

Методичні вказівки
до виконання лабораторної роботи
з дисципліни "Спеціальні електричні машини"
для студентів напряму підготовки
"Електромеханіка"

на тему: "Дослідження крокового двигуна"

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Вінницький національний технічний університет

Методичні вказівки
до виконання лабораторної роботи
з дисципліни "Спеціальні електричні машини"
для студентів напряму підготовки
"Електромеханіка"

на тему: "Дослідження крокового двигуна"

Вінниця
ВНТУ
2011

Рекомендовано до друку Методичною радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (протокол № 7 від 18.03.2010 р.)

Рецензенти:

В. В. Кухарчук, доктор технічних наук, професор

М. Й. Бурбело, доктор технічних наук, професор

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи з дисципліни "Спеціальні електричні машини" для студентів напряму підготовки "Електромеханіка" на тему: "Дослідження крокового двигуна". / Уклад. М. П. Розводюк, М. О. Казак. – Вінниця: ВНТУ, – 37 с.

У методичних вказівках викладено підходи до експериментальних досліджень крокових двигунів. Наведено основні теоретичні відомості.

Призначений для студентів електромеханічних спеціальностей денної та заочної форм навчання.

Зміст

Вступ	4
1 Основні теоретичні відомості про крокові двигуни	5
1.1 Основні типи крокових двигунів	5
1.2 Принцип роботи крокового двигуна	9
1.3 Способи керування кроковими двигунами	14
1.4 Визначення типу крокового двигуна	16
1.5 Характеристики крокових двигунів	17
2 Експериментальні дослідження	28
2.1 Програма лабораторної роботи	28
2.2 Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи	30
2.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи	32
2.4 Паспортні дані крокових двигунів	32
2.5 Зміст звіту	33
2.6 Контрольні запитання	33
Література	34
Додаток А. Схеми керування кроковим двигуном	35

Вступ

Методичні рекомендації та вказівки призначені для поглиблення знань студентів з такого розділу дисципліни «Спеціальні електричні машини» як «Крокові двигуни».

Наведено основні теоретичні відомості про крокові двигуни та способи їх експериментального дослідження.

Разом із самостійними випробуваннями передбачається аналіз отриманих результатів та порівняння їх з теоретичними положеннями.

Автори вдячні за допомогу:

– у підборі теоретичних відомостей д.т.н., професору В. В. Кухарчуку та асистенту В. В. Усову;

– у виготовленні стенда для лабораторної роботи к.т.н., ст. викладачу С. М. Бабію, аспіранту В. П. Курочці, студентам гр. ЕПА-06 В. А. Стратію, гр. ЕМ-08 М. В. Євтухівському.

1 Основні теоретичні відомості про крокові двигуни

Крокові двигуни - це електромеханічні пристрої, що перетворюють сигнали керування (електричні імпульси) в дискретні обертальні механічні переміщення з фіксацією положення ротора [1, 2].

Крокові двигуни використовуються в електроприводах станків та механізмів з програмним керуванням. Сучасні крокові двигуни дозволяють робити до 600 кроків за секунду без втрати кроків при раптовій зупинці та пуску [2, 4].

Головна перевага крокових двигунів – можливість здійснювати точне позиціонування і регулювання швидкості без додаткових сенсорів зворотного зв'язку.

Вимоги до крокових двигунів: надійність, швидкодія, відсутність накопичення помилок зі збільшенням кількості кроків, мінімальна кількість обмоток керування [2].

1.1 Основні типи крокових двигунів

У крокових двигунах обертовий момент створюється магнітними потоками статора і ротора, які відповідним чином орієнтовані один відносно одного. Момент, який створює кроковий двигун, пропорційний значенню магнітного поля, породженого струмом, що протікає по обмотках статора [1].

Двигун зі змінним магнітним опором. Такий двигун має декілька полюсів на статорі, ротор – зубчастої форми з магнітом'якого матеріалу (рис. 1.1) [2]. Намагніченість ротора відсутня. Для спрощення на рис. 1.1 ротор має 4 зубці, а статор – 6 полюсів. Двигун має 3 незалежні обмотки, кожна з

яких намотана на двох протилежних полюсах статора. Такий двигун має крок 30° .

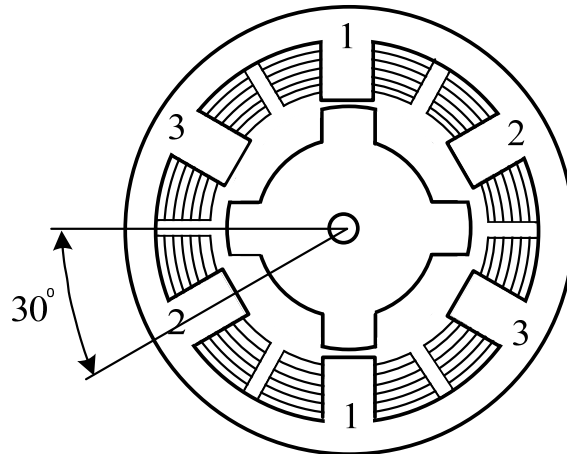


Рисунок 1.1 – Двигун зі змінним магнітним опором

При подачі струму на одну із обмоток ротор прагне зайняти положення, в якому магнітний опір має найменше значення, тобто зубці ротора розташовуються напроти тих полюсів, на яких знаходиться обмотка зі струмом. Якщо знеструмити цю обмотку і подати напругу на наступну, то ротор змінить своє положення, повертаючись в напрямку обмотки зі струмом. Для того щоб здійснити безперервне обертання ротора, потрібно включати фази по черзі. Двигун нечутливий до напрямку струму в обмотках. Реальний двигун може мати більшу кількість полюсів статора і більшу кількість зубців ротора, що відповідає більшій кількості кроків на один оберт. Іноді поверхню кожного полюса статора виконують зубчастою, що разом з відповідними зубцями ротора забезпечує дуже мале значення кута кроку (кут кроку складає $1 \div 2^\circ$).

Двигуни зі змінним магнітним опором досить рідко використовують в промисловості.

Двигуни з постійними магнітами. В такому двигуні на роторі розміщені постійні магніти (рис. 1.2) [2]. Полюси ротора мають прямолінійну

форму і розташовані паралельно осі двигуна. Намагніченість ротора забезпечує більший магнітний потік і, як наслідок, більший ніж у двигуні зі змінним магнітним опором, момент.

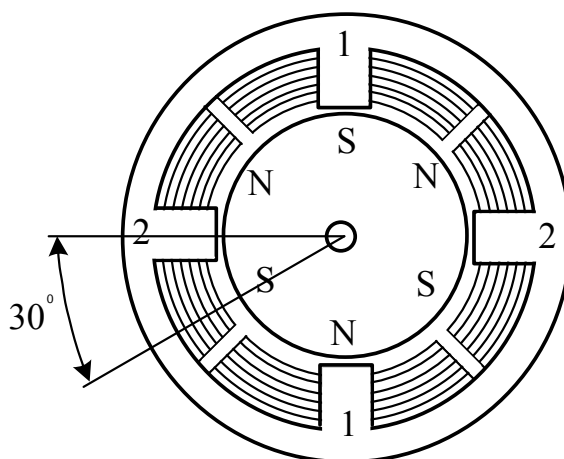


Рисунок 1.2 – Двигун із постійними магнітами

Показаний на рис. 1.2 двигун має 3 пари полюсів ротора і 2 пари полюсів статора. Він має 2 незалежні обмотки, кожна з яких намотана на протилежних полюсах статора. Такий двигун, як і двигун зі змінним магнітним опором, має величину кроку 30° . При подачі напруги на одну із котушок, ротор прагне зайняти таке положення, коли різнойменні полюси ротора і статора знаходяться один проти одного. Для здійснення безперервного обертання потрібно включати фази по чергово.

На практиці двигуни з постійними магнітами зазвичай мають 48 – 24 кроки на один оберт (кут кроку складає $7,5 \div 15^\circ$).

Гібридний двигун. Такі двигуни дорожчі, ніж двигуни із постійними магнітами, однак вони забезпечують меншу величину кроку, більший момент і велику швидкодію [2]. Зазвичай число кроків на оберт для гібридних двигунів складає від 100 до 400 (кут кроку складає $3,6 \div 0,9^\circ$). Гібридні двигуни поєднують в собі кращі характеристики двигунів із змінним магнітним опором

і двигунів з постійними магнітами. Ротор гібридного двигуна має зубці, розташовані в осьовому напрямі (рис. 1.3).

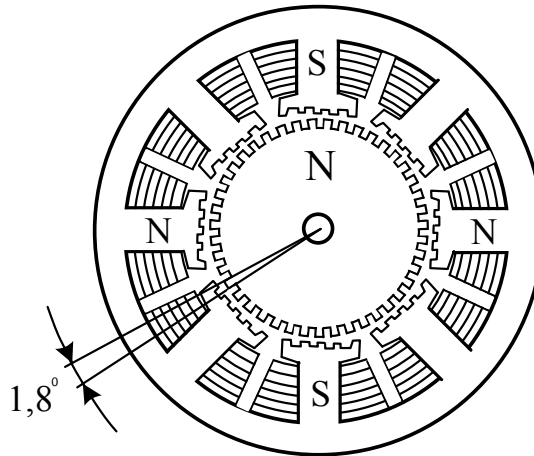


Рисунок 1.3 – Гібридний двигун

Ротор поділений на дві частини, між якими розташований циліндричний постійний магніт. Таким чином, зубці верхньої половинки ротора є північними полюсами, а зубці нижньої половини – південними. Крім того, верхня і нижня половинки ротора зміщені одна відносно одної на половину кута кроку зубців. Число пар полюсів ротора дорівнює кількості зубців на одній з його половинок. Зубчасті полюсні наконечники ротора, як і статора, набрані з окремих пластин для зменшення втрат на вихрові струми. Статор гібридного двигуна також має зубці, забезпечуючи велику кількість еквівалентних полюсів. Зазвичай використовуються 4 основні полюси (крок становить $3,6^\circ$) та 8 основних полюсів (крок становить $1,8 \div 0,9^\circ$). Зубці ротора забезпечують менший опір магнітного кола в певних положеннях ротора, що покращує статичний і динамічний моменти двигуна. Це забезпечується відповідним розташуванням зубців: коли частина зубців ротора знаходиться строго напроти зубців статора, а частина – між ними.

1.2 Принцип роботи крокового двигуна

Принцип дії найпростішого однофазного крокового двигуна.

Двополюсний ротор з магнітом'якої сталі з дзьобоподібними виступами поміщений в чотириполосний статор (рис. 1.4) [1]. Одна пара полюсів виконана з постійних магнітів, а на іншій знаходиться обмотка керування. Поки струму в обмотках немає, ротор розміщується вздовж постійних магнітів і утримується біля них з певним зусиллям, яке визначається магнітним потоком полюсів.

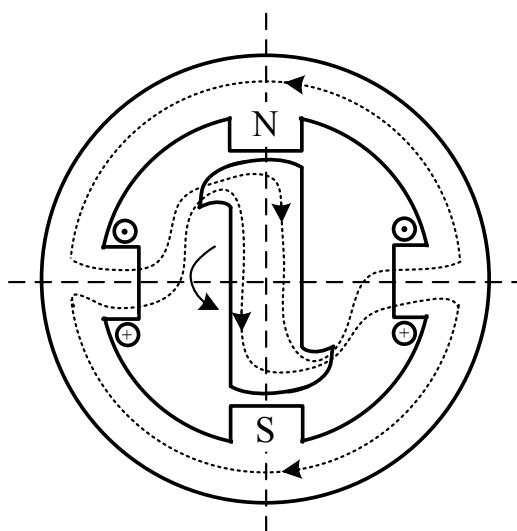


Рисунок 1.4 – Простий однофазний кроковий двигун

При подачі постійної напруги на обмотку керування виникає магнітний потік, приблизно удвічі більший, ніж потік постійних магнітів. Під дією електромагнітного зусилля, що створюється цим потоком, ротор повертається, долаючи момент навантаження і момент, що розвивається постійними магнітами, намагаючись зайняти положення, співвісне з полюсами обмотки керування. Поворот відбувається у бік виступів, оскільки магнітний опір між статором і ротором в цьому напрямі менший, ніж в зворотному. Наступний керуючий імпульс відключає напругу з

обмотки керування і ротор повертається під дією потоку постійних магнітів у бік виступів.

Перевагою однофазних крокових двигунів з постійними магнітами є простота конструкції і схеми керування. Для фіксації ротора при знеструмленій обмотці керування не потрібне споживання енергії, кут повороту зберігає своє значення і при перервах в живленні. Двигуни цього типу відпрацьовують імпульси з частотою до 200-300 Гц. Їх недоліки – низький ККД і неможливість реверсу.

Принцип дії трифазного крокового двигуна. На рис. 1.5 зображено поперечний переріз простого реактивного крокового двигуна [2]. Це трифазний двигун, статор якого має шість зубців. Кожні два зубці статора, віддалені на 180° один від одного, належать одній фазі; котушки протилежних зубців з'єднані послідовно або паралельно (на рис. 1.5 вони з'єднані послідовно).

Ротор має чотири зубці. Статор і ротор зазвичай виготовляють з шихтованого магнітом'якого матеріалу, але часто використовують і масивні ротори. Матеріал як статора, так і ротора повинен мати високу магнітну проникність і забезпечувати проходження великого значення магнітного потоку.

На рис. 1.5 зубці 1 , 2 і 3 у збудженому стані є північним магнітним полюсом, а $1'$, $2'$ і $3'$ - південним.

Струм в кожній фазі керується відповідними перемикачами. Якщо струм подається в котушку фази 1 або, іншими словами, фаза 1 збуджена, магнітний потік проходитиме, як показано на рис. 1.6, а. Ротор займе таке положення, в якому зубці статора 1 і $1'$ (рис. 1.5) і деякі два зубці ротора встановляться на одній лінії. В цьому випадку магнітний опір мінімальний, що забезпечує положення рівноваги.

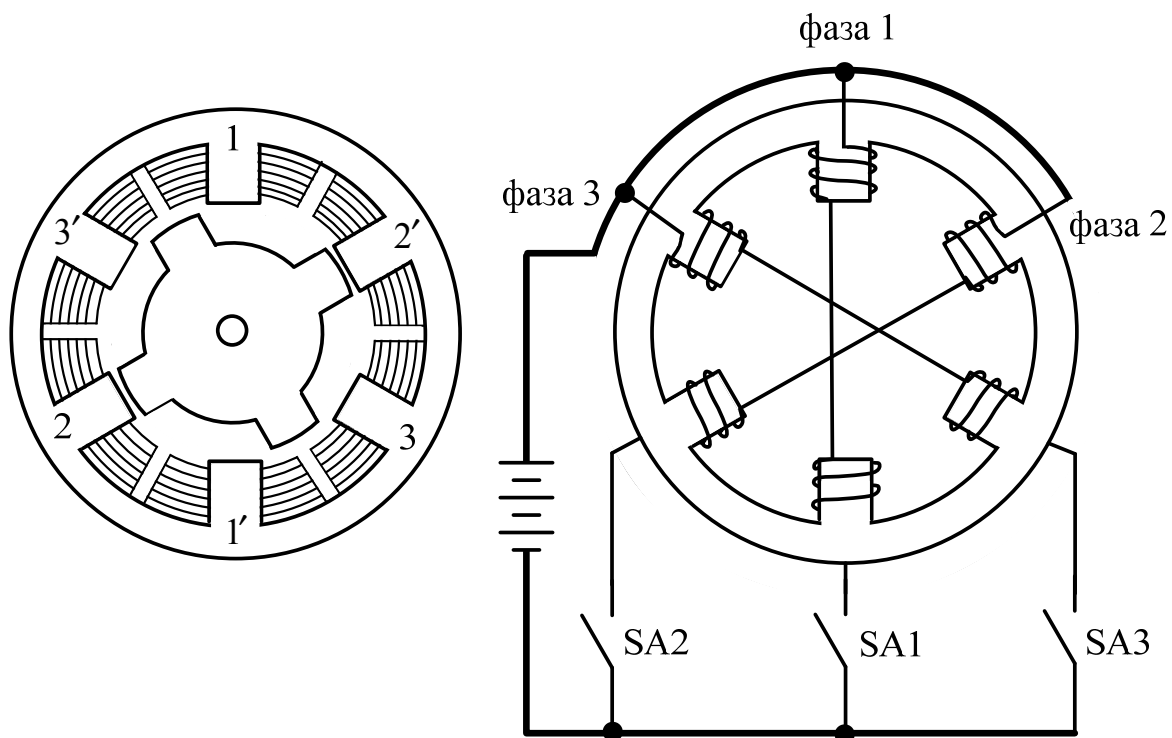


Рисунок 1.5 – Поперечний переріз трифазного крокового двигуна і схема з'єднань обмоток

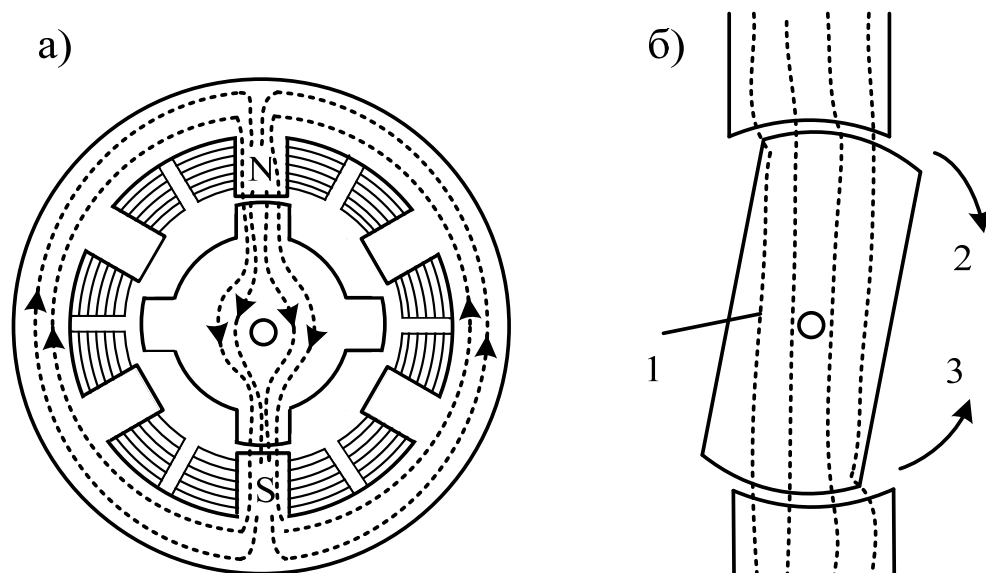


Рисунок 1.6 – До принципу роботи крокового двигуна:
а – положення рівноваги при збудженні фази;
б – силові лінії магнітного поля

Якщо ротор почне рухатися від положення рівноваги під дією зовнішнього моменту, прикладеного до його вала, то з'явиться утримуючий момент, як показано на рис. 1.6, б. В цьому випадку до ротора прикладено зовнішній момент, направлений за годинниковою стрілкою, і ротор зміщений в цьому ж напрямі, що призвело до викривлення магнітних силових ліній на кінцях зубців як статора, так і самого ротора.

Магнітні силові лінії мають сильне напруження, відоме як напруження Максвелла. Іншими словами, магнітні силові лінії прагнуть стати якомога коротшими і прямішими (подібно до еластичної струни). Цей ефект виникає на кінцях зубців, створюючи момент, спрямований проти годинникової стрілки для повернення зубців ротора на одну лінію із зубцями статора.

Коли зубці ротора і статора в збудженій фазі знаходяться не на одній прямій, магнітний опір стає мінімальним. Подивимося, що відбудеться, якщо відключити фазу 1 і заживити фазу 2 (рис. 1.7). Після перемикання магнітний опір різко зростає. Тому ротор обернеться на кут 30° , щоб мінімізувати магнітний опір. Після виконання ротором трьох кроків він знову повернеться в початкове положення (рис. 1.7).

Співвідношення між кутом кроку Q_s , кількістю обмоток керування m і зубцями ротора N_s , а також кількість кроків S задається формулою:

$$S = \frac{360}{Q_s} = m \cdot N_s. \quad (1.1)$$

Зі збільшенням числа обмоток керування m крок ротора зменшується, оскільки зменшується крок вектора м.р.с. статора. Зменшення кроку відбувається і при збільшенні числа пар N_s зубців ротора, оскільки зменшується кут, який потрібно відпрацювати ротору, щоб зайняти положення найбільшої магнітної провідності.

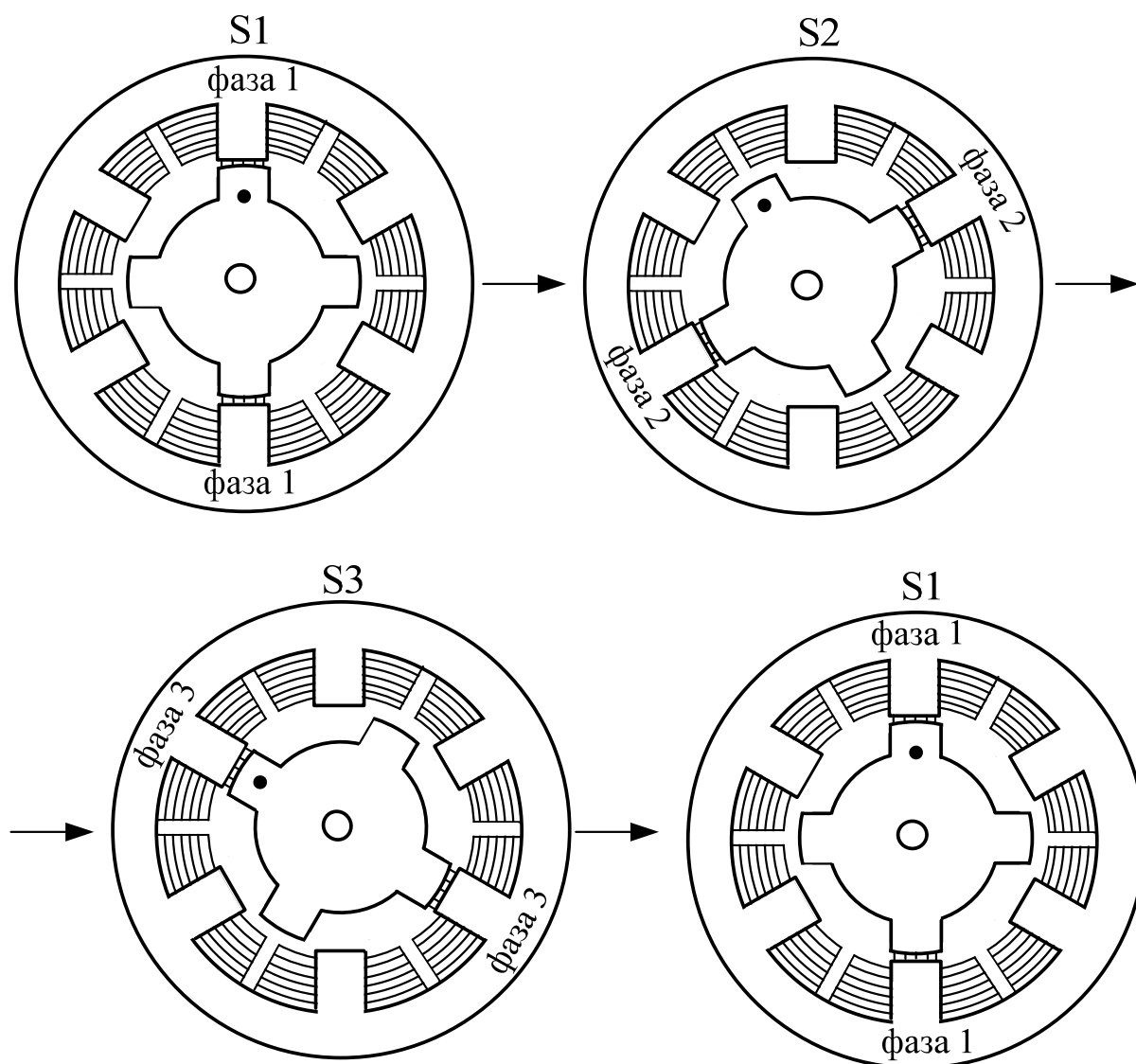


Рисунок 1.7 – Принцип роботи трифазного реактивного крокового двигуна

Коефіцієнт включення обмоток n визначається за формулою

$$n = \frac{360}{N_s m Q_s}, \quad (1.2)$$

де n – коефіцієнт, рівний 1 при роздільному включенні обмоток управління, і рівний 2 при роздільно-сумісному включенні.

Число зубців статора не є прямим фактором для визначення кута кроку, а момент, що створюється кроковим двигуном, пропорційний величині магнітного поля, породженого обмотками статора.

1.3 Способи керування кроковими двигунами

Перший спосіб забезпечується в почерговій комутації фаз, при цьому вони не перекриваються. Одночасно включена лише одна фаза (рис. 1.8) [2]. Точки рівноваги ротора для кожного кроку збігаються з «природними» точками рівноваги ротора у знеструмленого двигуна. Недоліком цього способу керування є те, що в такому режимі не може бути отримано повного моменту.

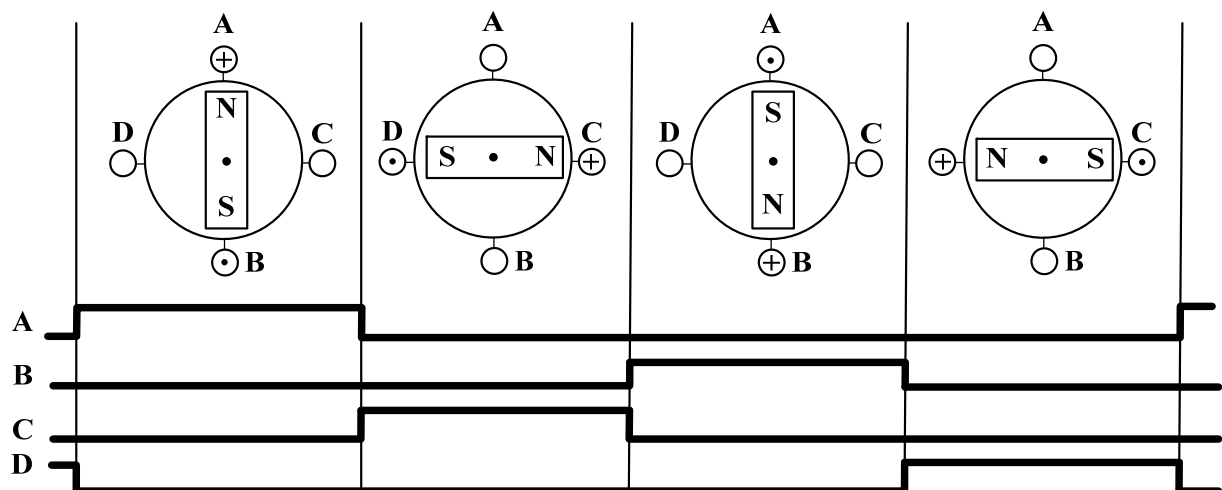


Рисунок 1.8 – Повнокроковий режим, включена одна фаза

Другий спосіб – керування фазами з перекриттям: дві фази включені в один і той самий час. При цьому способі керування ротор фіксується в проміжних позиціях між полюсами статора (рис. 1.9) і забезпечується приблизно на 40% більший момент, ніж у випадку включення однієї фази.

Цей спосіб керування забезпечує такий же кут кроку, як і перший спосіб, але положення точок рівноваги ротора зміщене на півкроку.

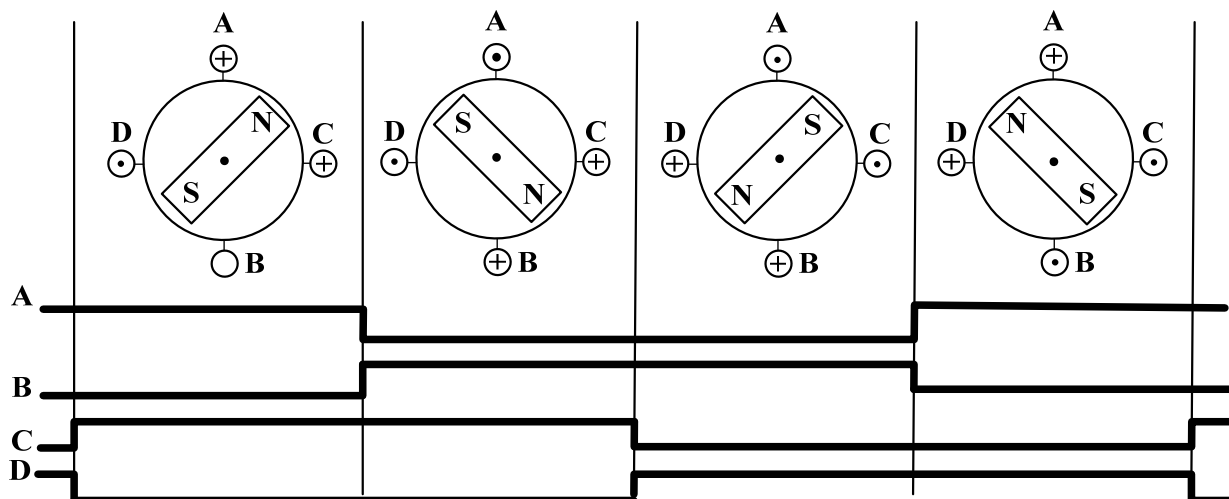


Рисунок 1.9 – Повнокроковий режим, включено дві фази

Третій спосіб є комбінацією перших двох і називається напівкроковим режимом. Двигун робить крок в половину основного. Цей метод керування достатньо поширений, оскільки двигун з меншим кроком коштує дорожче і є можливість отримання від 100 кроків до 200 кроків на оберт вала двигуна. При кожному кроці живиться лише одна фаза, а в інших випадках живляться дві фази (рис. 1.10). В результаті кутове переміщення ротора складає половину кута кроку для перших двох способів керування. Окрім зменшення розміру кроку цей спосіб керування дозволяє частково позбавитися від явища резонансу. Напівкроковий режим зазвичай не дозволяє отримати повний момент.

Ще один спосіб керування - мікрокроковий режим. При цьому способі керування струм у фазах потрібно змінювати невеликими кроками, забезпечуючи таким чином дроблення половинного кроку на ще менші

мікрокроки. Коли одночасно включені дві фази, але їх струми нерівні, то положення рівноваги ротора буде знаходитись не в середині кроку, а в іншому місці, що визначається співвідношенням струмів фаз. Змінюючи це співвідношення, можна забезпечити деяку кількість мікрокроків усередині одного кроку. Півкроковий режим є окремим випадком мікрокрокового режиму, але він не потребує формування ступінчастого струму живлення котушок, тому часто реалізується.

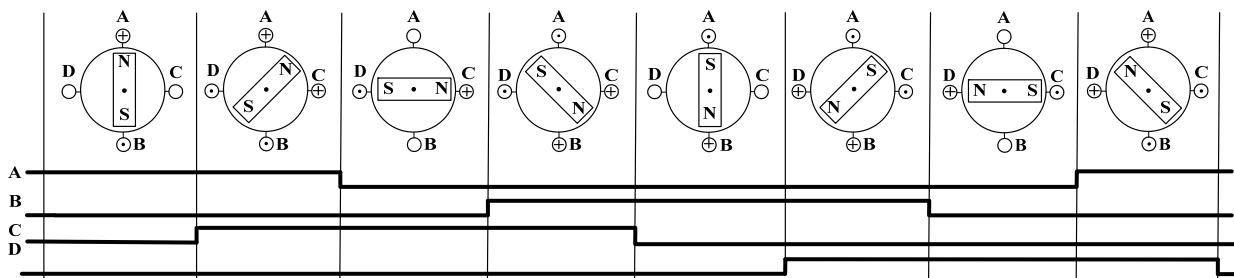


Рисунок 1.10 – Півкроковий режим

1.4 Визначення типу крокового двигуна

Визначити тип двигуна можна навіть на дотик: при обертанні вала знеструмленого двигуна з постійними магнітами (або гібридного) відчувається змінний опір обертанню, двигун обертається ніби “клацаннями” [2]. В той же час вал знеструмленого двигуна зі змінним магнітним опором обертається вільно. Гібридні двигуни є подальшим удосконаленням двигунів з постійними магнітами і за способом керування нічим від них не відрізняються. Визначити тип двигуна можна також за конфігурацією обмоток. Двигуни зі змінним магнітним опором зазвичай мають три (рідше чотири) обмотки з одним загальним виводом. Двигуни з постійними магнітами найчастіше мають дві незалежні обмотки. Ці обмотки можуть мати виводи від середини. Іноді двигуни з постійними магнітами мають 4 роздільних обмотки.

1.5 Характеристики крокових двигунів

Для крокових двигунів виділяють два основних класи характеристик: статичні та моментні.

Статичні характеристики

Статичними називаються характеристики двигуна в стані спокою. До них відносять залежності: максимального статичного моменту від струму в фазах $M = f(I)$ і статичного моменту утримання від кутового відхилення відносно положення рівноваги $M = f(\theta)$. Остання є найбільш важливою, оскільки характеризує навантажувальну здатність і дозволяє визначити максимальне значення синхронізувального моменту двигуна [2].

Для ідеального крокового двигуна, що має N кроків на оберт, характеристика $M(\theta)$ визначається як

$$M(\theta) = M_{max} \sin\left(\frac{\pi}{2 \cdot \lambda} \cdot \theta\right), \quad (1.3)$$

де M – статичний момент;

M_{max} – максимальний момент утримання (максимальний синхронізувальний момент);

λ – номінальний кут кроку ($\lambda = 2\pi/N$);

θ – кут повороту ротора.

Графічне зображення даної залежності подано на рис. 1.11.

Утримувальний (синхронізувальний) момент визначається як максимальний статичний момент, який може бути прикладений до вала збудженого крокового двигуна без наступного обертання. Як правило, цей момент відповідає точці $\theta = \theta_{max}$ (рис. 1.12), причому кут θ_{max} не обов'язково дорівнює куту кроку. Якщо кутове зміщення більше ніж θ_{max} , то статичний момент діє в напрямку наступного положення рівноваги.

В [4] подано інше подання статичної характеристики, при якому крива $M(\Theta)$ розміщена у другому та четвертому квадратах, що пов'язано з представленням аргументу як кутової координати ротора. Тоді залежність (1.3) змінить знак на протилежний.

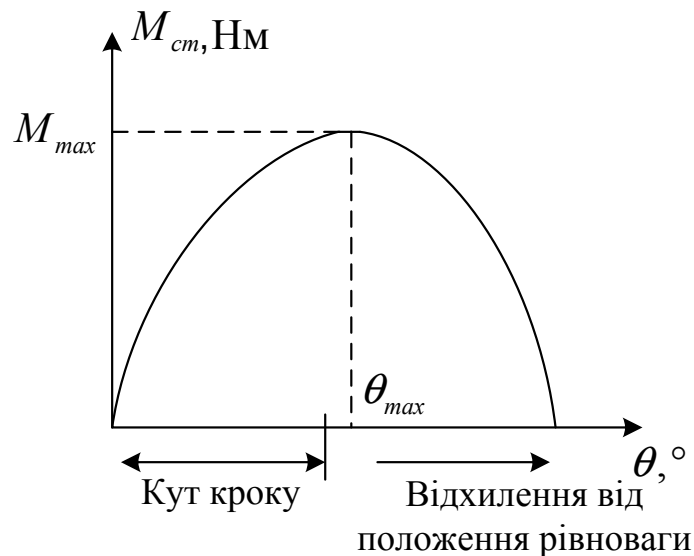


Рисунок 1.11 – Залежність статичного моменту крокового двигуна від кутового відхилення

Як видно з (1.3) статична характеристика синусоїдальна, проте в реальному кроковому двигуні, з неідеальною геометрією статора і ротора та насиченням різних ділянок магнітної системи вона буде відрізнятися амплітудою та формою. Тому в загальному випадку характеристика статичного синхронізувального моменту містить нескінченний спектр гармонік.

На практиці враховують лише декілька перших членів гармонічного ряду, тому залежно від їх кількості форма кривої $M(\Theta)$ може наближатися до прямокутника, трапеції або трикутника [4]. Характерні форми таких характеристик крокових двигунів показані на рис. 1.12.

Всі наведені характеристики мають один з видів центральної симетрії, яка є показником того, що зубці статора і ротора мають симетричну форму, однаковий або кратний зубцевий крок і зміщені один відносно одного на рівні кути. Відповідно при порушенні однієї з цих умов, півхвилі залежності синхронізувального моменту матимуть різну довжину. Ця особливість дає можливість використовувати симетричність статичної характеристики як один з критеріїв якості крокових двигунів.

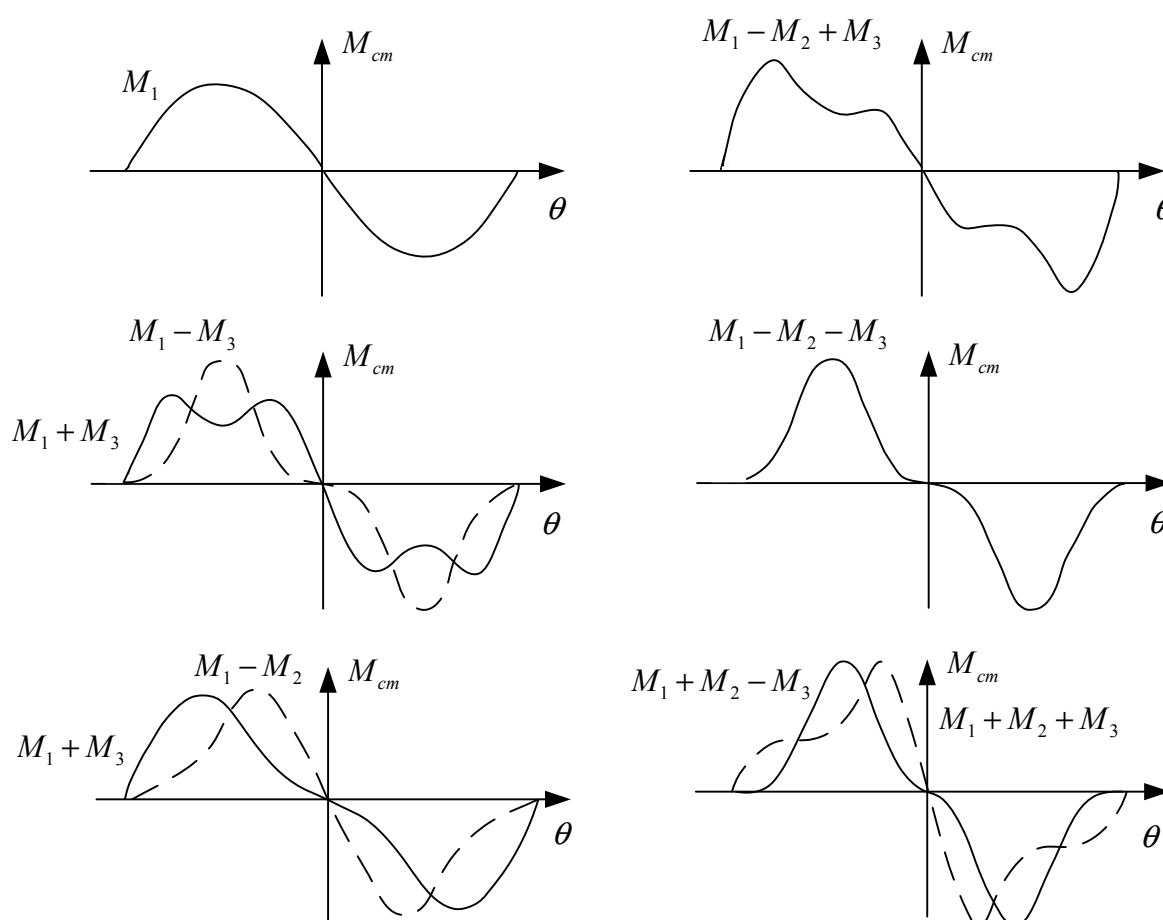


Рисунок 1.12 – Характерні форми статичних характеристик крокових двигунів

Не менш важливою також є форма кривої $M(\theta)$. Для оцінювання її якості вводять поняття стійкої вітки, яка є ділянкою статичної

характеристики, що проходить через одну з точок стійкої рівноваги $\pm 2\pi k$ ($k = 0, 1, 2, \dots$) і обмежена з обох боків першим додатним та першим від'ємним максимумами моменту. Аналогічна ділянка, що знаходиться між двома найближчими максимумами і проходить через одну з точок нестійкої рівноваги $\pm \pi(2k + 1)$ ($k = 0, 1, 2, \dots$), називається *нестійкою віткою* [4].

Тоді якість кривої статичного синхронізувального моменту оцінюється крутизною її стійкої вітки, тобто значенням питомого синхронізувального моменту $dM/d\theta$ і глибиною провалу кривої.

Велике значення питомого моменту в межах стійкої вітки моментної характеристики забезпечує незначну кутову похибку в нерухомому положенні навантаженого двигуна. Якщо на ротор діє зовнішня сила, то він врівноважується в положенні, зміщеному відносно початку координат на деякий кут θ_{μ} , який (як показано на рис. 1.13, а) тим менший, чим більша крутизна стійкої ділянки кривої $M(\theta)$ [4].

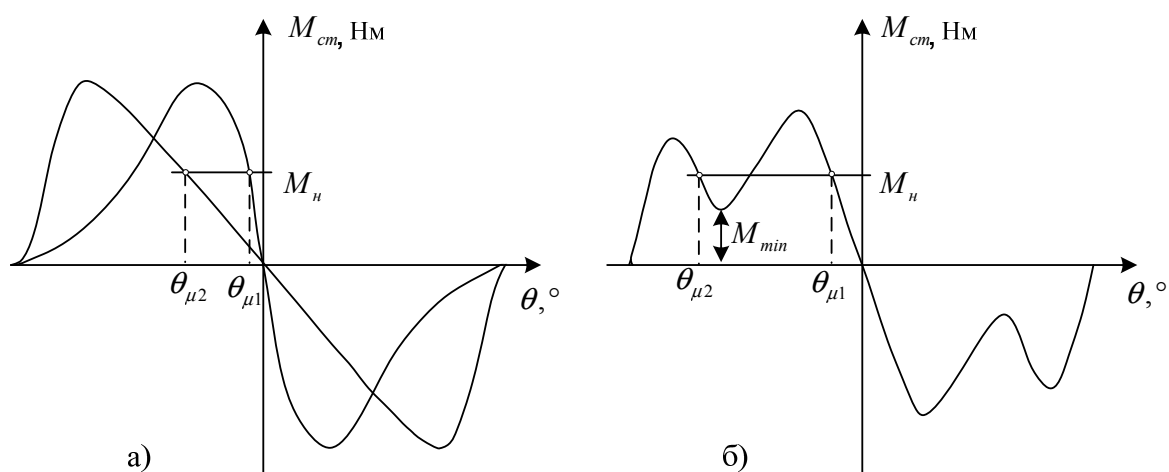


Рисунок 1.13 – Залежність статичної кутової похибки від жорсткості та форми характеристики статичного синхронізувального моменту

Також статична характеристика може містити додаткові ділянки між границями її стійкої та нестійкої вітки, де похідна $dM/d\theta$ двічі змінює знак. Такі ділянки називають провалами. За своєю природою вони є негативними, оскільки обмежують допустимий момент навантаження значенням проміжного мінімуму синхронізувального моменту (M_{min}). В цьому випадку ротор при навантаженні може застрягати в паразитному стійкому положенні (рис. 1.13, б). Це призводить до збільшення статичної похибки кута і створює додаткові коливання ротора в процесі обертання, крім того, при переключенні обмоток крокового двигуна можливий пропуск кроку за рахунок порушення нормальних умов переходу в наступне стійке положення [4].

У випадку, коли до вала крокового двигуна буде прикладено зовнішній момент M_T , який менший за момент утримання M_{max} , то він повернеться на деякий кут θ_s , що визначається як [3]

$$\theta = \left(\frac{N}{2\pi} \right) \sin \left(\frac{M_T}{M_{max}} \right), \quad (1.4)$$

де N – кількість кроків двигуна на оберт.

Кутовий зсув θ_s є похибкою позиціонування навантаженого двигуна, яка буде присутня навіть в режимі холостого ходу. Це зумовлюється наявністю сил тертя у підшипниках. Обмежимося розглядом статичного тертя, для подолання якого необхідний постійний момент M_T (рис. 1.14, а). Тоді результуюча крива статичної характеристики буде за межами штрихових ліній, що характеризують момент сил тертя (рис. 1.14, б).

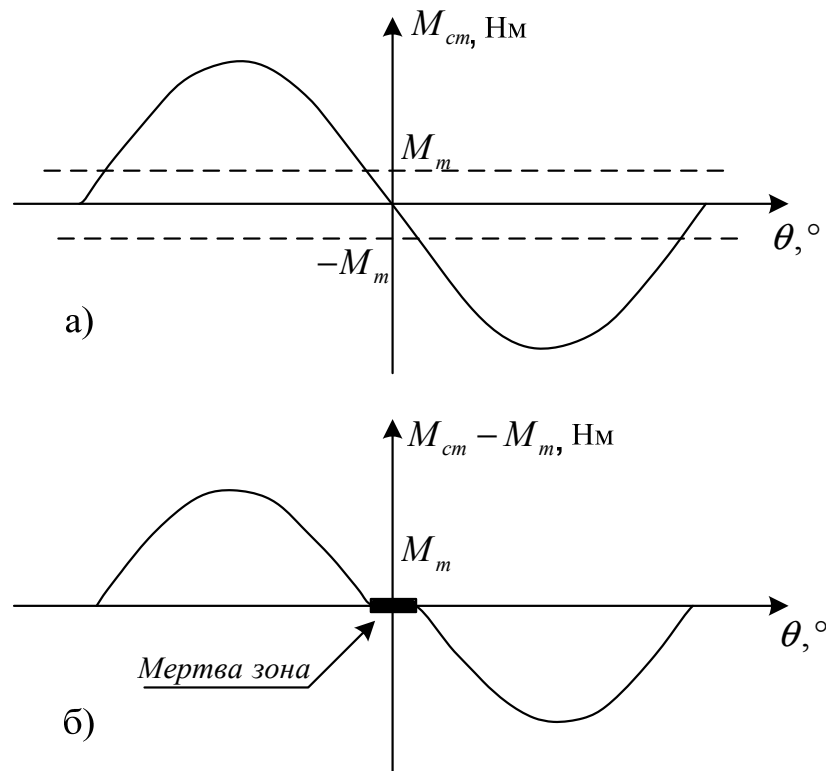


Рисунок 1.14 – Виникнення мертвої зони в результаті дії тертя

Таким чином амплітудне значення M_{max} залежності $M(\theta)$ відповідно зменшиться на значення M_T . Крім того, навколо стійкого кутового положення виникне так звана мертва зона (рис. 1.14, б), ширина якої може бути легко розрахована з (1.4):

$$d = \left(\frac{\theta_\delta}{\pi / 4} \right) \arcsin \left(\frac{M_T}{M_{max}} \right), \quad (1.5)$$

де d – ширина мертвої зони в радіанах;

θ_δ – кут кроку в радіанах.

Наявність мертвих зон обмежує точність позиціонування крокового двигуна. Наприклад, статичне тертя в половину від пікового моменту двигуна з кроком 90° спричиняє появу мертвої зони у 60° . Це означає, що

крок двигуна може коливатися від 30° до 150° , залежно від того, в якій точці мертвої зони зупиниться ротор після чергового кроку [3].

Утримувальний момент зростає зі збільшенням струму в обмотках. Ця залежність називається $M_{max}(I)$ характеристикою. На рис. 1.15 показані типові криві для реактивного та гібридного крокового двигуна з однаковим кутом кроку.

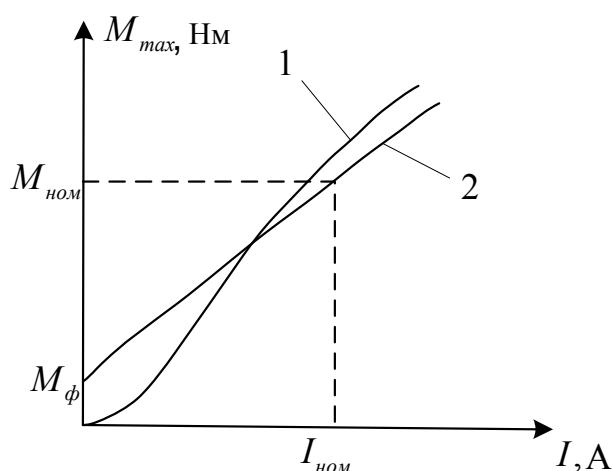


Рисунок 1.15 – Приклади $M_{max}(I)$ характеристик:
1 – для реактивного КД; 2 – для гібридного КД

Для гібридних крокових двигунів при відсутності живлення обмоток момент утримання не дорівнює нулю внаслідок дії постійних магнітів ротора (рис. 1.15). Цей момент називають фіксуєчим M_ϕ [2]. Як правило, він наближено складає 10% максимального моменту утримання [3]. Залежність $M_{max}(I)$ в гібридних двигунах і у двигунах з постійними магнітами практично лінійна (рис. 1.15).

Момент реактивного крокового двигуна за відсутності збудження дорівнює нулю і при малих значеннях струму зростає за параболическою залежністю. При великих значеннях струму швидкість зростання моменту невелика через магнітне насичення осердя [2].

Пускові та вихідні характеристики

Пускові та вихідні характеристики (або криві обертання) відносяться до класу моментних і характеризують момент крокового двигуна в процесі руху або на його початку. Вони являють собою залежності моменту крокового двигуна від крокової частоти обертання. Тому, як правило, дані характеристики розглядаються сумісно [2]. На рис. 1.16 зображено типові залежності пускового та вихідного моментів.

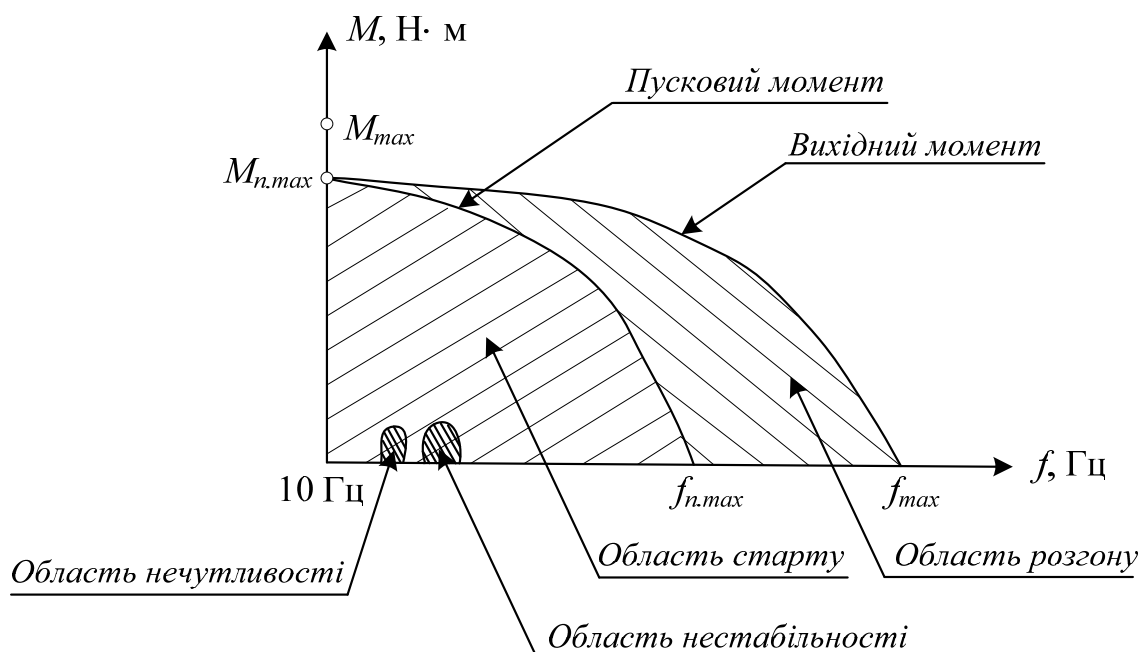


Рисунок 1.16 – Моментні характеристики (криві обертання)

Характеристика пускового моменту визначається діапазоном значень моменту навантаження, при якому двигун здатен запускатися і зупинятися без втрати кроків для різних частот. Ця крива перетинає вісь абсцис у точці, яка називається максимальною частотою старту або частотою прийомистості $f_{n.max}$. Вона визначає максимальну частоту керувальних імпульсів, при якій ненавантажений двигун здатен запускатися.

Максимальний пусковий момент $M_{n.max}$ визначається як максимальний момент навантаження, при якому кроковий двигун може запускатися і знаходитись в синхронізмі при частоті до 10 Гц [2].

Слід зауважити, що в загальному випадку максимальний пусковий момент $M_{n.max}$ не дорівнює утримувальному моменту M_n . При синусоїдальній залежності статичного моменту від кутового положення ротора їх відношення складатиме [2]:

$$\frac{M_{max}}{M_{n.max}} = \sqrt{2}. \quad (1.6)$$

При вимірюванні пускових моментів важливо визначити момент інерції на валі крокового двигуна, тип з'єднання та схему керування. Пускові характеристики знижуються при збільшенні моменту інерції навантаження, як це показано на рис. 1.17.

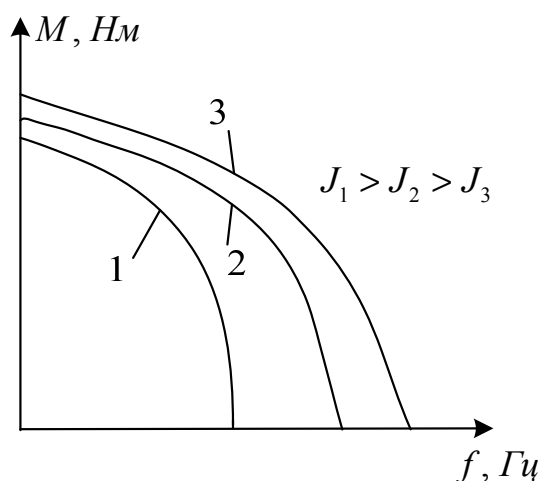


Рисунок 1.17 – Зміна пускових характеристик при зміні моменту інерції навантаження

Також необхідно визначити не лише максимальний, але і мінімальний момент навантаження. Оскільки кроковий двигун нездатен запуснитися та підтримувати нормальне обертання при малих навантаженнях в певних діапазонах частот, виникає зона нечутливості, в якій ротор не може здійснити крок через виникнення такого негативного явища як низькочастотний резонанс. Вирішення цих проблем досягається за рахунок прикладення значного моменту навантаження та застосування спеціальних систем керування.

Окрім пускової також важливою є вихідна характеристика (або характеристика руху), яка показує залежність зміни моменту крокового двигуна на всьому діапазоні частот. Ця крива перетинає вісь абсцис у точці, що називається максимальною вихідною частотою обертання (рис. 1.16). Вона визначається як максимальна крокова частота обертання, при якій ненавантажений двигун може обертатися без пропуску кроків. Область, що обмежується пусковою та вихідною характеристиками, називається областю розгону [3].

На рис. 1.18 наведено характеристики залежності кута обертання ротора від кількості кроків для різних типів крокових двигунів.

Кут нахилу характеристики до осі абсцис β при різних кутах кроку Q_s визначається як:

$$\beta = \operatorname{arctg} \frac{b}{a}, \quad (1.7)$$

де a , b беруться в мм.

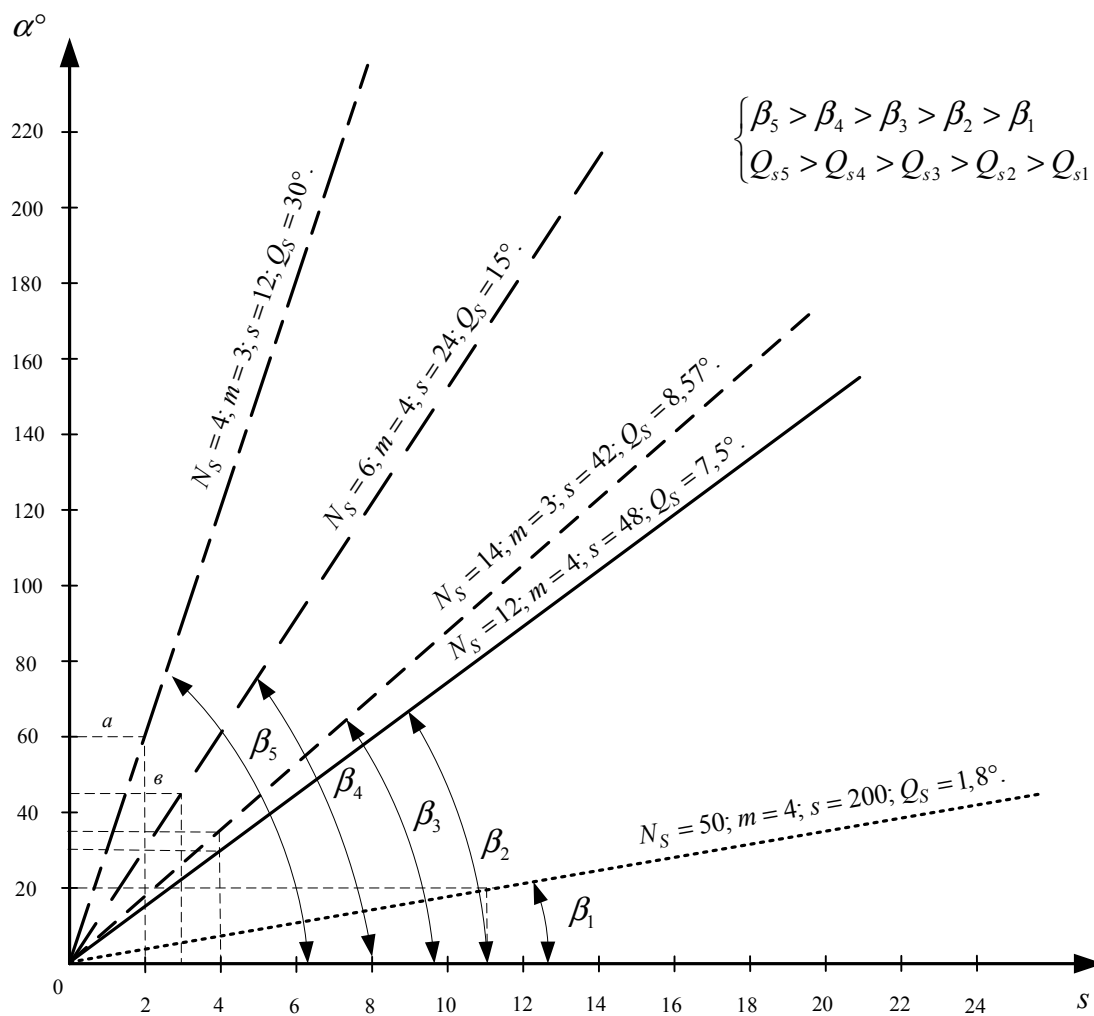


Рисунок 1.18 – Залежності кута положення ротора α° від кількості кроків S для різних типів крокових двигунів

2 Експериментальні дослідження

📖 **Мета роботи:** вивчення будови, принципу роботи та основних характеристик крокового двигуна. Визначення основних параметрів крокового двигуна.

2.1 Програма лабораторної роботи

1. Ознайомитись з будовою лабораторної установки (рис. 2.1) та конструкцією крокового двигуна, який в розібраному вигляді подано на планшеті, закріпленому до верхньої частини установки.



Рисунок 2.1 – Зовнішній вигляд лабораторної установки для керування кроковими двигунами

2. Зняти та побудувати характеристику $\alpha = f(S)$ – залежність кута положення ротора від кількості кроків. Кут положення ротора змінюється від 0 до 360° .

Кількість кроків можна визначити як

$$S = m \cdot n_{cr}, \quad (2.1)$$

де n_{cr} – це різниця між поточними та попередніми (перед включенням) значеннями лічильника РС типу СИ 105-1 РФ 272000;
 m – кількість обмоток керування (кількість фаз), яка визначається зі схем.

За графіком визначити кут кроку Q :

$$Q = \frac{\alpha}{S}. \quad (2.2)$$

3. Визначити кількість зубців ротора N :

$$N = \frac{360}{Q \cdot m}. \quad (2.3)$$

4. Визначити коефіцієнт включення обмоток керування.

$$n = \frac{360}{N \cdot m \cdot Q}. \quad (2.4)$$

5. Зробити висновок щодо включення обмоток.

2.2 Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи

Зовнішній вигляд лабораторної установки для дослідження крокових двигунів в ручному та автоматичному режимах показаний на рис. 2.1, а схема електрична структурна показана на рис. 2.2.

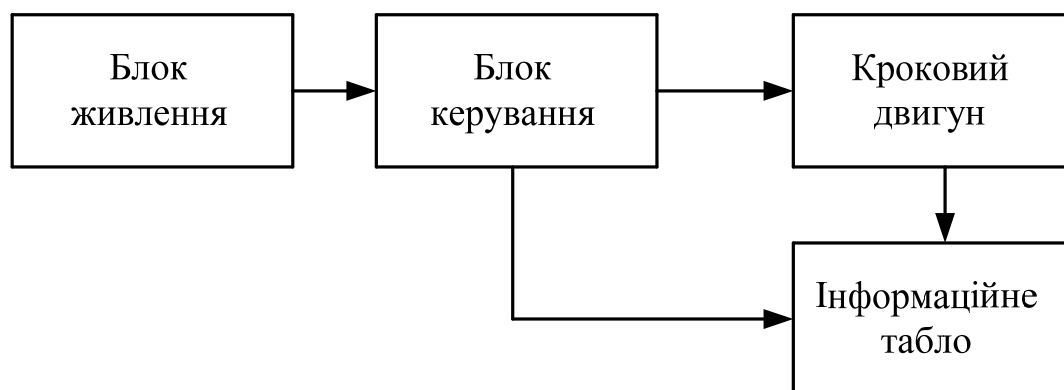


Рисунок 2.2 – Схема електрична структурна лабораторної установки

Блок живлення має такі параметри: $U_{ex} \approx 220$ В; 50 Гц; $U_{вих} = +5$ В; +12 В; +24 В. Блок керування формує імпульси керування кроковими двигунами. Крокові двигуни № 1, № 2 – пристрої керування. Інформаційне табло відображає положення ротора крокового двигуна та кількості імпульсів керування в ручному і автоматичному режимах.

Схеми електричні принципові керування кроковими двигунами № 1 та № 2 подані в додатку А (рис. А.1, де L_1, L_2, L_3 – обмотки крокового двигуна № 1, та рис. А.2, де L_1, L_2, L_3, L_4 – обмотки керування кроковим двигуном № 2, відповідно). На схемах: SA1 – тумблер, який подає живлення; випрямляч $U = +24$ В призначений для живлення крокового двигуна № 1 та лічильника імпульсів; кнопки SB1, SB2, SB3 – керування положенням ротора в ручному режимі. Блок живлення типу PS 440 ATX стандартний, на виході якого $U = +5$ В; +12 В.

Часові діаграми керування кроковим двигуном № 1 в ручному режимі показано на рис. 2.3.

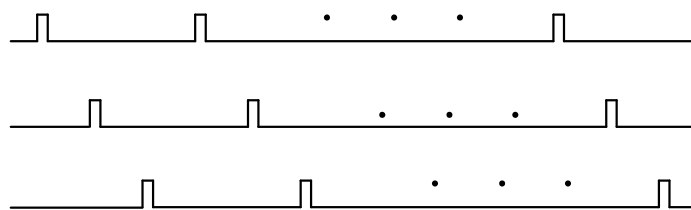


Рисунок 2.3 – Часові діаграми крокового двигуна № 1

Часові діаграми керування крокового двигуна № 2 в автоматичному режимі показано на рис. 2.4.

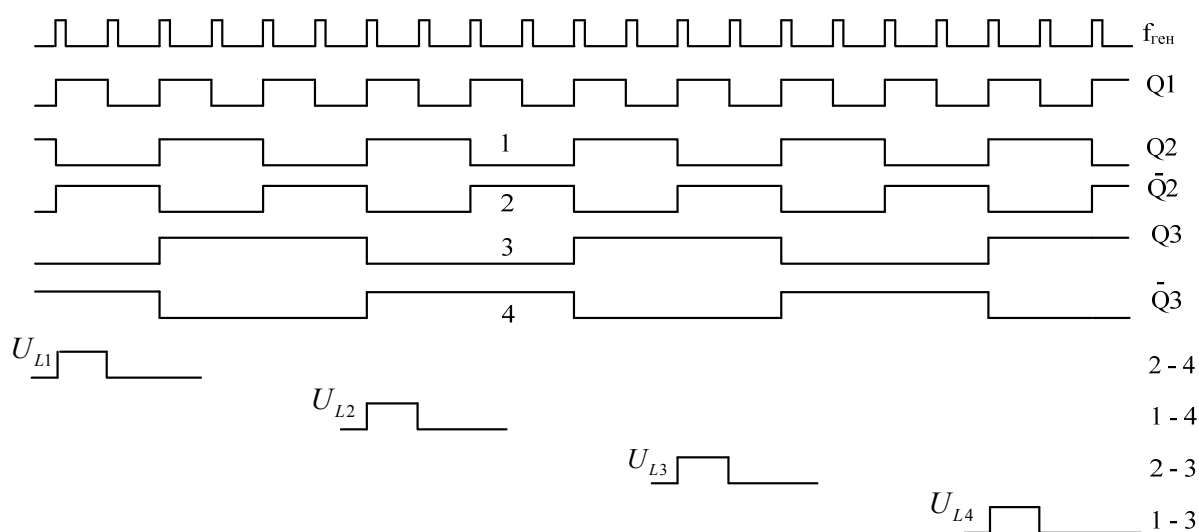


Рисунок 2.4 – Часові діаграми крокового двигуна № 1
в автоматичному режимі

Побудувати характеристики $\alpha = f(S)$ та визначати їх кут нахилу β за формулою (1.7).

Виконати пункти 2, 3, 4 програми лабораторної роботи. Результати вимірювань заносимо до табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Дані кутових положень ротора від кількості кроків

Двигун	Параметри	Результати вимірювань								
№ 1	$\alpha, ^\circ$									
	$S, \text{кр.}$									
№ 2	$\alpha, ^\circ$									
	$S, \text{кр.}$									

За шкалами визначити положення ротора за певну кількість кроків. В ручному режимі положення змінювати включенням кнопок, а в автоматичному – за лічильником імпульсів ($n_{cr} \times 4$).

Перемкнути пакетний перемикач (рис. 2.1) в автоматичний режим та тумблером включити лічильник імпульсів керування « n_c » – «АВТ».

Виконати пункти програми 2, 3, 4 та зробити висновки щодо дослідження крокових двигунів № 1 та № 2.

2.3 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

- Повторити теоретичний матеріал:
 - будова і принцип дії крокового двигуна;
 - основні характеристики крокового двигуна;
 - визначення основних характеристик.
- Ознайомитись зі схемами керування кроковими двигунами.
- Підготувати протокол лабораторних випробувань крокових двигунів № 1, № 2.

2.4 Паспортні дані крокових двигунів

Кроковий двигун ПБМГ – 200 – 265:

- шість виводів,

- дві обмотки з середньою точкою;
- опір півобмотки 70 Ом;
- кількість кроків на оберт – 200;
- момент на валу 400 грам/м при $U_{жс} = +12$ В.

Кроковий двигун СДВ 15/100 триобмотковий; $U_{жс} = 24$ В.

Лічильник імпульсів СН 105-1 РФ 27200, $U_{жс} = 24$ В.

Блок живлення: $U_{вх} = \sim 220$ В; 50 Гц; $U_{вих} = +5$ В; +12 В; +24 В.

2.5 Зміст звіту

1. Титульний лист.
2. Робочий протокол досліджень.
3. Мета та програма лабораторної роботи.
4. Короткі теоретичні відомості.
5. Схема електрична структурна дослідної установки.
6. Таблиця, розрахункові дані та характеристики для визначення кутів β , β_1 , β_2 нахилу характеристик до осі абсцис.
7. Висновки.

2.6 Контрольні запитання

1. Будова та принцип дії крокового двигуна.
2. Основні вимоги до крокових двигунів.
3. Основні типи крокових двигунів.
4. Особливості конструкції крокового двигуна.
5. Основні параметри, які характеризують роботу крокового двигуна.
6. Схема керування кроковим двигуном № 1.
7. Схема керування кроковим двигуном № 2 (в автоматичному режимі).

Література

1. Арменский Е. В., Фалк Г. Б. Электрические микромашины – М. : Высшая школа, 1968. – 214 с.
2. Кенио Т. Шаговые двигатели и их микропроцессорные системы управления / Т. Кенио; пер. с англ. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 200 с.
3. Ридико Л. Шаговые двигатели // Схемотехника. – 2002. – № 1. – С. 32-40.
4. Дискретный электропривод с шаговыми двигателями / Ивоботенко Б. А., Рубцов В. П., Садовский Л. А. и др.; Под общ. ред. М. Г. Чиликина. – М. : Энергия, 1971. – 624 с.

Додаток А

Схеми керування кроковим двигуном

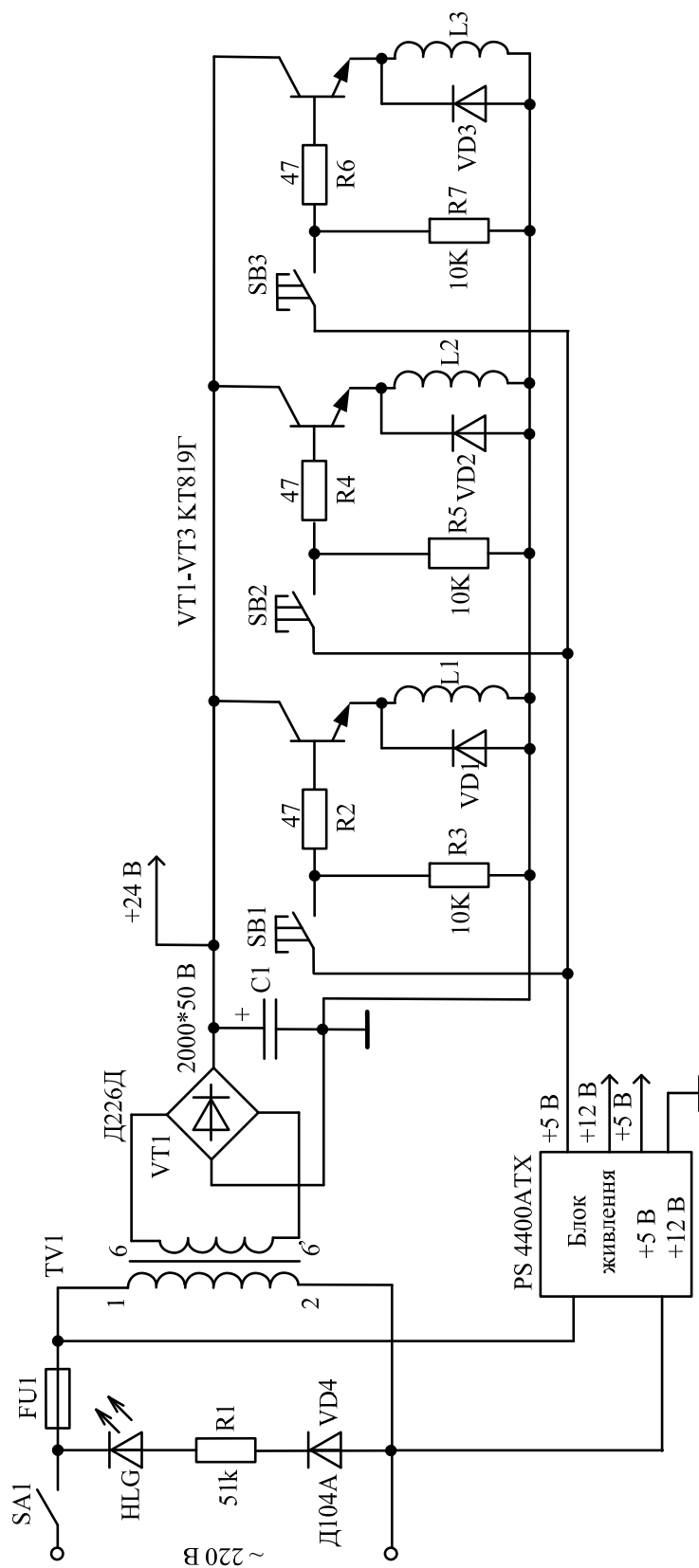


Рисунок А.1 – Схема електрична принципова керування кроковим двигуном № 1

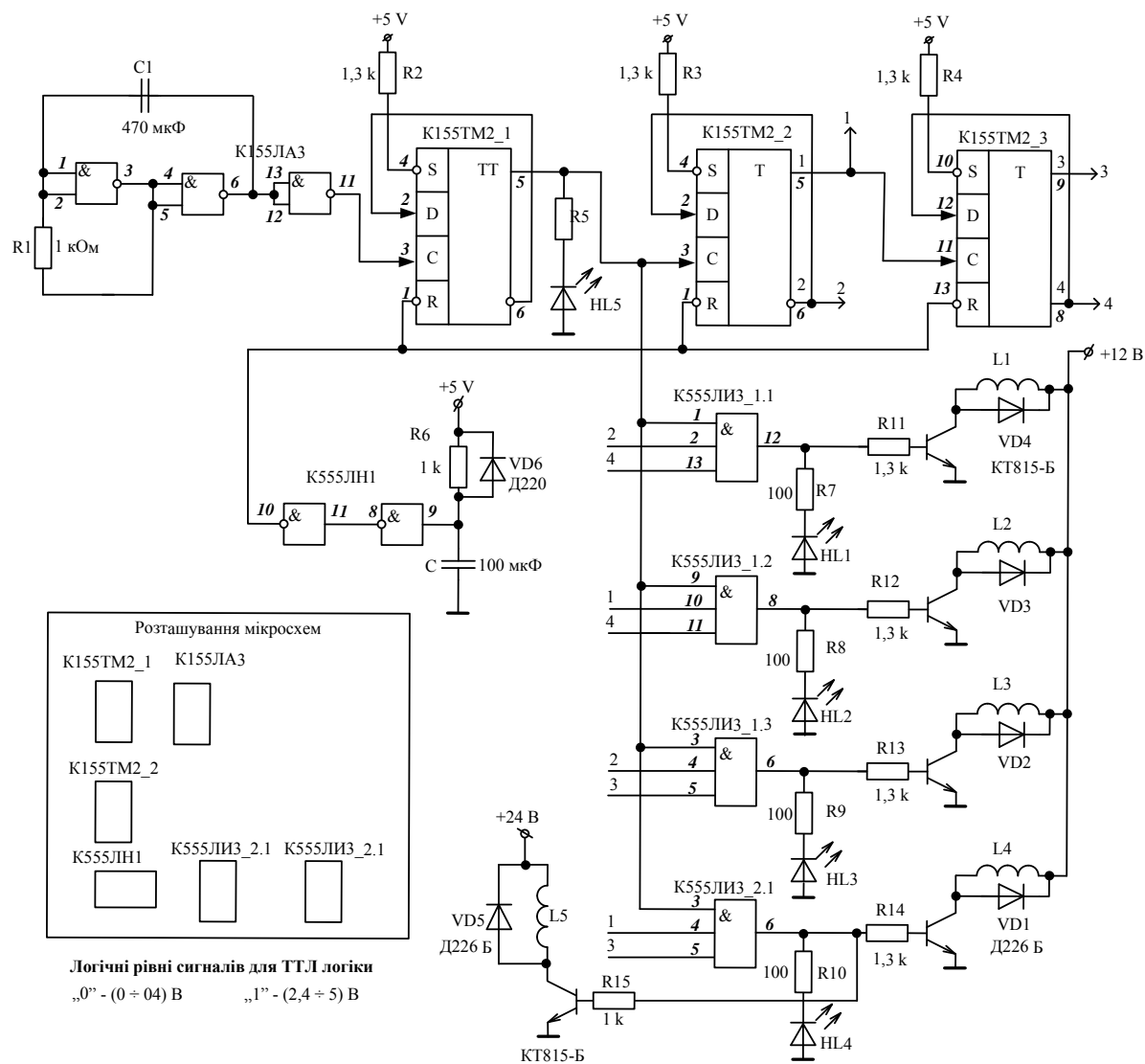


Рисунок А.2 – Схема електрична принципова керування кроковим двигуном № 2

Навчальне видання

**Методичні вказівки
до виконання лабораторної роботи
з дисципліни "Спеціальні електричні машини"
для студентів напрямку підготовки
"Електромеханіка"**

на тему: "Дослідження крокового двигуна"

Редактор Т. Старічек

Укладачі: Михайло Петрович Розводюк
Микола Омелянович Казак

Оригінал-макет підготовлено М. Розводюком

Підписано до друку
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Друк різнографічний. Ум. друк. арк.
Наклад прим. Зам. №

Вінницький національний технічний університет,
навчально-методичний відділ ВНТУ.
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, к. 2201.
Тел. (0432) 59-87-36.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК №3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано у Вінницькому національному технічному університеті
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі.
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-87-38.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК №3516 від 01.07.2009 р.