кутова швидкість двигуна ;

$E_{d2H} = k_1 E_{2H} = 1,35 \cdot 84$ - випрямлена напруга ротора при $S=1$;

$x_p = 0,524 \text{ Ом}$ - індуктивний опір розсіяння фази двигуна , приведений до обмотки ротора ;

m - число пульсацій випрямленого струму при мостовій схемі випрямляча . З урахуванням чисельних значень величин вираз (2.1) приймає вигляд

$$M = 0,722 \cdot I_d - 0,0321 \cdot I_d^2. \quad (2.2)$$

Графіки залежностей $S(I_d)$ і $S(M)$ зручніше будувати у відносних одиницях:

$I_d^* = I_d / I_{dH}$, $I_{dH} = 28,5 \text{ А}$; $M^* = M / M_H$, $M_H = 19,5 \text{ Н·м}$.

Для порівняння необхідно будувати їх спільно з відповідними залежностями , отриманими без зворотних зв'язків в лабораторній роботі № 10 .

Після закінчення роботи графіки залежностей $S(I_d)$ і $S(M)$ треба показати викладачеві .

2.3 Зміст звіту

У звіті необхідно привести :

- * схему експериментальної установки ;
- * технічні дані машин 32 , 33 ;
- * розрахункові та експериментальні дані ;
- * графіки залежностей $S(I_d)$ і $S(M)$;
- * стислий аналіз результатів експерименту .

Дані вимірів і розрахунків привести в вигляді табл. 2.1 .

Таблиця 2.1-Експериментальні та розрахункові дані залежностей $S(I_d)$, $S(M)$

β ,ел. гр.	n , об/хв.	S	I_d , А	I_d^*	M , Н·М	M^*
30						
50						
80						

2.4 Контрольні запитання

1. Поясніть дію негативного зворотного зв'язку за швидкістю .
2. Як змінити жорсткість характеристики двигуна в системі АВК із зворотним зв'язком за швидкістю ?

3. Яку максимальну жорсткість характеристики можна отримати в системі АВК з негативним зворотним зв'язком за швидкістю ?
4. Чому при великих кутах керування β жорсткість характеристик знижується ?
5. Які максимальний та мінімальний кути керування припустимі в системі АВК і чому ?

3 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 12

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕГУЛЮВАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА В СИСТЕМІ ВЕНТИЛЬНО-МАШИННОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО КАСКАДУ

Метою роботи є експериментальне зняття електромеханічних та отримання механічних характеристик асинхронного двигуна в системі вентильно-машинного електричного каскаду (ВМЕК) при різних значеннях керуючого впливу .

3.1 Зміст роботи

- а) зібрати схему (рис. 3.1) ;
- б) зняти залежність $S(I_d)$ при значеннях додаткової е.р.с. , відповідних швидкостям ідеального холостого ходу : $\omega_{ох} = \omega_0 ; 0,75\omega_0 ; 0,5\omega_0 ; 0,25\omega_0$;
- в) розрахувати залежність $S(M)$ при заданих значеннях додаткової е.р.с. ;
- г) побудувати залежності $S(I_d)$ та $S(M)$. ;
- д) провести короткий аналіз отриманих результатів .

3.2 Методичні вказівки

Після вивчення схеми ВМЕК та з'ясування призначення вимірювальних приладів і комутаційних апаратів необхідно зібрати схему у відповідності до рис.3.1.

Після перевірки викладачем правильності монтажу схеми та знань з порядку виконання роботи приступити до проведення досліду .

У початковому стані всі автомати повинні бути вимкнені , а ручки керування UV - знаходитися у крайньому лівому положенні .

Порядок вмикання стенду такий :

- автоматом QF1 та пускачем KM1 підключити досліджуваний двигун 33 до мережі ;
- ввімкнути автомат QF4 , чим здійснюється підключення асинхронного генератора 30 до мережі ;

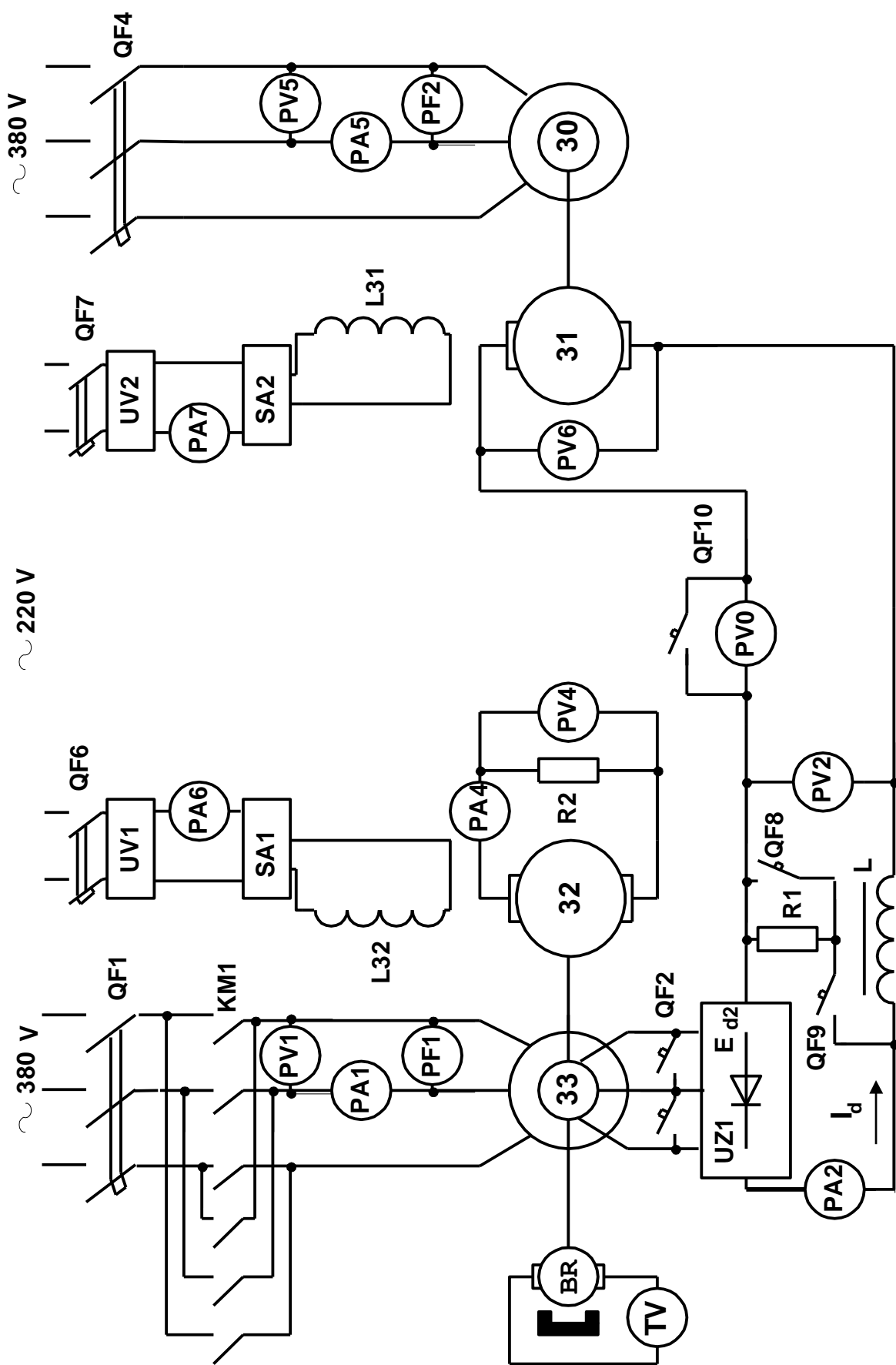


Рисунок 3.1 - Принципова електрична схема стенду електричного вентильно-машинного каскаду

- підключити UV2 до мережі за допомогою автомата QF7 для збудження машини постійного струму 31 . Змінюючи напругу збудження цієї машини , досягти рівності випрямленої е.р.с. роторного кола E_{d2} досліджуваного двигуна додаткової е.р.с. $E_{\text{дод}}$ машини 31 .

Різниця е.р.с. $E_{d2} - E_{\text{дод}}$ вимірюється вольтметром PV0 . Якщо при збільшенні додаткової е.р.с. різниця е.р.с. збільшується , необхідно змінити полярність напруги збудження машини 31 за допомогою перемикача SA2 . Добувши нульового значення різничевої е.р.с. , ввімкнути автомат QF10. При цьому в роторне коло досліджуваного двигуна впроваджується додаткова е.р.с. Повільно зменшуючи збудження машини 31 до нуля за допомогою UV2 , установити максимально можливу в каскаді швидкість ідеального холостого ходу досліджуваного двигуна ;

- ввімкнути автомат QF6 і , за допомогою UV1, збудити навантажувальну машину 32 . Повільно збільшуючи напругу збудження цієї машини , навантажити досліджуваний двигун та зняти залежність $S(I_d)$. Випрямлений струм I_d рекомендується змінювати приблизно через 2 А . Максимальний струм навантаження не повинен перевищувати 20 - 25 А. Струм навантаження вимірюється амперметром PA2 , а швидкість обертання двигуна - таховольтметром TV .

Після зняття залежності $S(I_d)$ при нульовому значенні додаткової е.р.с. розвантажити двигун та , повільно підвищуючи збудження машини 31 , установити потрібне значення додатковій е.р.с. і знову зняти залежність $S(I_d)$.

Після зняття залежності $S(I_d)$ при різних значеннях додаткової е.р.с. розрахувати залежність $S(M)$ для тих самих значень $E_{\text{дод}}$.

Електромагнітний момент досліджуваного асинхронного двигуна визначається виразами (2.1) і (2.2) .

Як випливає з наведених виразів , момент двигуна визначається струмом роторного кола і не залежить від величини додаткової е.р.с. Отже , з метою скорочення обчислень при розрахунку залежності $S(M)$, значення струму навантаження I_d при різних значеннях додаткової е.р.с. повинні бути однакові .

Графіки залежностей $S(I_d)$ і $S(M)$ побудувати у відносних одиницях :

$$I_d^* = I_d / I_{dH} , I_{dH} = 28,5 \text{ А} ; M^* = M / M_H , M_H = 19,5 \text{ Н}\cdot\text{м} .$$

3.3 Зміст звіту

У звіті необхідно привести :

- * схему експериментальної установки ;
- * технічні дані машин 30 - 33 ;
- * табл. 3.1 з експериментальними та розрахунковими даними ;
- * основні розрахункові формули ;
- * графіки залежностей $S(I_d)$ і $S(M)$;
- * стислий аналіз результатів експерименту .

Таблиця 3.1 - Дані експеримента та розрахунку

$\omega_{\text{ох}} , \text{с}^{-1}$	$\omega , \text{с}^{-1}$	S	$I_d , \text{А}$	I_d^*	M , Н·М	M^*
--------------------------------------	--------------------------	---	------------------	---------	---------	-------

ω_0						
$0,75\omega_0$						
$0,5\omega_0$						
$0,25\omega_0$						

3.4 Контрольні запитання

1. Як здійснюється регулювання швидкості обертання двигуна у ВМЕК?
2. Від чого залежить величина додаткової е.р.с. ?
3. Чим визначається жорсткість характеристики АД в ВМЕК ?
4. Чи впливає додаткова е.р.с. на значення критичного моменту ?
5. Який діапазон регулювання швидкості двигуна в системі ВМЕК ?
6. ВМЕК - це каскад постійного моменту чи постійної потужності ?
7. Накресліть енергетичну діаграму ВМЕК .

4. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 13

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕГУЛЮВАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА В ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОМУ ВЕНТИЛЬНО-МАШИННОМУ КАСКАДІ

Метою роботи є експериментальне зняття електромеханічних та отримання механічних характеристик двигуна в електромеханічному вентильно-машинному каскаді (ВМЕК) при різних значеннях додаткової е.р.с.

4.1 Зміст роботи

- а) зібрати схему (рис. 4.1) ;
- б) зняти залежність $S(I_d)$ при значеннях додаткової е.р.с. , відповідних швидкостям ідеального холостого ходу : $\omega_{ох} = \omega_0 ; 0,75\omega_0 ; 0,5\omega_0 ; 0,25\omega_0$;
- в) зняти залежність $E_{дод}(I_{зб})$ машини постійного струму 32 ;
- г) розрахувати залежність $S(M)$ при заданих значеннях додаткової е.р.с;
- д) надати короткий аналіз отриманих результатів .

4.2 Методичні вказівки

Спочатку необхідно вивчити схему стенду та з'ясувати призначення всіх його елементів , після чого - зібрати схему (рис. 4.1) .

Після перевірки викладачем зібраної схеми та знань по виконанню експерименту приступити до проведення досліду .

У початковому положенні усі автомати та вимикачі повинні бути вимкнені, а рукоятка UV1 - установлена в крайньому лівому положенні . Під час проведення досліду необхідно дотримуватися такої послідовності операцій :

– ввімкнути автомат QF1 і , натиснувши на кнопку SB « Пуск » магнітного пускача KM1 , підключити статор досліджуваної машини 33 до мережі ;

– ввімкнути QF9 та , після досягнення усталеної швидкості , ввімкнути QF8. Двигун переходить працювати на характеристиці , що близька до природної ;

– ввімкнути QF10 , а QF9 вимкнути , при цьому якір допоміжної машини 32 підключається до роторного кола ;

ввімкнути автомат QF6 та, поступово збільшуючи за допомогою UV1 напругу на обмотці збудження допоміжної машини , установити необхідну швидкість обертання досліджуваного двигуна. Навантажуючи двигун механічним гальмом YB , зняти точки характеристики $S(I_d)$.

Струм I_d рекомендується змінювати через 2 - 3 А , максимальне значення струму не повинно перевищувати 20 А .

Після зняття залежності $S(I_d)$ при даному значенні додаткової е.р.с. двигун треба розвантажити та, після установлення слідуочого значення додаткової е.р.с., повторити дослід .

Перед вимиканням стенду необхідно додатково зняти залежність е.р.с. $E_{\text{дод}}$ машини постійного струму від струму її збудження при $\omega = \text{const}$, для чого слід плавно знизити струм збудження до нуля , ввімкнути QF9 та вимкнути QF10 , а потім , збільшуючи струм збудження машини 32 , зняти залежність по окремих точках . Струм збудження вимірюється амперметром PA6 , е.р.с. - вольтметром PV4 , а швидкість обертання - таховольтметром TV .

Після цього відключити стенд автоматом QF1 та привести у попередній стан усі інші апарати .

Значення моменту каскаду $M_{\text{кас}}$ за відомим значенням I_d розраховується за виразом

$$M_{\text{кас}} = \frac{I_d}{\omega_o} \left(E_{d2H} - \frac{m \cdot x_p}{2 \cdot \pi} \cdot I_d + k \cdot \Phi_{mn} \cdot \omega_o \right) , \quad (4.1) \text{ де}$$

для стенду , що використовується :

$\omega_o = 157 \text{ c}^{-1}$ - синхронна кутова швидкість обертання АД ;

$E_{d2H} = 113 \text{ В}$ - випрямлена е.р.с. роторного кола при нерухомому двигуні ($S=1$) ;

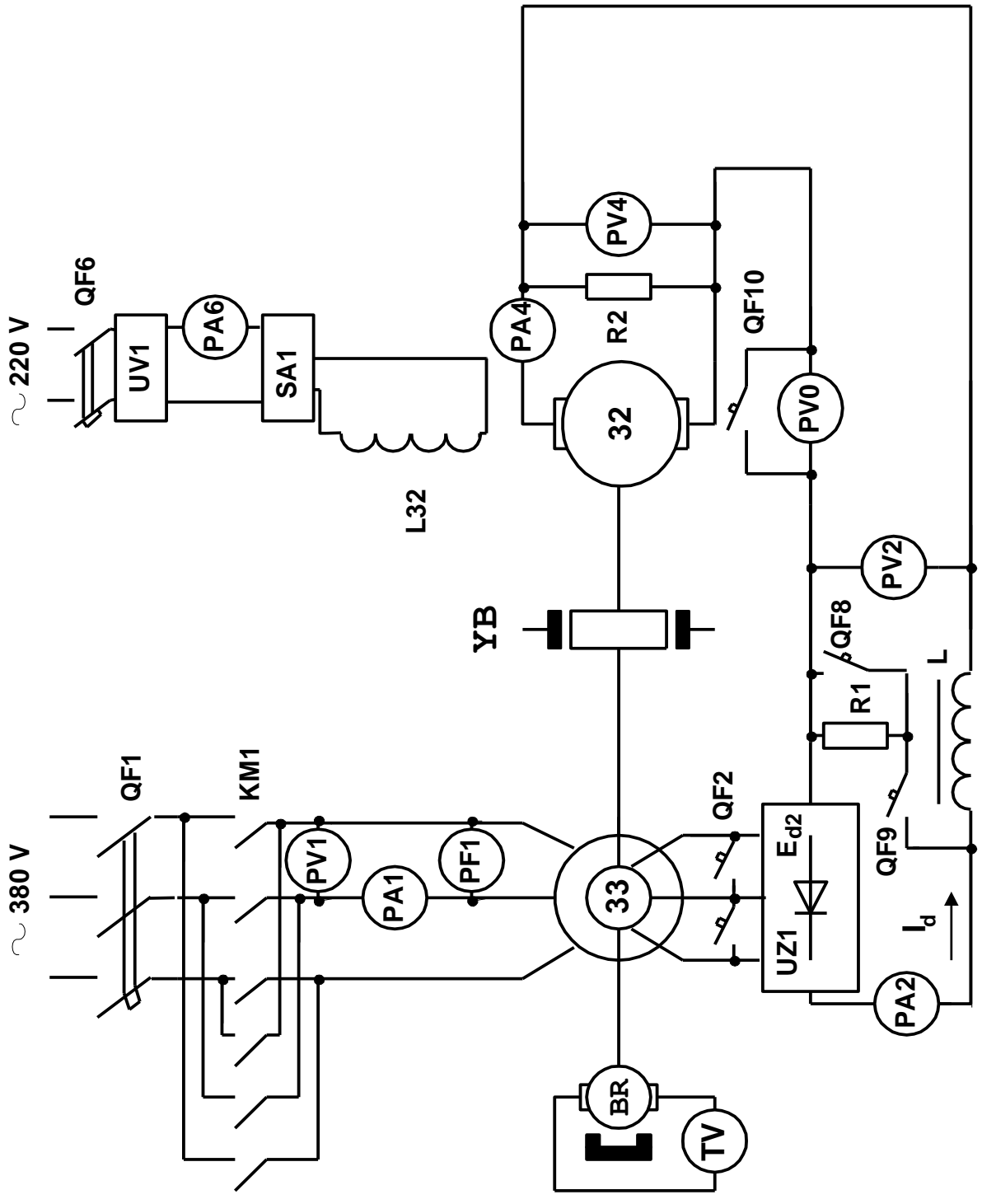


Рисунок 4.1 - Принципова електрична схема стенду електромеханічного вентильно-машинного каскаду

4.4 Контрольні запитання

1. Як впливає величина струму збудження машини постійного струму на швидкість обертання каскаду ?
2. Чи змінюється максимальний момент каскаду при зменшенні величини додаткової е.р.с. ?
3. Накресліть енергетичну діаграму каскаду .
4. Як змінюється жорсткість механічної характеристики АД у ВМЕМК ?
5. Від чого залежить швидкість ідеального холостого ходу каскаду ?

5 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 14

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ МОМЕНТУ ІНЕРЦІЇ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

Метою роботи є вивчення методу експериментального визначення моменту інерції електроприводу та набуття практичних навичок користування ним .

5.1 Загальні положення

Робота електропривода часто супроводжується зміною швидкості обертання його елементів , що може бути викликано зміненням моменту опору, коливаннями напруги та частоти мережі живлення , регулюванням швидкості тощо. Найбільші зміни швидкості обертання відбуваються при пуску, гальмуванні та реверсі електроприводу .

Зміни швидкості обертання протікають у часі і пов'язані із зміною кінетичної енергії системи . Як виходить із рівняння руху $M - M_c = J d\omega/dt$, тривалість перехідних процесів пропорційна величині приведенного моменту інерції J електроприводу . Через те , що перехідні процеси не є робочими , за їх рахунок підвищується цикл роботи та , відповідно , знижується продуктивність робочої машини . Тому цілком необхідно уміти оцінювати тривалість протікання перехідних процесів і вживати заходів щодо її скорочення .

Через те , що тривалість перехідних процесів залежить від величини моменту інерції , потрібно уміти визначати його з достатньою точністю .

Моментом інерції тіла відносно осі , що проходить через центр ваги , називають суму добутку мас окремих часток тіла на квадрати відстаней часток до осі обертання , узятої для всього тіла [5]:

$$J = \sum_{i=1}^k m_i \cdot \rho_i^2 .$$

В практичних розрахунках момент інерції тіла часто подається як добуток маси тіла на квадрат радіусу інерції : $J = m \cdot \rho^2$ кг·м² , де m - маса всього тіла , кг; ρ - радіус інерції , м .

Радіусом інерції ρ називають відстань від осі обертання , що проходить через центр ваги , на якому треба розташувати масу розглядаемого тіла , зосереджену в одній точці , що задовільняє рівності

$$\sum_{i=1}^k m_i \cdot \rho_i^2 = m \cdot \rho^2 .$$

Значення радіусів інерції найпростіших геометричних тіл можна знайти у відповідній довідковій літературі . Значення моментів інерції якорів і роторів електродвигунів , деяких механізмів наводяться у каталогах .

При відсутності каталожних даних момент інерції двигуна може бути визначений експериментально за методом крутильних коливань , маятникових коливань , методом падаючого вантажу , вільного вибігу та ін.

Для визначення моменту інерції потужних двигунів , а особливо системи двигун-механізм , користуються методом вільного вибігу (інші методи в цьому разі неприйнятні) .

Суть цього методу полягає в тому , що експериментальним шляхом визначаються залежність моменту сил опору від кутової швидкості обертання валу двигуна $M_c(\omega)$ і залежність кутової швидкості обертання валу двигуна від часу $\omega(t)$ після його відключення (крива вибігу) . Поскільки гальмування системи двигун-механізм проходить за рахунок сил опору , рівняння руху для цього випадку прийме вигляд

$$-M_c = J \cdot \frac{d\omega}{dt} . \quad (5.1)$$

Якщо рахувати , що за кінцевий малий відрізок часу Δt момент змінюється незначно , а кутова швидкість двигуна зменшується на $\Delta\omega$, то з достатньою для практики точністю рівняння (5.1) можна записати у вигляді $-M_c = J \cdot \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$, звідки

$$J = M_c \cdot \frac{\Delta t}{\Delta\omega} . \quad (5.2)$$

Вираз (5.2) дозволяє легко визначити величину моменту інерції системи при відомих залежностях $M_c(\omega)$ і $\omega(t)$.

5.2 Зміст роботи

- а) зібрати схему (рис. 5.1);
- б) зняти і побудувати дослідну залежність $M_c(\omega)$;
- в) зняти і побудувати криву вибігу $\omega(t)$;

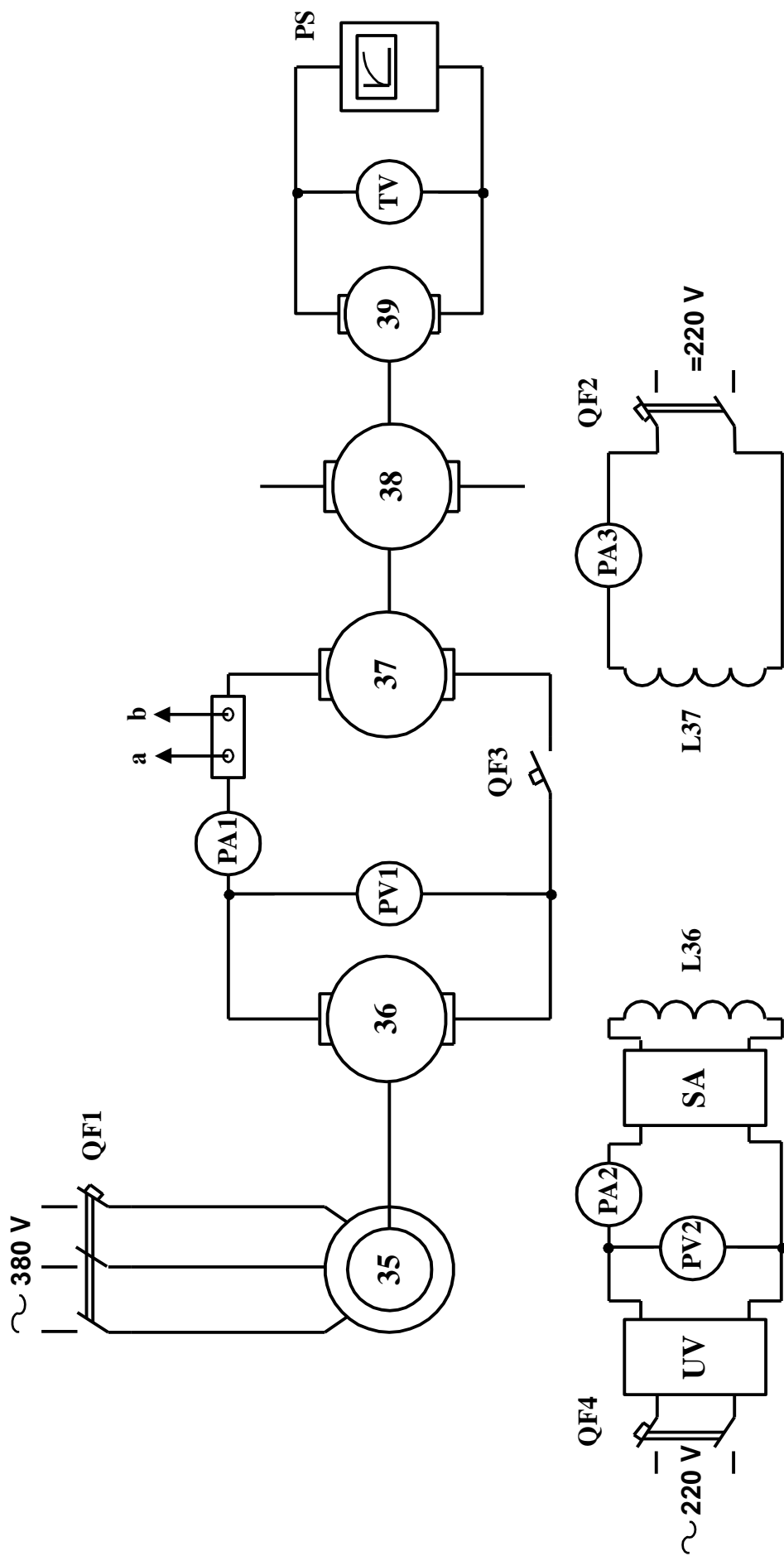


Рисунок 5.1 - Принципова електрична схема стенду

г) на основі одержаних залежностей визначити середнє значення моменту інерції системи .

5.3 Методичні вказівки

Перед початком роботи усі автомати повинні бути відключені , SA - в нейтральному положенні .

Включити автомат QF2 і переконались в тому , що по обмотці збудження L37 протікає струм (амперметр PA3) . Ввимкнути автомат QF4 . Автоматом QF1 ввимкнути привідний двигун 35 генератора 36 . З допомогою реверсуючого перемикача SA необхідно установити такий напрям обертання двигуна , щоб стрілка таховольтметра TV відхилялась направо . Для цього треба попередньо збудити генератор 36 (обертанням ручки UV) , установивши за вольтметром PV2 напругу 30 В . Збільшуючи далі струм збудження в обмотці L36 і , відповідно , кутову швидкість ω обертання машини 37 від 10 об/хв до $\omega_n = 1450$ об/хв , через кожний інтервал $\Delta\omega$ зняти показники приладів PA1 і TV; наслідки вимірювання помістити в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 - Експериментальні дані залежності $\omega(I_1)$

$\omega, \text{с}^{-1}$							
$I_1, \text{А}$							

При швидкості двигуна 37 , яка дорівнює ω_n , ввимкнути QF3 і з екрану електронного осцилографа PS скопіювати на кальці графік зміни кутової швидкості від часу - криву « вільного вибігу » $\omega(t)$. При цьому необхідно зафіксувати масштаби за часом і швидкістю . За даними табл. 5.1 розрахувати залежність $M_c(\omega)$, а за осцилограмою визначити залежність $\omega(t)$. Одержані дані помістити в табл. 5.2 і 5.3, на підставі яких побудувати відповідні графічні залежності (рис. 5.2) .

Таблиця 5.2 - Розрахункові дані залежності $M_c(\omega)$

$\omega, \text{с}^{-1}$					
$M_c = cI_1, \text{Н}\cdot\text{м}$					

Таблиця 5.3 - Дані залежності $\omega(t)$

$\omega, \text{с}^{-1}$				
$t, \text{с}$				

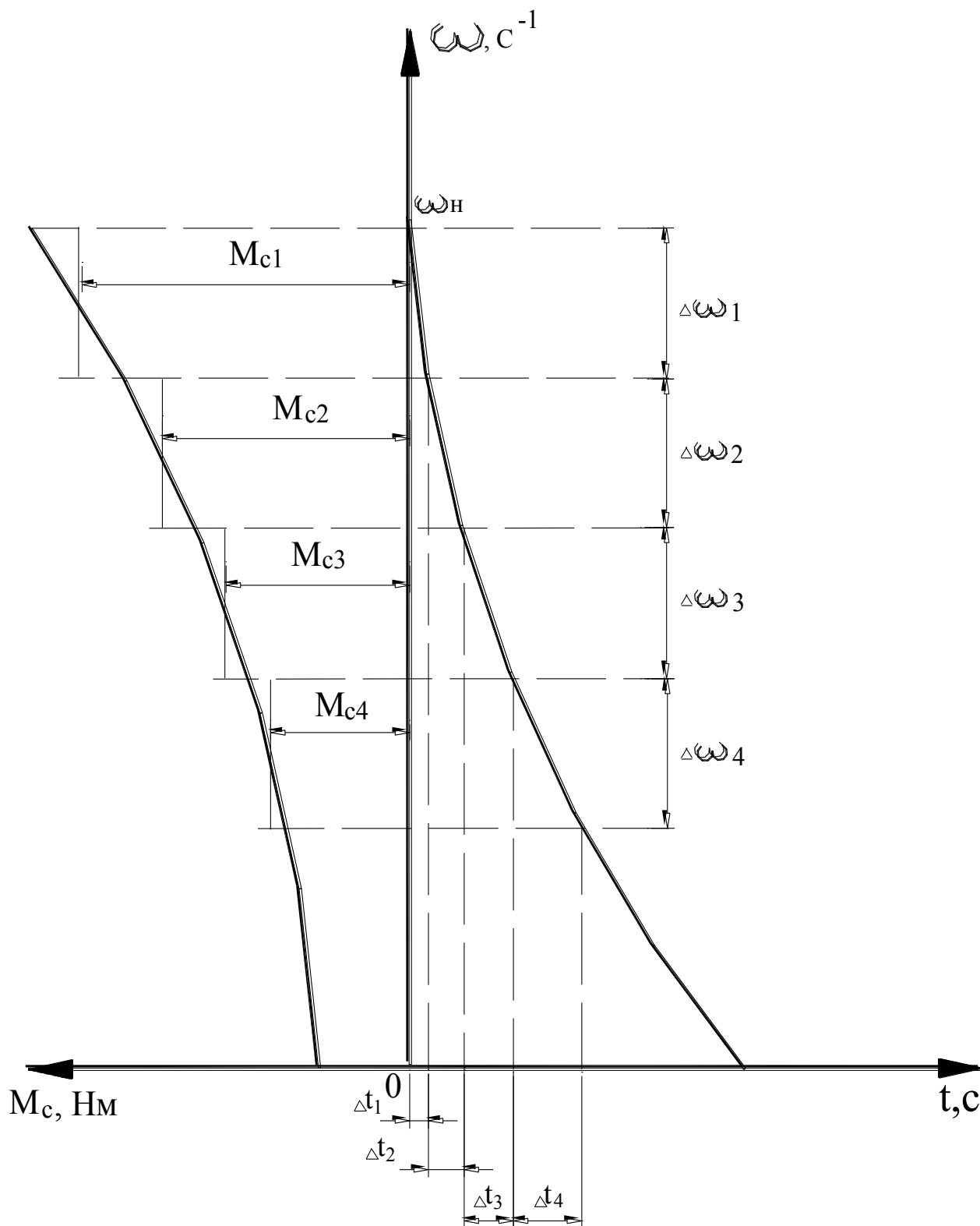


Рисунок 5.2 - Експериментальні графіки залежностей $M_c(\omega)$ і $\omega(t)$

Криву вибігу можна теж одержати без використання осцилографа за допомогою секундомера і таховольтметра TV. Для цього слід при вимкненні QF3 одночасно ввімкнути секундомер. При зниженні кутової швидкості з ω_n на $\Delta\omega$ необхідно вимкнути секундомер і за його показником визначити відповідний час Δt . Після цього потрібно повернути ручку UV в нульове положення, ввімкнути QF3 і довести кутову швидкість двигуна до $\omega_n - \Delta\omega$, вимкнути QF3 і ввімкнути секундомер, а коли кутова швидкість двигуна знизиться на $\Delta\omega$, вимкнути секундомер і зняти його показник. Таку послідовність операцій необхідно повторювати до повного зняття кривої вибігу (табл. 5.3).

Для підвищення точності визначення моменту інерції системи за формулою (5.2) необхідно розрахувати величину J для п'яти ділянок кривої вибігу і визначити середнє значення $J_{\text{сеп}}$:

$$J_i = \frac{M_{ci} \cdot \Delta t_i}{\Delta\omega_i}, \quad J_{\text{сеп}} = \frac{\sum_{i=1}^k J_i}{k},$$

де k - кількість розрахункових значень J, дорівнювана п'яти.

5.4 Зміст звіту

В звіті необхідно привести:

- схему експериментального стенду;
- паспортні дані машини 37;
- осцилограму кривої вибігу $\omega(t)$;
- таблиці 5.1 - 5.3 і графіки залежностей $M_c(\omega)$ і $\omega(t)$, з розділенням на інтервали;
- розрахунок величини J;
- висновки.

5.5 Контрольні запитання

1. Укажіть фізичну суть моменту інерції. Який аналог відповідає йому в системах з поступальним рухом?
2. Що таке «електромеханічна стала часу», від чого вона залежить?
3. Яку роль (позитивну чи негативну) грає момент інерції в електроприводі?

6 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №15

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ ПУСКУ ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ З НЕЗАЛЕЖНИМ ЗБУДЖЕННЯМ

Метою роботи є одержання експериментальним і розрахунковим шляхами кривих перехідного процесу при пуску двигуна постійного струму з незалежним збудженням .

6.1 Загальні положення

Електромеханічні перехідні процеси в електроприводах з машинами постійного струму описуються лінійними диференціальними рівняннями при таких допущеннях :

- індуктивність якорного кола приймається постійною ;
- не враховується вплив гістерезиса і вихрьових струмів ;
- ігнорується вплив реакції якорю ;
- магнітна система машини не насичена (лінійна крива намагнічування) .

З заліком зроблених допущень перехідні процеси при пуску двигуна незалежного збудження описуються наступною системою рівнянь [2] :

$$\left. \begin{aligned} U &= E + i_a \cdot r_a + L_a \cdot \frac{di_a}{dt}; \\ E &= k \cdot \phi \cdot \omega; \\ M - M_c &= J \cdot \frac{d\omega}{dt}; \\ M &= k \cdot \phi \cdot i_a; \end{aligned} \right\} \quad (6.1)$$

де U - напруга живлення якорного кола ;

E - е.р.с. двигуна ;

i_a - струм якорного кола двигуна ;

r_a - опір якорного кола ;

L_a - індуктивність якорного кола ;

k - конструктивна постійна машини ;

ω - кутова швидкість обертання ;

ϕ - магнітний потік машини ;

M - електромагнітний момент двигуна ;

M_c - приведений момент сил опору ;

J - приведений момент інерції приводу .

При реактивному характері моменту опору процес пуску двигуна складається з двох етапів . На першому етапі $M \leq M_c$, двигун нерухомий і струм якорного кола змінюється за законом

$$i_a = I_{кз} \cdot (1 - e^{-\frac{t}{T_a}}),$$

де $I_{кз}$ - струм короткого замикання ;

T_a - електромагнітна стала часу якорного кола , $T_a = \frac{L_a}{r_a}$.

Час , за яким струм якору двигуна досягне значення струму статичного навантаження $I_c = M_c / k \cdot \Phi$ (струм зрушення) , визначається за формулою

$$t_3 = T_a \cdot \ln \frac{I_{кз.}}{I_{кз.} - I_c} .$$

Після цього настає другий етап перехідного процесу - розгін двигуна до усталеної швидкості обертання ω_c . Диференційне рівняння для швидкості двигуна на другому етапі при $M_c = \text{const}$ одержимо , вирішуючи систему рівнянь (6.1) :

$$T_a \cdot T_m \cdot \frac{d^2 \omega}{dt^2} + T_m \cdot \frac{d\omega}{dt} + \omega = \omega_c , \quad (6.2)$$

де $T_m = \frac{J \cdot r_a}{(k \cdot \Phi)^2}$ - електромеханічна стала часу приводу .

Запишемо характеристичне рівняння , що відповідає рівнянню (6.2) :

$$T_a \cdot T_m p^2 + T_m p + 1 = 0 .$$

Корні цього рівняння

$$p_{1,2} = -\frac{1}{2 \cdot T_a} \pm \frac{1}{2 \cdot T_a} \cdot \sqrt{1 - \frac{4 \cdot T_a}{T_m}} .$$

Характер перехідного процесу залежить від співвідношення сталих T_a і T_m . При $T_m > 4 \cdot T_a$ корні речові і негативні :

$$p_{1,2} = \alpha_{1,2} < 0 .$$

Перехідний процес носить аперіодичний характер .

Вирази для швидкості двигуна і струму якору при цьому мають вигляд

$$\omega = \omega_c \cdot (1 + \frac{\alpha_2}{\alpha_1 - \alpha_2} \cdot e^{\alpha_1 t} - \frac{\alpha_1}{\alpha_1 - \alpha_2} \cdot e^{\alpha_2 t}) , \quad (6.3)$$

$$i_a = I_{кз.} \cdot \frac{(1 - \delta_c) T_m}{2 T_a \sqrt{(\frac{T_m}{2 \cdot T_a})^2 - \frac{T_m}{T_a}}} \cdot (e^{\alpha_1 t} - e^{\alpha_2 t}) + I_{кз.} \delta_c , \quad (6.4)$$

де $\delta_c = (\omega_o - \omega_c) / \omega_o$ - відносний перепад швидкості двигуна при навантаженні моментом M_c .

На рис. 6.1 приведені криві швидкості і струму при аперіодичному процесі розгону двигуна .

Якщо $T_M < 4T_a$, корні комплексно-спряжені з негативною реальною частиною:
 $p_{1,2} = -\alpha \pm j\Omega$, де $\alpha = \frac{1}{2T_a}$, $\Omega = \left(\frac{1}{2T_a}\right) \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot T_a}{T_M} - 1}$ - частота вільних коливань.

При цьому перехідний процес при пуску двигуна носить коливальний характер. В данному випадку вираження для швидкості і струму приймають вигляд

$$\omega = \omega_c - \frac{\omega_c}{\sqrt{1 - \frac{T_M}{4 \cdot T_a}}} \cdot e^{-\alpha \cdot t} \cdot \sin(\Omega t + \psi), \quad (6.5)$$

$$i_a = I_{к.з.} \cdot \frac{2 \cdot (1 - \delta_c)}{\sqrt{\frac{4 \cdot T_a}{T_M} - 1}} \cdot e^{-\alpha \cdot t} \cdot \sin \Omega t + I_{к.з.} \cdot \delta_c, \quad (6.6)$$

$$\text{де } \psi = \arctg \sqrt{\frac{4T_a}{T_M} - 1}.$$

На рис. 6.2 приведені відповідні криві.

6.2 Зміст роботи

- зібрати схему (рис. 6.3);
- зняти з екрана осцилографа залежності $\omega(t)$ і $i_a(t)$ при пуску двигуна;
- розрахувати аналітичні залежності $\omega(t)$ і $i_a(t)$ при пуску двигуна.

6.3 Методичні вказівки

Вивчивши інструкцію і познайомившись зі стендом, приступити до монтажу схеми (див. рис. 6.3). Перед зняттям кривих $\omega(t)$ та $i(t)$ необхідно підключити до мережі дволучовий електронний осцилограф, один його вхід з'єднати з клемми а - б шунта для реєстрації струму, а другий - з клемми с - d для реєстрації швидкості. В разі застосування однолучового осцилографа залежності $\omega(t)$ і $i(t)$ реєструються окремо.

При проведенні експерименту необхідно дотримуватись такого порядку:

- переконавшись в тому, що автомат QF3 виключений, запустити з допомогою автомата QF1 привідний двигун генератора 36;
- включити автомат QF4 і, установивши нульове значення струму збудження (амперметр PA2) генератора, включити автомат QF3. Збільшуючи струм збудження генератора, установити струм якорного кола 12...14 А

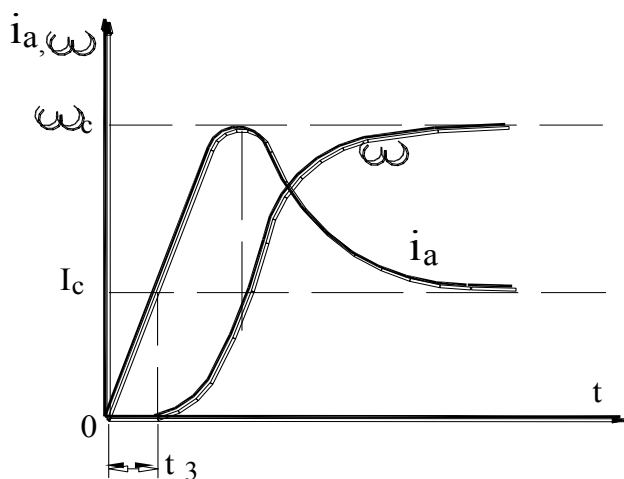


Рисунок 6.1 - Графіки струму і швидкості при пуску: $T_m > 4T_a$

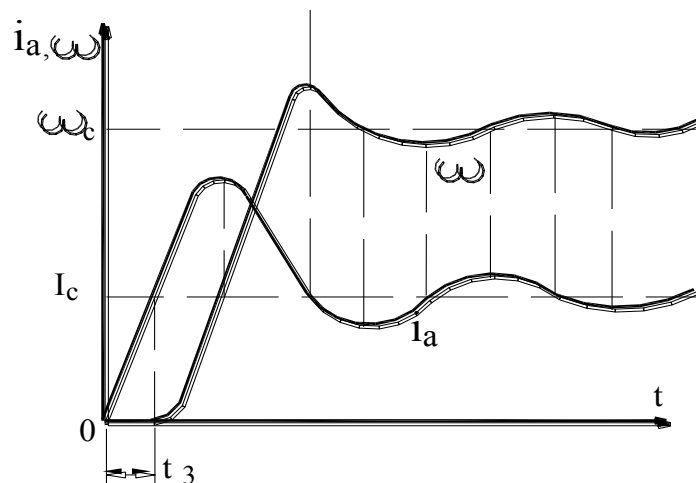


Рисунок 6.2 - Графіки струму і швидкості при пуску: $T_m < 4T_a$

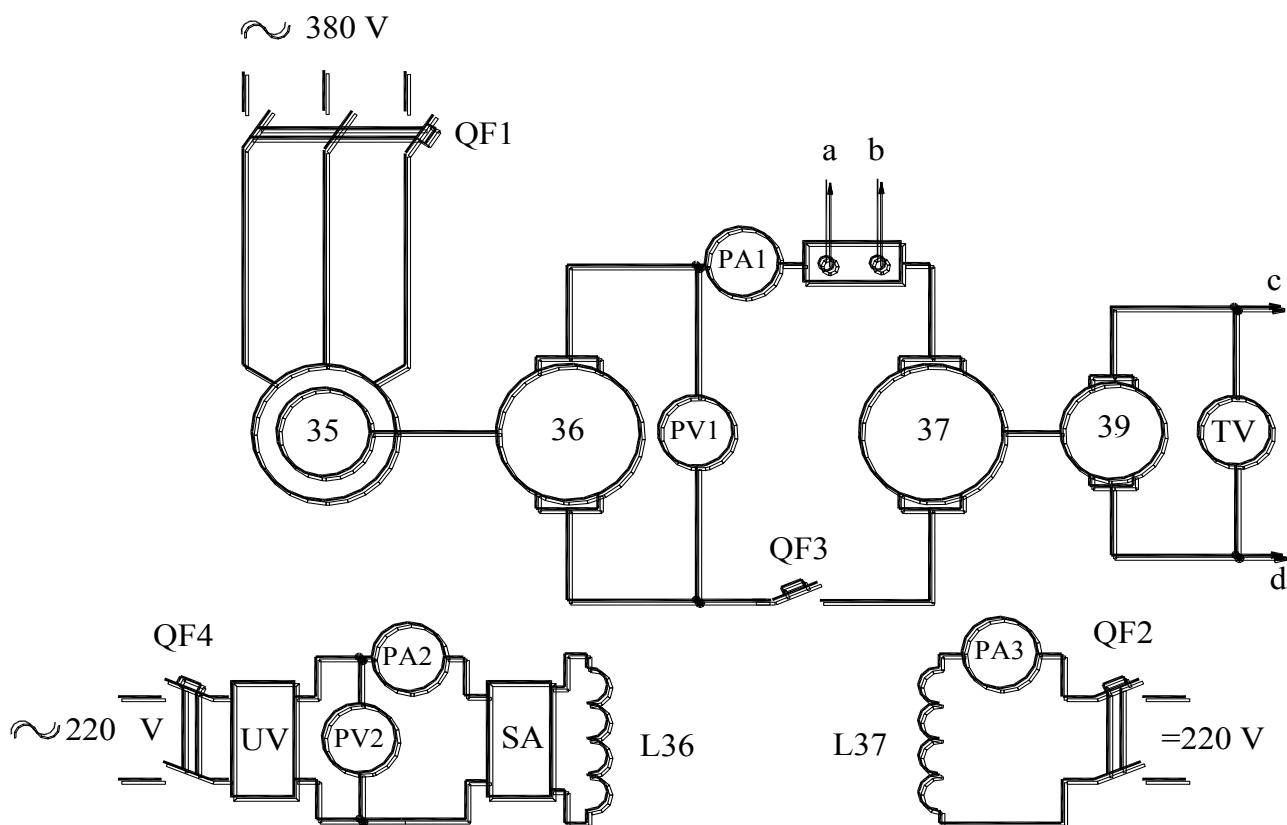


Рисунок 6.3 - Принципова електрична схема стенду

6.5 Контрольні запитання

1. Як залежить характер перехідного процесу від співвідношення сталих T_a та T_m ?
2. Від чого залежить максимум струму при аперіодичному і коливальному характерах перехідного процесу ?
3. Яким чином впливають параметри двигуна на частоту коливального перехідного процесу ?
4. Який характер має перехідний процес при $M < M_c$ (M_c - реактивний) ?
5. Що таке час запізнювання t_3 , від чого він залежить ?
6. Від чого залежить тривалість перехідного процесу ?

7 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №16

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ В СИСТЕМІ ГЕНЕРАТОР-ДВИГУН

Метою роботи є експериментальне дослідження перехідних процесів при пуску, гальмуванні та реверсу двигуна незалежного збудження в системі генератор-двигун (Г-Д).

7.1 Загальні положення

Перехідні процеси в системі Г-Д відбуваються при збудженому двигуні і обертаючомуся генераторі. Розглядаючи неусталені режими, будемо нехтувати вплив гистерезиса, вихркових струмів та індуктивності якорного кола. Магнітну систему генератора приймем ненасиченою.

В цьому випадку перехідні режими визначаються такою системою рівнянь [2]:

$$\left. \begin{aligned} e_r &= e_d + i_a \cdot r_{a\Sigma}; \\ e_d &= k \cdot \phi_d \cdot \omega; \\ M - M_c &= J \cdot \frac{d\omega}{dt}; \\ M &= k \cdot \phi_d \cdot i_a; \\ U_{зб.Г} &= i_{зб.Г} \cdot r_{зб.Г} + L_{зб.Г} \cdot \frac{di_{зб.Г}}{dt}, \end{aligned} \right\} \quad (7.1)$$

де e_r - е.р.с. генератора, яка є функцією струму збудження;

i_a - струм якорного кола системи Г-Д;

$r_{a\Sigma}$ - сумарний опір якорного кола;

e_d - проти-е.р.с. двигуна;

Φ_d - магнітний потік двигуна ;
 ω - кутова швидкість валу двигуна ;
 M, M_c - відповідно рушійний момент і приведений момент сил опору ;
 J - приведений момент інерції приводу ;
 $U_{зб.г}, i_{зб.г}$ - відповідно напруга і струм збудження генератора ;
 $r_{зб.г}, L_{зб.г}$ - опір і індуктивність обмотки збудження генератора .
 Рішення системи рівнянь (7.1) відносно швидкості дає

$$T_M \cdot \frac{d\omega}{dt} + \omega = \omega_o \cdot (t) - \Delta\omega_c, \quad (7.2)$$

де $T_M = J[r_{a\Sigma}/(k \cdot \Phi_d)^2]$ - електро механічна стала часу ;

$\Delta\omega_c = M_c \cdot r_{a\Sigma}/(k \cdot \Phi_d)^2$ - статичне падіння швидкості ;

$\omega_o(t) = \frac{e_r(t)}{k \cdot \Phi_d}$ - швидкість ідеального холостого ходу двигуна як функція часу.

Залежність $e_r(t)$ одержимо на підставі п'ятого рівняння системи (7.1) .

Розв'язавши це рівняння відносно $i_{зб.г}$, одержимо

$$T_{зб} \cdot \frac{di_{зб.г}}{dt} + i_{зб.г} = I_{зб.у}, \quad (7.3)$$

де $T_{зб} = L_{зб}/r_{зб}$ - електромагнітна стала часу кола збудження генератора ;

$I_{зб.у} = U_{зб.г}/r_{зб.г}$ - усталене значення струму збудження .

Вирішенням рівняння (7.3) з'являється :

$$i_{зб.г} = I_{зб.у} + (I_{зб.поч} - I_{зб.у}) \cdot e^{-\frac{t}{T_{зб}}},$$

де $I_{зб.поч}$ - початкове значення струму збудження .

Оскільки е.р.с. генератора пропорційна струму $i_{зб.г}$, можна записати :

$$e_r = E_{Г.у} + (E_{Г.поч} - E_{Г.у}) \cdot e^{-\frac{t}{T_{зб}}}.$$

Швидкість ідеального холостого ходу двигуна , відповідна е.р.с. генератора :

$$\omega_o(t) = \omega_o + (\omega_{o.поч} - \omega_o) \cdot e^{-\frac{t}{T_{зб}}}.$$

Підставивши залежність $\omega_o(t)$ в рівняння (7.2) , одержимо диференціальне рівняння для системи Г-Д відносно швидкості :

$$T_M \cdot \frac{d\omega}{dt} + \omega = \omega_c + (\omega_{o.поч} - \omega_c) \cdot e^{-\frac{t}{T_{зб}}}, \quad (7.4)$$

де $\omega_c = \omega_o - \Delta\omega_c$ - усталене (статичне) значення швидкості .

Вирішивши диференціальне рівняння (7.4) , одержимо [3]:

$$\omega = \omega_c + \frac{\omega_{\text{поч}} - \omega_c}{T_{36} - T_M} \cdot (T_{36} \cdot e^{-\frac{t}{T_{36}}} - T_M \cdot e^{-\frac{t}{T_M}}) . \quad (7.5)$$

Для струму якорного кола будемо мати :

$$i_a = I_c + I_{\text{к.з}} \cdot \frac{T_M}{T_{36} - T_M} \cdot \frac{\omega_{\text{поч}} - \omega_c}{\omega_{0,c}} \cdot (e^{-\frac{t}{T_M}} - e^{-\frac{t}{T_{36}}}) , \quad (7.6)$$

де I_c - струм якору , відповідний моменту M_c ;

$I_{\text{к.з}} = \frac{E_{\text{г.у}}}{r_{\text{а}\Sigma}}$ - струм короткого замикання ;

$\omega_{0,c}$ - усталене значення швидкості ідеального холостого ходу .

Залежність $i_a(t)$ має максимум при $t_M = T_{36} \cdot \ln m^{\frac{1}{m-1}}$:

$$I_{a,\text{max}} = I_c + I_{\text{к.з}} \cdot \frac{\omega_c - \omega_{\text{поч}}}{\omega_{0,c}} \cdot m^{-\frac{m}{m-1}} , \quad (7.7)$$

де $m = T_{36}/T_M$.

Одержані вирази (7.5) - (7.7) справедливі для усіх можливих режимів (пуск, гальмування , реверс) . На рис. 7.1 приведені криві перехідних процесів пуску , гальмування і реверсу при реактивному характері моменту опору .

7.2 Зміст роботи

- зібрати схему (рис. 7.2) ;
- зняти залежності $i_a(t)$ і $\omega(t)$ при пуску , гальмуванні та реверсі ;
- розрахувати аналітично залежності $i_a(t)$ і $\omega(t)$ для указаних в п.б режимів.

7.3 Методичні вказівки

Після вивчення інструкції і ознайомлення з випробувальним стендом приступити до монтажу схеми (див. рис. 7.2) . Зняття залежностей $i_a(t)$ та $\omega(t)$ проводити з допомогою дволучового осцилографа , один вхід якого підключити до клем а - б шунта для реєстрації кривої $i_a(t)$, другий - до клем с - d для реєстрації кривої $\omega(t)$.

Порядок проведення експерименту :

– ввімкнути автомат QF1 привідного двигуна 35 генератора ; автомат QF3 повинен бути вимкненим ;

– автоматом QF4 підключити обмотку збудження генератора 36 до мережі , заздалегідь установивши рукоятку джерела регульованої напруги UV в крайнє

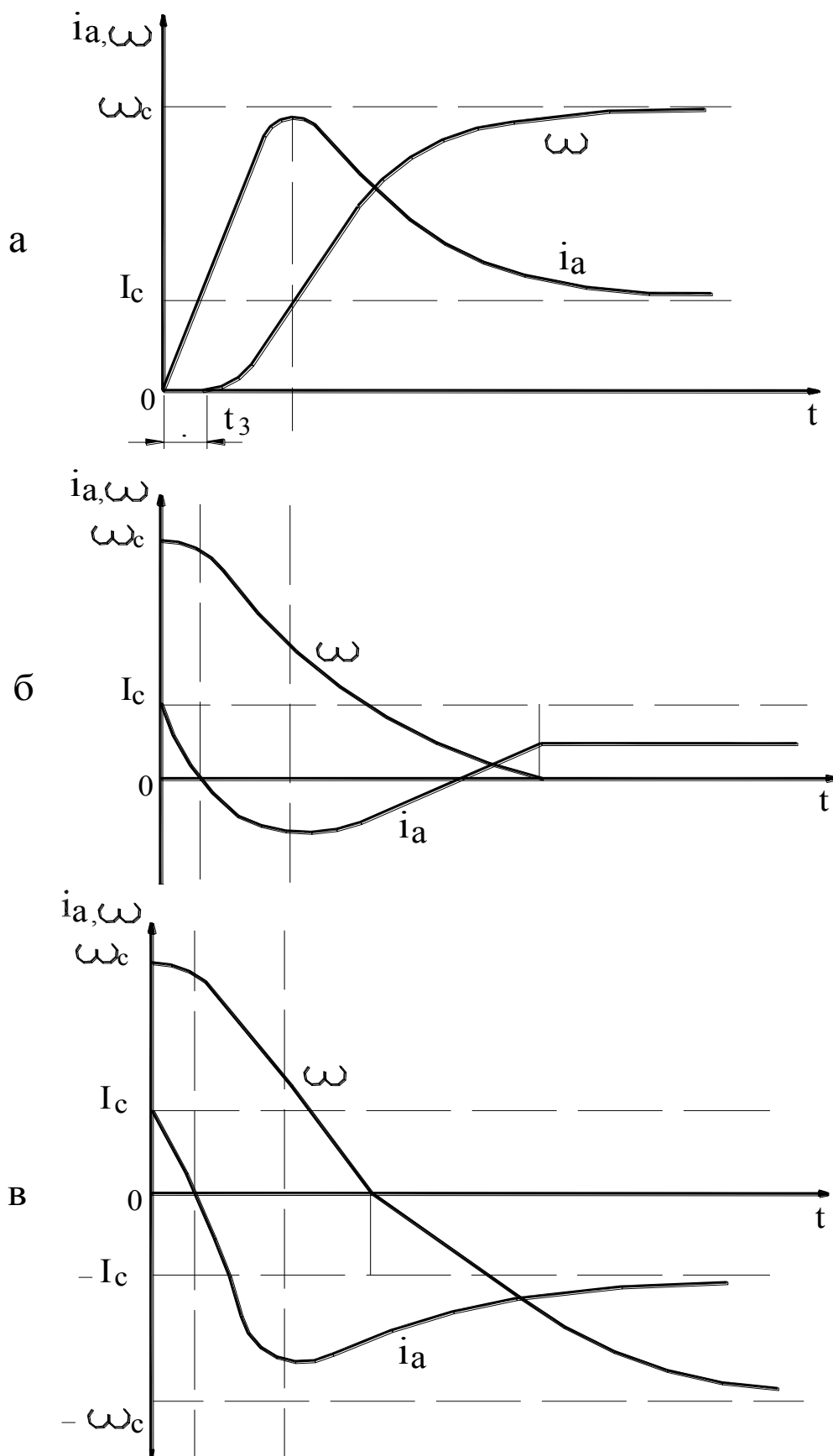


Рисунок 7.1 - Графіки зміни струму якору і швидкості двигуна в системі Г-Д при реактивному характері моменту опору: а-пуск; б-гальмування; в-реверс

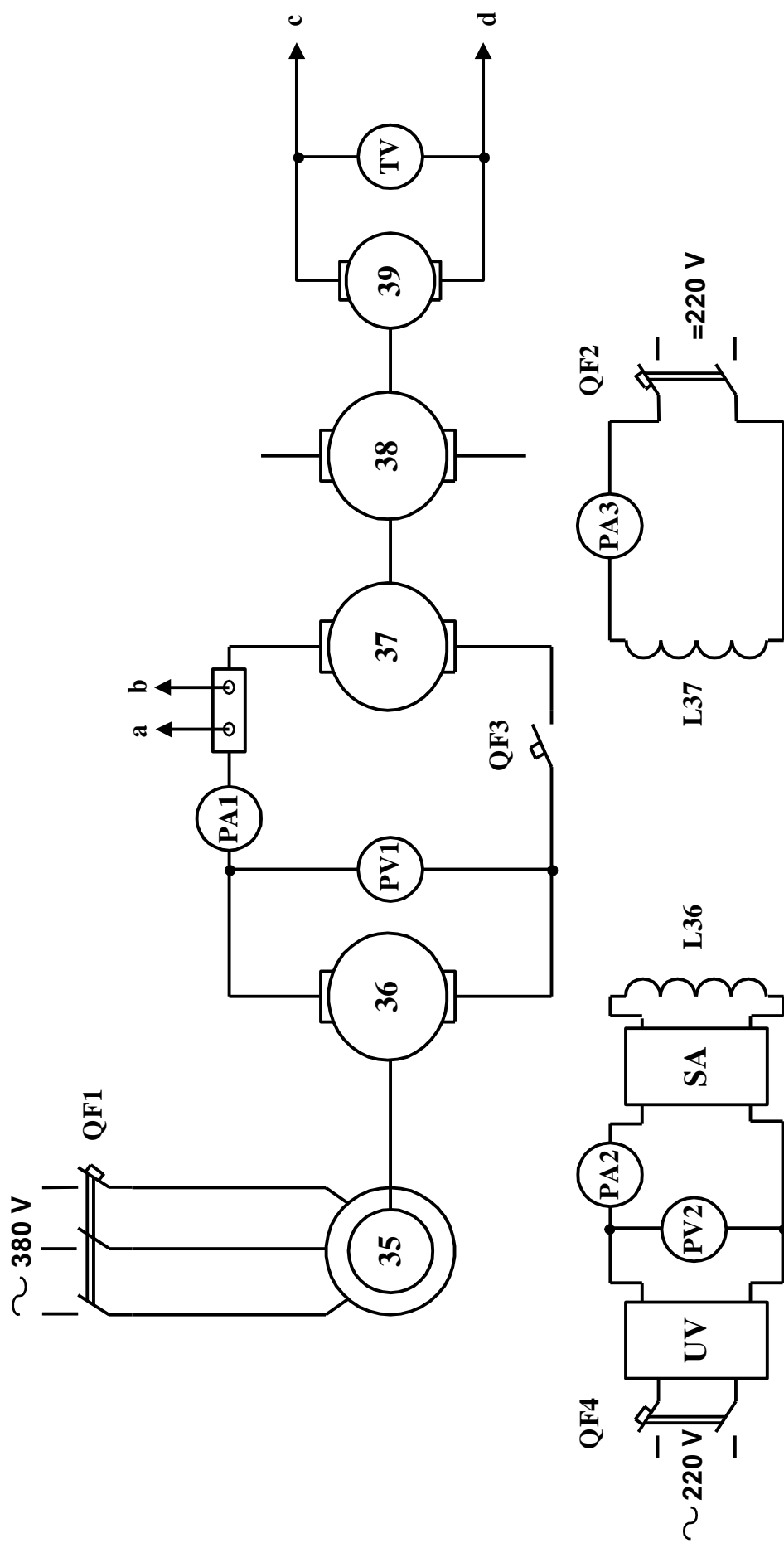


Рисунок 7.2 - Принципова електрична схема стенду

7.5 Контрольні запитання

1. Поясніть вплив відношення $T_{зб}/T_M$ на перехідний процес.
2. Від чого залежить тривалість перехідного процесу ?
3. Чим визначається максимум струму якору в перехідному режимі ?
4. Поясніть фізичні процеси на різних інтервалах часу при гальмуванні і реверсі двигуна?
5. Як впливає характер моменту опору на перехідний процес при пуску, гальмуванні і реверсі?

8 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №17

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ НОМІНАЛЬНОЇ ПОТУЖНОСТІ ДВИГУНА ТРИВАЛОГО РЕЖИМУ

Метою роботи є експериментальне визначення допустимої теплової потужності двигуна, працюючого в тривалому режимі.

8.1 Загальні положення

В тривалому режимі роботи тепла потужність двигуна означається нагрівом його ізоляції. Усталене перевищення (τ_y) температури ізоляції обмоток двигуна над температурою навколишнього середовища (перегрів) не повинно бути більш допустимого перевищення ($\tau_{доп}$) для даного класу нагрівостійкості ізоляційних матеріалів: $\tau_y \leq \tau_{доп}$.

Перевищення температури означається як різниця між температурою двигуна θ_d і температурою навколишнього середовища $\theta_{сер}$. У відповідності з державним галузевим стандартом, стандартна температура навколишнього середовища дорівнює 40 °С. Як відомо [4,5], усталена температура перегріву прямо пропорційна збиткам потужності ΔP і обернено пропорційна тепловіддачі A машини, $\tau_y = \Delta P/A$. При номінальному навантаженні $\tau = \tau_{доп} = \Delta P_H/A$, де ΔP_H - номінальні збитки потужності.

Збитки потужності складаються з постійних збитків K та змінних V .

Змінні збитки пропорційні квадрату струму, який проходить по обмотці двигуна. Оскільки потужність P двигуна приблизно пропорційна струму, то збитки потужності в функції P можна виразити як $\Delta P = K + V = K + V_H \cdot (P/P_H)^2$, де P_H , V_H - номінальна потужність і номінальні змінні збитки.

Тоді

$$\frac{\tau_y}{\tau_{доп}} = \frac{\Delta P}{\Delta P_H} = \frac{K + V_H \cdot (P/P_H)^2}{K + V_H} = \frac{a + (P/P_H)^2}{a + 1}, \quad (8.1)$$

де $a = K/V_n$ - коефіцієнт розділення номінальних збитків .

Вирішуючи рівняння (8.1) відносно P_n , одержимо шукану номінальну потужність :

$$P_n = P \cdot \sqrt{\frac{\tau_{\text{дон}}}{\tau_y \cdot (a+1) - \tau_{\text{дон}} \cdot a}} \quad (8.2)$$

За найденим виразом можна визначити номінальну потужність у випадку відсутності паспортних даних або після ремонту двигуна .

8.2 Методичні вказівки

Ознайомитись з експериментальним стендом і його електричною схемою (рис. 8.1) . Автоматом QF1 підключити дослідну машину 4 до мережі . Потім з допомогою машини постійного струму 3 , працюючого в режимі динамічного гальмування , навантажити машину 4 . При цьому треба дотримуватись слідуєчого порядку . Ввімкнути автомат QF2 при повністю введеному в коло обмотки збудження L3 опору резистора R1 . Потім , ввімкнувши автомат QF3 і зменшивши опір резистора R1 , навантажити досліджувану машину потрібною потужністю P1 (за вказівкою викладача) і приступити до зняття кривої нагріву $\tau(t)$.

Температура двигуна вимірюється з допомогою двох термопар , одна з яких закладена в паз . а друга - в залізо статора . Термо-е.р.с. надходить до електронного термометру РТ ; з допомогою перемикача SA термометр підключається до тої чи іншої термопари .

Перевищення температури визначається як різниця між вимірюною температурою паза θ_n , заліза θ_3 і температурою зовнішнього середовища $\theta_{\text{сер}}$: $\tau_n = \theta_n - \theta_{\text{сер}}$; $\tau_3 = \theta_3 - \theta_{\text{сер}}$. Величина $\theta_{\text{сер}}$ вимірюється термометром РТ на початку досліду , тобто в холодному стані двигуна : $\theta_{\text{сер}} = \theta_n = \theta_3$. Для побудови кривої $\tau(t)$ слід провести вимірювання температури в пазі і залізі через 40 , 60 , 80 , 100 хвилин з початку досліду . Для кожного моменту часу визначити середнеарифметичне значення перегріву

$$\tau = (\tau_n + \tau_3)/2 .$$

При знятті кривої $\tau(t)$ треба підтримувати навантаження досліджуваного двигуна постійним . Крива $\tau(t)$ необхідна для визначення усталеної температури перегріву τ_y і сталої часу T_n .

Оскільки тривалість лабораторного заняття недостатня для зняття кривої $\tau(t)$ до усталеного перегріву, температура τ_y визначається графічним методом. Для цього на графіку $\tau(t)$ (рис. 8.2) через точки , відповідні часу 40 , 60 , 80 і 100 хв , проводяться вертикальні прямі до перетинання з кривою $\tau(t)$. Через одержані точки перетинання проводяться горизонтальні прямі , на яких відкладаються вліво від осі ординат прирости температури відповідно

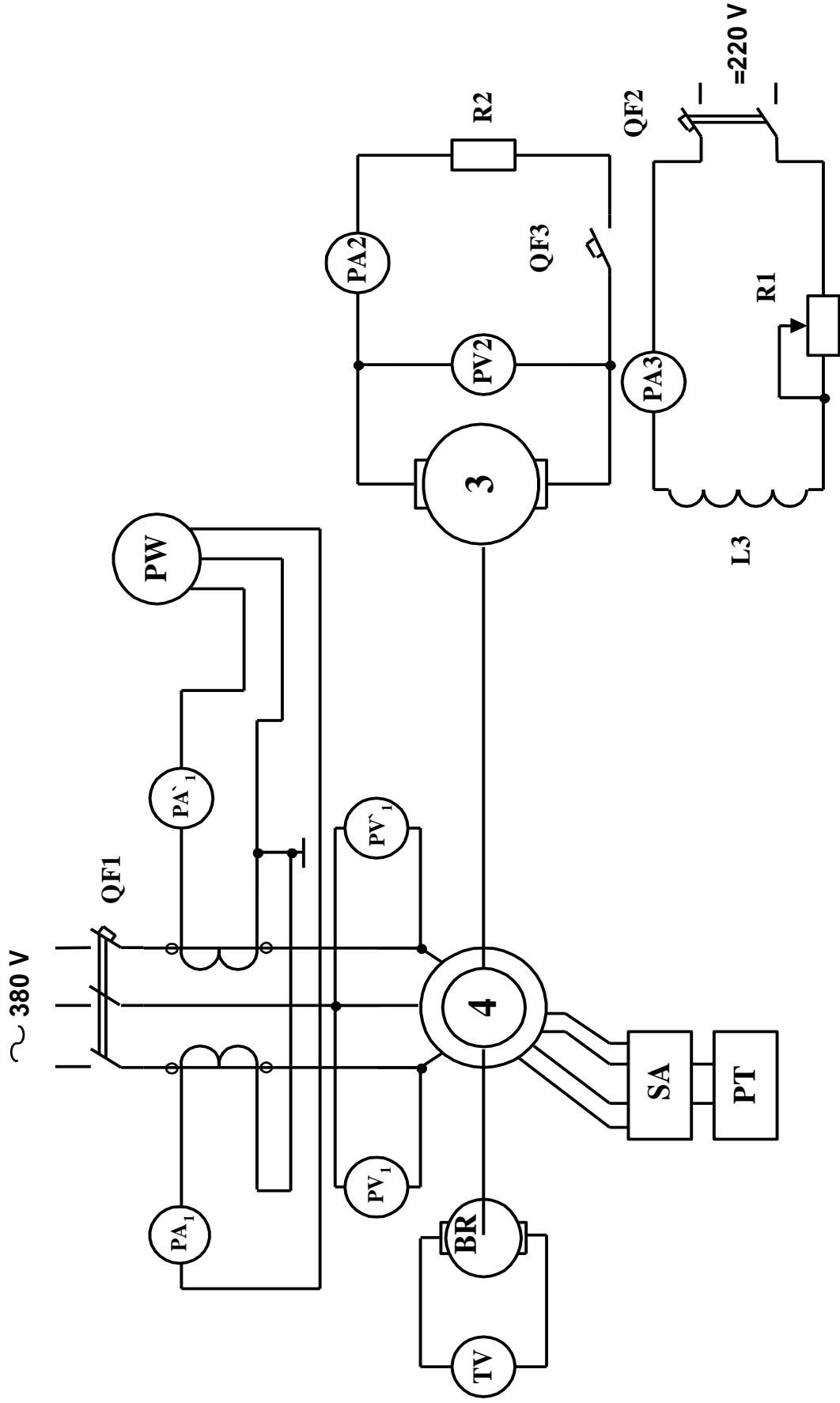


Рисунок 8.1 - Принципова електрична схема стенду для визначення теплової потужності двигуна

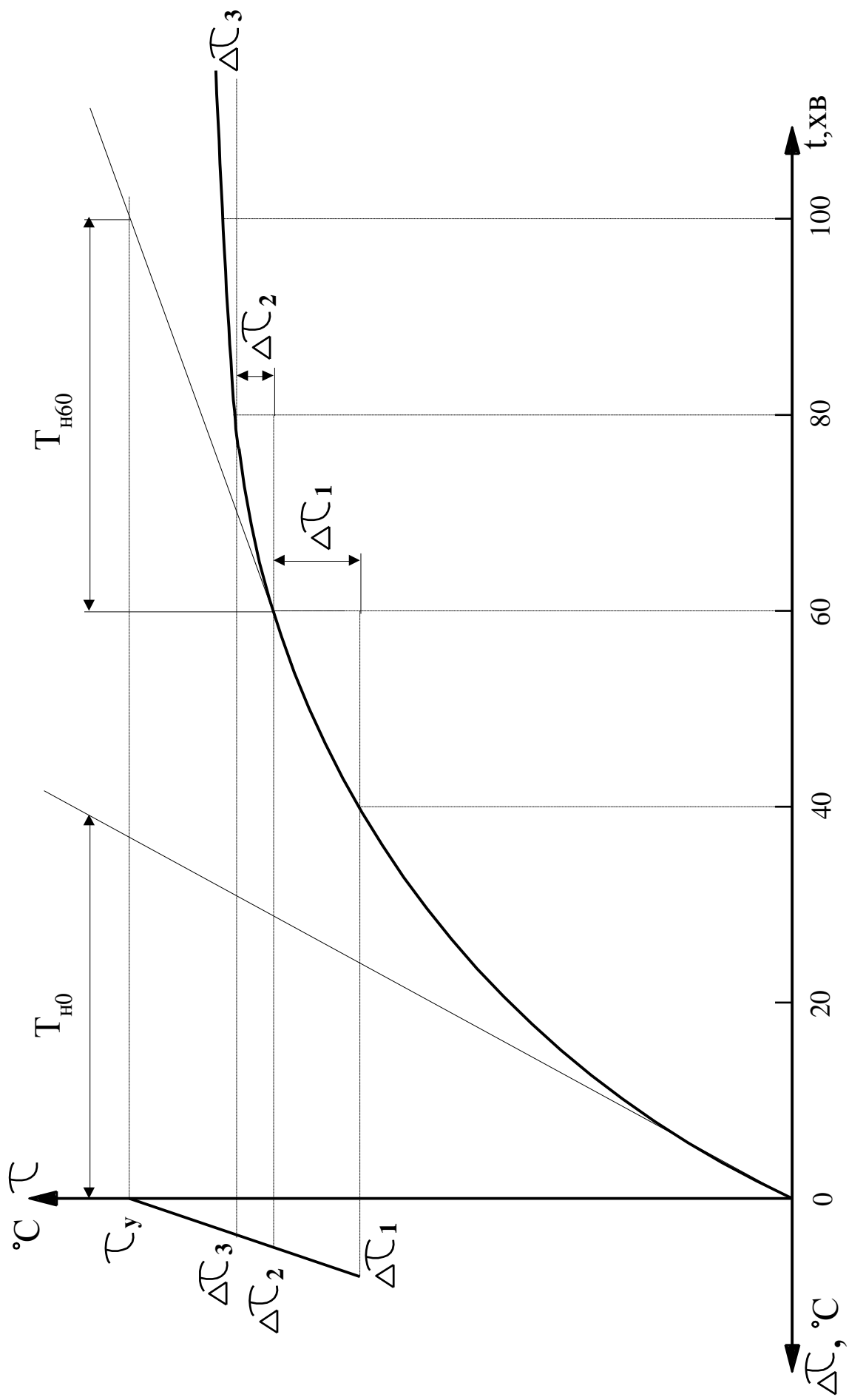


Рисунок 8.2 - Графічне визначення усталеної температури перегріву T_y та сталості часу нагріву T_H

$$\Delta\tau_1 = \tau_{60} - \tau_{40}, \quad \Delta\tau_2 = \tau_{80} - \tau_{60}, \quad \Delta\tau_3 = \tau_{100} - \tau_{80}.$$

Точка перетинання прямої, проведеної через кінці відрізків $\Delta\tau_i$, з оссю ординат дає шукане значення τ_y .

Стала часу нагріву двигуна визначається методом дотичної. Оскільки експериментальна крива нагріву відрізняється від експоненти, то для визначення середнього значення $T_{н.с}$ проводяться дотичні до кривої $\tau(t)$ в точках, відповідаючих моментам часу $t = 0, 60, 80$ хвилин, і фіксуються відповідні значення T_n , як показано на рис. 8.2. Тоді

$$T_{н.с} = (T_{н.0} + T_{н.60} + T_{н.80})/3.$$

Для визначення коефіцієнта розділення збитків $\alpha = K/V_n$ поступають таким чином. Враховуються збитки потужності ΔP_1 при навантаженні P_1 , відповідному знятій кривій нагріву, а потім - ΔP_2 при новому навантаженні P_2 , яке завадиться в кінці досліду. Збитки потужності ΔP визначаються як різниця між потужністю $P_{спож}$, спожитою двигуном з мережі, і потужністю P на валу:

$$\Delta P = P_{спож} - P.$$

Спожита потужність вимірюється ватметром, потужність на валу розраховується побічно за потужністю навантажувальної машини. Знехтуючи механічними збитками, потужність навантажувальної машини можна визначити за виразом [3]

$$P \approx P_{нм} = U \cdot I_a + I_a^2 \cdot r_a \quad \text{Вт},$$

де U - напруга на якорі, В;

I_a - струм якору, А;

r_a - опір якору, Ом.

Напруга вимірюється вольтметром PV2, струм - амперметром PA2, опір визначається безпосереднім виміром. Збитки потужності при навантаженні P_1 $\Delta P_1 = K + V_1$, а при навантаженні P_2 $\Delta P_2 = K + V_2 = K + V_1 \cdot (P_2/P_1)^2$. Сумісне рішення рівнянь для збитків потужності при різних навантаженнях відносно постійних збитків дає

$$K = \frac{\Delta P_1 \cdot (P_2/P_1)^2 - \Delta P_2}{(P_2/P_1)^2 - 1}. \quad (8.3)$$

З виразів (8.1) і (8.3) випливає, що збитки потужності при номінальному навантаженні

$$\Delta P_n = \Delta P_1 \cdot \frac{\tau_{доп}}{\tau_y} = K + V_n.$$

Знаючи K і ΔP_n , можна знайти номінальні змінні збитки $V_n = \Delta P_n - K$ та коефіцієнт розділення збитків $\alpha = K/V_n$. Знаючи $\tau_{доп}$ для вжитого в досліджуваному двигуні класу нагрівостійкості ізоляційних матеріалів при стандартній

температурі середовища $\theta_{\text{сер}} = 40^{\circ}\text{C}$ ($\tau_{\text{доп}} = 60^{\circ}\text{C}$), за формулою (8.2) можна розрахувати номінальну потужність $P_{\text{н}}$.

8.3 Зміст роботи

- ознайомитись зі стендом і його електричною схемою (рис. 8.1) ;
- зняти залежність $\tau(t)$ та визначити τ_y і $T_{\text{н}}$;
- визначити коефіцієнт розділення збитків a ;
- розрахувати номінальну потужність двигуна ;
- побудувати залежність $\tau(t)$, розраховану аналітично .

8.4 Зміст звіту

В звіті необхідно привести :

- електричну схему експериментального стенду ;
- технічні дані машин 3 , 4 ;
- експериментальні і розрахункові дані у вигляді табл. 8.1, 8.2, та проміжні розрахунки ;
- графіки експериментальної і аналітично розрахованої залежностей $\tau(t)$;
- короткий аналіз одержаних результатів .

Таблиця 8.1-Експериментальні і розрахункові дані для побудови залежності $\tau(t)$

Вимірювана величина	Час з початку досліду , хв			
	40	60	80	100
$\theta_{\text{сер}} , ^{\circ}\text{C}$				
$\theta_{\text{п}} , ^{\circ}\text{C}$				
$\theta_{\text{з}} , ^{\circ}\text{C}$				
$\theta_{\text{с}} = (\theta_{\text{п}} + \theta_{\text{з}}) / 2 , ^{\circ}\text{C}$				
$\tau = \theta_{\text{с}} - \theta_{\text{сер}} , ^{\circ}\text{C}$				
$\Delta\tau_i = \tau_{i+1} - \tau_i , ^{\circ}\text{C}$				
$T_{\text{н}} , \text{с}$				
$T_{\text{н.с}} , \text{с}$				

Таблиця 8.2-Дані для розрахунку постійних K і a

Споживана потужність $P_{\text{спож}} , \text{Вт}$	Напруга на якорі $U , \text{В}$	Струм якорю $I_{\text{а}} , \text{А}$	Корисна потужність $P , \text{Вт}$	Потужність збитків $\Delta P , \text{Вт}$	$K , \text{Вт}$	a

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Теорія електропривода : Підручник для вузів / М. Г. Попович , М. Г. Борисюк , В. А. Гаврилюк та ін. - К : Вища школа , 1993. - 494 с .
2. Ключев В. И. Теория электропривода (учебник) . - М. : Энергоатомиздат , 1985. - 568 с.
3. Чиликин М. Г. , Сандлер А. С. Общий курс электропривода . - М. : Энергоиздат , 1981. - 576 с.
4. Чиликин М. Г. , Ключев В. И. , Сандлер А. С. Теория автоматизированного электропривода . - М. : Энергия , 1979. - 615 с.
5. Андреев В. П. , Сабинин Ю. А. Основы электропривода . -Л. - М. : Госэнергоиздат , 1963. - 771 с.