

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра електрифікації, автоматизації
виробництва та інженерної екології
Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Барановський Дмитро Миколайович

УДК 620.93

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**Розрахунок та обґрунтування параметрів перетворювачів частоти з
поліпшеними енергетичними показниками для електроприводу
стригальних машин**

141 “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”
(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи
Палійчук В.К.
к.т.н., доцент

Житомир – 2020

АНОТАЦІЯ

Барановський Дмитро Миколайович. Розрахунок та обґрунтування параметрів перетворювачів частоти з поліпшеними енергетичними показниками для електроприводу стригальних машин. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 141 “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”. – Поліський національний університет, Житомир, 2020.

Розрахунок оптимальних кутів включення вентилів і діапазону роботи ключів за пропонованою методикою забезпечує отримання $\cos \varphi = 0,9$ для системи «вентильний перетворювач - трансформатор», $\cos \varphi = 0,88$ для системи «вентильний перетворювач - асинхронний двигун», коефіцієнта спотворення третьої, п'ятої, сьомої та дев'ятої гармонік відповідно 2,14%, 1,45%, 1,48%, 1,14%, що значно нижче допустимих значень по ДСТУ 13109-97.

Порівняльний аналіз розроблених перетворювачів з серійним перетворювачем частоти ІЕ-9405 дозволив визначити поліпшення параметрів розроблених перетворювачів:

- за питомою потужністю, ВА / кг: ВП-Т на 14%, ВП-АД на 26%;
- за питомою обсягом, ВА / дм^3 : ВП-Т на 21%, ВП-АД на 32%.

Запропонована схема включення стригальних машинок в систему ВП-АД дозволяє підвищити ККД пристрою до 0,86, що на 18% більше ніж у ІЕ - 9405.

Порівняльний аналіз і практична перевірка перетворювачів частоти по вихідним параметрам показали, що коефіцієнт спотворення кривої вихідної напруги при номінальному навантаженні перетворювача ВП-Т становить 8%, ВП-АД – 5,5%, ІЕ -9405 – 11,7% та по параметричних показниках ВП-Т перевершує зразок на 7,5%, ВП-АД – на 6%;

Ключові слова: перетворювач, частота, електропривод, стригальна машинка.

ANNOTATION

Baranovsky Dmitry Nikolaevich. Calculation and substantiation of parameters of frequency converters with improved energy indicators for electric drive of shearing machines. – *Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualification work for a master's degree in the specialty 141 "Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics". - Polissya National University, Zhytomyr, 2020.

The calculation of the optimal angles of the valves and the range of operation of the keys according to the proposed method provides a $\cos \varphi = 0.9$ for the system "valve converter - transformer", $\cos \varphi = 0.88$ for the system "valve converter - induction motor", the distortion factor of the third, n of the seventh, seventh and ninth harmonics, respectively, 2.14%, 1.45%, 1.48%, 1.14%, which is significantly lower than the allowable values according to DSTU 13109-97.

Comparative analysis of the developed converters with the serial frequency converter ИЭ -9405 allowed to determine the improvement of the parameters of the developed converters:

- by specific power, VA / kg: VP-T by 14%, VP-AD by 26%;
- by specific volume, VA / dm³: VP-T by 21%, VP-AD by 32%.

The proposed scheme of inclusion of shearing machines in the system VP-AD allows to increase the efficiency of the device to 0.86, which is 18% more than in I ИЭ - 9405.

Comparative analysis and practical testing of frequency converters on the output parameters showed that the distortion coefficient of the output voltage curve at rated load of the converter VP-T is 8%, VP-AD – .5%, IE -9405 – 11.7% and on parametric indicators VP-T exceeds the sample by 7.5%, VP-AD – by 6%;

Key words: converter, frequency, electric drive, clipper.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ЗАСТОСУВАННЯ ПІДВИЩЕНОЇ ЧАСТОТИ В СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОМУ ОБЛАДНАННІ ТА ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ СТРИГАЛЬНИХ МАШИНОК.....	8
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	12
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ СТРИГАЛЬНОЇ МАШИНИКИ ПРИ ЗМІНІ ПАРАМЕТРІВ НАПРУГИ ЖИВЛЕННЯ.....	18
ВИСНОВКИ.....	28
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	29

ВСТУП

У будь-якому сучасному технологічному обладнанні основною ланкою є електропривід, який і споживає значну частку електроенергії, тому вирішення завдань по енергозбереженні електроприводів присвячені численні публікації у вітчизняній та зарубіжній літературі.

Розвиток силової перетворювальної техніки дозволяє використовувати для живлення електродвигуна напругу зі змінними параметрами. Однак, перетворювачі створюють додаткові втрати в мережі електроенергії як за рахунок струму, так і низького коефіцієнту потужності, що визначає важливість пошуку раціональних шляхів перетворення параметрів електричної енергії.

З урахуванням технології стрижки та низької кваліфікації персоналу, обслуговування стригальних пунктів, а також особливості роботи в кліматичних зонах з підвищеною температурою повітря, що несприятливо впливає на роботі електрообладнання, до джерел живлення електроприводу стригальних машинок пред'являються такі вимоги:

- 1) простота конструкції і надійність в експлуатації;
- 2) можливість тривалої роботи (10-12 годин) при температурі навколишнього серед, іноді $+ 35^{\circ} \text{C}$;
- 3) можливість витримувати короточасні перевантаження.

Перетворювачі частоти для електростригальних агрегатів ІЭ-9405, ІЭ-9406 експлуатуються багато років в вівчарських господарствах України, мають низький ККД і зовнішні характеристики, а нестабільність і несинусоїдальність вихідної напруги перетворювачів веде до перегріву обмоток електродвигуна, вбудованого в ручку стригального машинки, що призводить до зниження продуктивності праці і значного скорочення терміну служби електродвигуна. Таким чином, питання розробки різних способів перетворення електричної енергії, спрямованих на поліпшення енергетичних показників перетворювальних пристроїв, створення на цій основі перетворювачів частоти з

хорошими енергетичними та експлуатаційними показниками для електроприводу стригальних машинок є актуальним завданням.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є наукове обґрунтування схемних рішень перетворювачів частоти з поліпшеними енергетичними показників і створення на цій основі перетворювачів частоти для електропривода стригальних машинок з поліпшеними експлуатаційними та масогабаритними характеристиками.

Відповідно до поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- Проаналізувати застосування підвищеної частоти в сільськогосподарському обладнанні;
- Визначити основні вимоги до джерел живлення стригальних машинок;
- Розробити методику досліджень;
- Провести дослідження та проаналізувати результати.

Об'єкт дослідження: перетворювачі частоти з керованими силовими вентилями для електроприводу стригальних машинок.

Предмет дослідження: Предметом дослідження є закономірності перетворення частоти при різних схемних і конструктивних рішеннях перетворювальних пристроїв, їх вплив на роботу стригальних машинок.

Методи дослідження. У роботі був використаний ряд конкретних методів: класифікації, статистичного спостереження, порівняльного і факторного аналізу, математичного планування експерименту, фізичного і математичного моделювання та ін.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. **Барановський Д. М.** Дослідження електроприводу стригальної машинки при зміні параметрів напруги живлення. Збірник тез VI-ї всеукраїнської науково-практичної конференції *«Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»* 9-10 квітня 2020 року. Житомир : ЖАТК. С. 199-200.

2. Палійчук В.К., **Барановський Д. М.** Застосування підвищеної частоти в сільськогосподарському обладнанні. Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали II Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції (Мелітополь, 02-27 листопада 2020 р.) Мелітополь : ТДАТУ, 2020. С. 707-708.

1. Палійчук В. К., **Барановський Д. М.** Основні вимоги до джерел живлення стригальних машинок. IX Міжнародна науково-технічна конференція «Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві» (05-24 жовтня 2020 р.). [Електроний ресурс] – <http://animal-conf.inf.ua/conf.html>.

Практичне значення одержаних результатів. Результати роботи можуть бути впровадженні в підприємствах агропромислового комплексу Житомирської області.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 17 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 30 сторінок комп'ютерного тексту, містить 2 таблиці і 10 рисунків.

РОЗДІЛ 1

ЗАСТОСУВАННЯ ПІДВИЩЕНОЇ ЧАСТОТИ В СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОМУ ОБЛАДНАННІ ТА ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ СТРИГАЛЬНИХ МАШИНОК

Застосування електродвигунів підвищеної частоти для приводу сільськогосподарських механізмів призвело до збільшення продуктивності цих механізмів, підвищення надійності їх роботи, зменшення металоємності і їх вартості. В окремих випадках тільки завдяки застосуванню електроприводів підвищеної частоти вдалося створити нові високопродуктивних механізмів і замінити важку ручну працю (плодоовочеві агрегат та ін.) [1-4].

Найбільш ефективним є застосування електроприводу підвищеної частоти на сучасному етапі для сільськогосподарських механізмів з високошвидкісними робочими органами і, зокрема, молочних сепараторів (вершковідділювач і молокоочисник), аерозольних генераторів та заглибних електронасосів.

У ряді робіт показана перспективність застосування електроприводу підвищеної частоти в рослинництві і тваринництві. Так застосування цих електроприводів для кормоприготувальних машин - молоткових кормодробарок і соломосилосорізок збільшує окружну швидкість молотків кормодробарок, за рахунок чого збільшується економічність подрібнення і продуктивність машини, так як виробник молоткових дробарок прямо пропорційна квадрату частоти обертання ротора [5-8].

Застосування електродвигуна підвищеної частоти з зовнішнім ротором перспективно для створення удосконалених соломосилосорізок, у яких зусилля різання значно знижується з ростом швидкості різання. Крім того, підвищення частоти обертання роторів цих машин сприяє рівномірності обертання ножових барабанів, в зв'язку з чим відпадає необхідність у застосуванні маховиків.

Застосування зазначеного електродвигуна сприяє виконання компактною машини з високими техніко-економічними показниками [9-10].

В рослинництві перспективно застосування електроприводу підвищеної частоти струму для електрогілкорізу (збільшення продуктивності в 4 рази); пили дискової для обрізки гілок (в 1,5 рази); ручного ротаційного культиватора для овочівництва (в 1,6-1,8 рази); ручного для підрізання бур'янів і руйнування ґрунтової кірки.

Дуже ефективний частотно-керований електропривід для механізму подачі лісопильних рам, що широко застосовуються на підсобних підприємствах в сільськогосподарському виробництві. Застосування цього електроприводу дозволяє істотно збільшити надійність робіт, зменшити експлуатаційні витрати, забезпечити вибухо- та пожежобезпечність експлуатації електрообладнання в лісопильних цехах.

Дуже важливим є техніко-економічний ефект при застосуванні електроприводів підвищеної частоти для ручного електроінструменту. Порівняно з машинкою для стрижки овець типу МСО-77Б на 50 Гц, машинки на 200 Гц мають масу приблизно в 4-5 разів меншу. ККД машинок на 200 Гц на 6,5% більше, ніж ККД машинки на 50 Гц [9-12].

В даний час основними джерелами живлення високочастотних стригальних машинок є асинхронні електромашинні перетворювачі частота типу ИЭ-9405. Відомо, що сільські мережі досить часто характеризуються досить різкими коливаннями напруги, які негативно впливають на роботу багатьох електроприймачів, в тому числі і на електромашинні перетворювачі, які навіть при номінальній нарузі в мережі мають недостатньо жорстку зовнішню характеристику. За даними, наведеними, при коефіцієнті потужності навантаження, що дорівнює 0,7 (вище він практично не буває у групових та індивідуальних графіків стригальних машинок), до електромашинні перетворювач можна підключати навантаження, лише 43% від номінальної.

Істотним недоліком електромашинних перетворювачів являється необхідність постійного і дуже ретельного контролю над станом струмознімачів. Навіть при невеликій підробці підшипникових вузлів биття вала призводить до іскріння між щітками і кільцями колектора. Профілактичний огляд і регулювання цих вузлів необхідно проводити щодня.

З урахуванням викладеного можна сформулювати наступні основні потреби до джерел живлення стригальних пунктів [4-8]:

1. Досить високий ККД у всьому діапазоні зміни вихідних параметрів ПЧ і його навантаження. Це одне з найважливіших вимог, так як ПЧ є силовим пристроєм, через яке передається потужність, яку споживає електродвигуном.

2. Мінімальні масогабаритні показники ПЧ. Це особливо важливо при необхідності періодичного переміщення його (наприклад, при живленні стригальних машинок). Дотримання цієї вимоги сприяє зменшенню масогабаритних показників самих робочих механізмів, економії матеріалів, транспортних витрат і виробничих площ.

3. Досить високий коефіцієнт потужності.

4. Високі показники надійності. Висока безвідмовність ПЧ досягає не тільки вибором високонадійних схем і елементів, зниженням статичних і динамічних навантажень цих елементів, мінімізацією їх кількості, але і забезпеченням стійкості режимів роботи всіх вузлів ПЧ.

5. Забезпечення достатньої стабільності вихідної напруги при коливаннях навантаження і напруги в мережі.

6. Мала асиметрія за фазами вихідної напруги (або струму).

7. Вільний або керований обмін реактивної енергією між ПЧ і електродвигуном, між мережею і електродвигуном або між фазами електродвигуна у всьому діапазоні зміни вихідної частоти, коефіцієнта потужності і навантаження.

8. Мінімальний вплив на якість напруги мережі живлення.

9. Безпека експлуатації та ремонтпридатність перетворювача частоти.

При використанні стригальних машинок МСО-77Б з приводом від електродвигуна АОЛБ-22/2 гнучкий вал приводу стригального машинки створює значні труднощі при стрижці через реактивного моменту, підсилює стомлюваність стригалю і, в кінцевому підсумку, є гальмом для подальшого підвищення продуктивності праці [16-17].

Висновки по розділу 1

У зв'язку з цим очевидні переваги електроприводу підвищеної частоти, у якого відсутній гнучкий вал, а електродвигун вбудований в стригальну машину.

До електроприводу підвищеної частоти стригальної машинки пред'являються наступні основні вимоги:

- достатня надійність і довговічність елементів електроприводу;
- достатня потужність електродвигуна, що забезпечує нормальну роботу машинки з оптимальними значеннями ККД і коефіцієнта потужності.

У зв'язку з цим перетворювач частоти повинен відповідати наступним вимогам:

- забезпечення достатньої стабільності рівня вихідної напруги при коливаннях навантаження і напруги в мережі;
- забезпечення стабільності частоти вихідної напруги;
- забезпечення мінімуму спотворення синусоїди вихідної напруги.

У зв'язку з вищевикладеним, напрямком досліджень буде заключатися в розробці перетворювачів з можливістю стабілізації напруги і частоти на навантаженні і мінімізації спотворення кривої вихідної напруги.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Аналіз літератури присвяченої вентильним перетворювачам і проведені теоретичні дослідження показали, що робота ФВПЧ в основному може бути описана аналітично, але при цьому необхідні певні доповнення і уточнення. Виходячи з цього, була поставлена основна мета - експериментальна перевірка основних теоретичних положень, їх уточнення і доповнення.

Більш конкретними завданнями ставилося:

- перевірити працездатність основних схем ФВПЧ;
- перевірити придатність основних розрахункових залежностей до практичного використання;
- зняти основні характеристики ФВПЧ в різних режимах роботи. Для дослідження був виготовлений випробувальний стенд, загальний вигляд якого показаний на рис. 2.1.



Рис. 2.1. Зовнішній вигляд випробувального стенду

Конструкція випробувального стенду дозволяє проводити дослідження статичних і динамічних перетворювачів частоти.

Програма досліджень включає в себе проведення наступних дослідів:

- дослідження впливу нестабільності вихідних параметрів перетворювачів частоти на роботу електроприводу стригальної машинки.
- визначення робочих характеристик високошвидкісного електропривода;
- визначення впливу кута управління вентилями на енергетичні характеристики перетворювачів частоти.

При проведенні експериментів використовувалися вимірювальні прилади: комплект вимірювальний К505, К506, амперметри і вольтметри електромагнітної та магнітоелектричної систем. При необхідності розширення використання меж вимірювань струмів використовуються трансформатори струму И515. Для візуального контролю за ходом процесів при фазуванні і робочому режимі електроприводу використовуються електроннопроменеві осцилографи С1-93, С1-69. Осцилограми напруг зняті за допомогою шлейфного осцилографа Ш10-2.

Важливе значення при проведенні експериментальних досліджень має обробка їх результатів. Найбільш достовірні результати дають методи засновані на теорії ймовірності та математичної статистики.

При перевірці відповідності експериментальних даних теоретичним положенням використаний імовірнісний метод, причому в якості контрольного параметра розглядалося відносне значення відхилення досліджуваної електричної величини від її очікуваного значення. Даний метод полягає в наступному:

1. У кожній контрольній точці виміру визначається середньоарифметичне значення величин, які теоретично є рівними:

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}; \quad (2.1)$$

де n – число величин (для кожного параметр окремо);

x – будь-який однорідний параметр (струм, напруга, потужність).

2. Розраховуються абсолютні похибки результатів окремих вимірювань

$$\Delta x_i = \bar{X} - x_i. \quad (2.2)$$

3. Визначається середньоквадратична похибка окремого вимірювання

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum (\bar{x} - x_i)^2}{n-1}}. \quad (2.3)$$

4. Обчислюється середньоквадратична похибка середнього арифметичного:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n(n-1)}} = \frac{S_n}{\sqrt{n}}. \quad (2.4)$$

5. Розраховується інтервал:

$$\Delta x = t_{\alpha n} \cdot S_{\bar{x}}, \quad (2.5)$$

де $t_{\alpha n}$ знаходиться по таблиці коефіцієнтів Стюдента. На практиці результати вважаються надійними, якщо довірна ймовірність становить $\alpha = 0,95$.

6. Остаточний результат записується у вигляді:

$$x = \bar{x} \pm \Delta x. \quad (2.6)$$

7. Відносна похибка результату вимірювань обчислюється:

$$\varepsilon = \frac{\Delta x}{x} \cdot 100\%. \quad (2.7)$$

8. Робляться загальні висновки щодо достовірності та точності отриманих результатів, адекватності їх теоретичним.

Цей метод дає хороші результату при перевірочних експериментах, але не дозволяє сам по собі встановити яку-небудь закономірність.

Істотний вплив на роботу стригальних машинок МСУ-200 надає джерело живлення. Відхилення частоти і напруги від номінальних значень призводять до погіршення режиму роботи стригальної машинки і, як наслідок цього до підвищення температури обмоток двигуна. Крім того, несинусоїдальність вихідної напруги перетворювача призводить до появи вищих гармонік струму, що також спричиняє підвищення температури обмоток.

Таким чином, для знаходження шляхів поліпшення режимів роботи стригальних машинок необхідно досліджувати вихідні характеристики джерела живлення підвищеної частоти струму.

З метою аналізу роботи перетворювача ІЕ-9405 розглянемо каскад АПЧ-АД. Скористаємося класичною Т-образною схемою заміщення перетворювача (АПЧ) і електродвигуна з'єднавши їх послідовно. Виберемо такий момент, коли від перетворювача частоти буде отримувати електроенергію лише одна стригальна машинка (рис. 2.2).

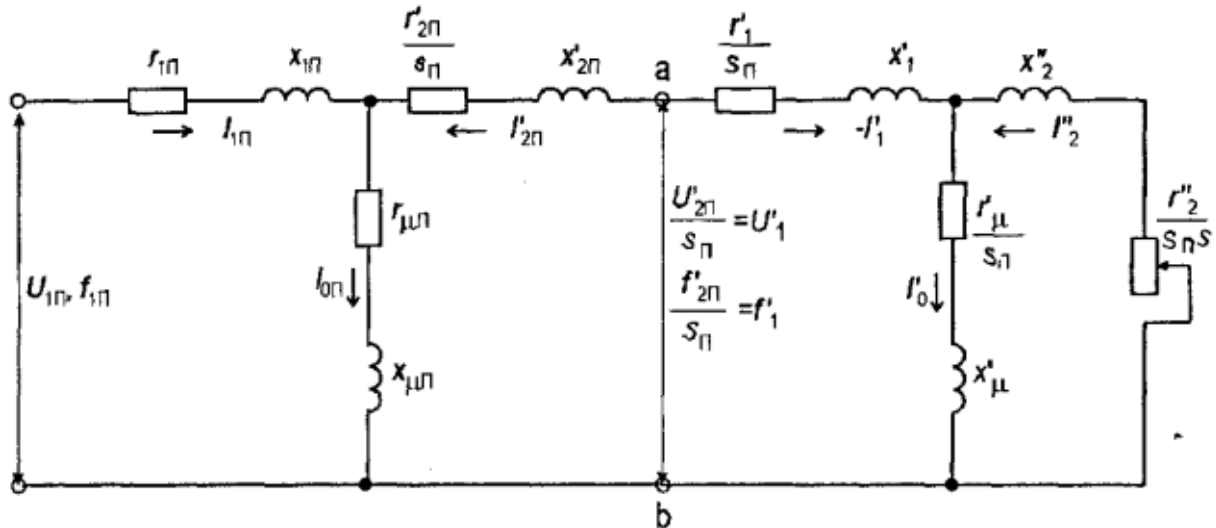


Рис. 2.2. Схема заміщення перетворювача і електродвигуна

За схемою параметри з індексом "П" відносяться до АПЧ, а без індексу - до електродвигуна стригальної машинки.

Згідно зі схемою маємо:

$$\dot{i}_{1\pi}(r_{1\pi} + jx_{1\pi}) + (r_{\mu\pi} + jx_{\mu\pi})(\dot{i}_{1\pi} + \dot{i}'_{2\pi}) = U_{1\pi}, \quad (2.8)$$

$$-\dot{i}'_{2\pi}\left[\left(\frac{r'_{2\pi} + r'_1}{s_\pi}\right) + j(x'_{2\pi} + x'_1)\right] - (r_{\mu\pi} + jx_{\mu\pi})(\dot{i}_{1\pi} + \dot{i}'_{2\pi}) = 0, \quad (2.9)$$

$$-\dot{i}''_2\left(\frac{r''_2}{s_\pi S} + jx''_2\right) - \left(\frac{r'_\mu}{s_\pi} + jx'_0\right)(\dot{i}''_2 - \dot{i}'_1) = 0, \quad (2.10)$$

$$\dot{i}_{0\pi} = \dot{i}_{1\pi} + \dot{i}'_{2\pi}, \quad (2.11)$$

$$\dot{i}'_0 = \dot{i}''_2 - \dot{i}'_1. \quad (2.12)$$

Як видно зі схеми заміщення та похідних від неї рівнянь (2.8) - (2.12), величина $\frac{r'_2}{s_\pi S}$ є функцією частоти на виході АПЧ, тобто залежить від ковзання S_π . Отже, струм в гілці намагнічування електродвигуна і його магнітний потік будуть змінюватися зі зміною навантаження на перетворювач. Напряга на

виході перетворювача, або, інакше кажучи, на затискачах обмотки статора електродвигуна стригальної машинки також змінюється в залежності від зміни $S_{\text{п}}$.

Одними з найважливіших характеристик перетворювача є його зовнішні характеристики $U_2 = F(I_2)$ зняті при різних коефіцієнтах потужності навантаження (рис. 2.3).

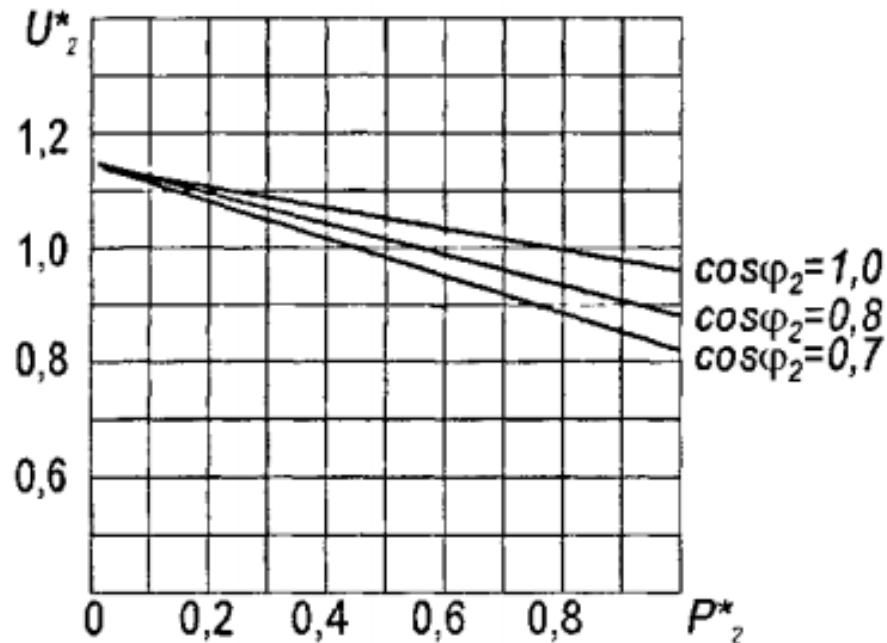


Рис. 2.3. Зовнішні характеристики АПЧ.

Як видно з наведених характеристик зростання навантаження обумовлює зниження напруги на затискачах АПЧ. Так при навантаженні з $\cos \varphi_2 = 0,8$ і номінальній напрузі, що віддається перетворювачем потужність становить 50% $P_{\text{н}}$, а при навантаженні з $\cos \varphi_2 = 0,7$ - 43% $P_{\text{н}}$.

Велика втрата напруги в обмотці статора АПЧ при коефіцієнтах потужності менших одиниці пояснюється значущістю розмагнічуючої дії навантаження, що носить індуктивний характер і споживає в цьому випадку велику реактивну потужність.

Втрата напруги в АПЧ може бути розрахована за формулою:

$$\Delta U \approx (\beta_1 U_{\alpha 1} + \beta_2 U_{\alpha 2}) \cos \varphi_2 + (\beta_1 U_{\rho 1} + \beta_2 U_{\rho 2}) \sin \varphi_2, \quad (2.13)$$

де β_1 і β_2 - коефіцієнт завантаження ротора і статора АПЧ;

$U_{\alpha 1}$ і $U_{\alpha 2}$ - втрати напруги в активних опорах ротора і статора;

U_{p1} і U_{p2} - втрати напруги в реактивних опорах ротора і статора.

Висновки по розділу 2

В другому розділі магістерської роботи розроблено методику дослідження енергетичних показників для електроприводу стригальних машин.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ СТРИГАЛЬНОЇ МАШИНКИ ПРИ
ЗМІНІ ПАРАМЕТРІВ НАПРУГИ ЖИВЛЕННЯ

Розглянемо явища, що відбуваються в електродвигуні стригальної машинки при відхиленні напруги від номінальних значень ($U^* = \text{var}$).

При цьому момент опору залишається постійним, не залежно від числа обертів (рис. 3.1). Як видно з отриманих характеристик при зниженні напруги на 5% потужність зменшується на 10%, число обертів - на 10%, К.К.Д. - на 6%, струм, коефіцієнт потужності і ковзання збільшується відповідно на 4,5%, 5 і 40%.

На рис. 3.1 наведені характеристики електродвигуна при відхиленні напруги від номінального значення для різних моментів навантаження і номінальній частоті.

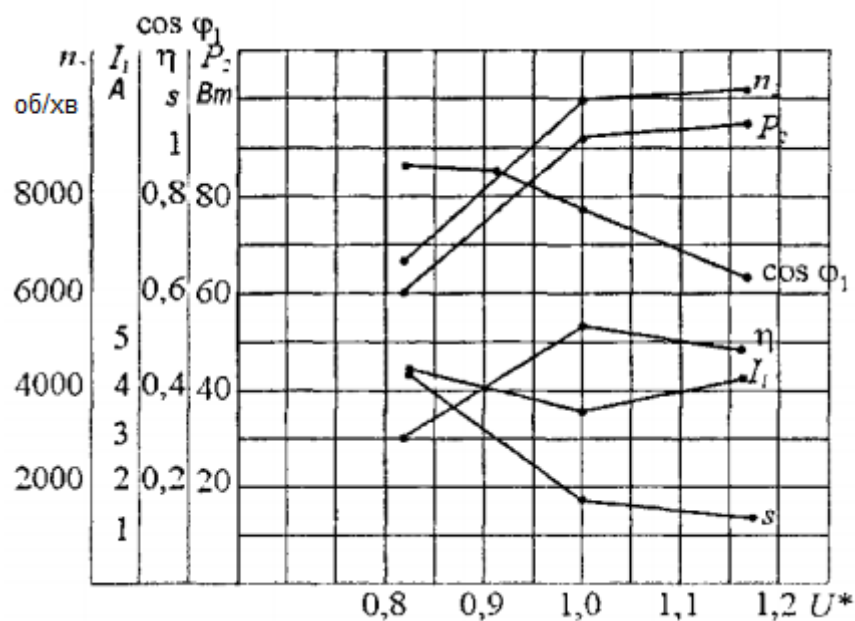


Рис. 3.1. Характеристики електродвигуна МСУ-200 при відхиленні напруги від номінального значення.

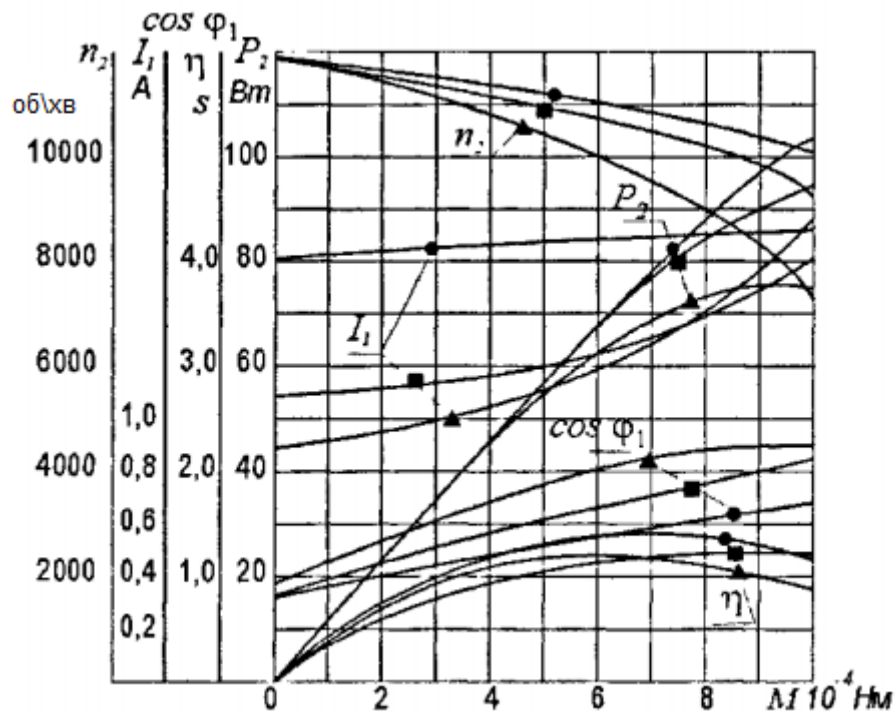


Рис. 3.2 Характеристики електродвигуна МСУ-200 при відхиленні напруги від номінального значення для різних моментів навантаження при номінальній частоті: ●-42В, ■-36В, ▲-32В.

Відхилення напруги в ту або іншу сторону від номінального значення при постійному моменті на валу викликає зростання струму статора і тим самим підвищення температури обмотки статора.

На рис. 3.3 показано відхилення перевищення температури обмотки статора в процентах при зміні напруги від величини, що відповідає роботі електродвигуна при номінальному навантаженні і номінальній напрузі:

$$\Delta t = \frac{t - t_{\text{НОМ}}}{t_{\text{НОМ}}} \cdot 100\%; \quad (3.1)$$

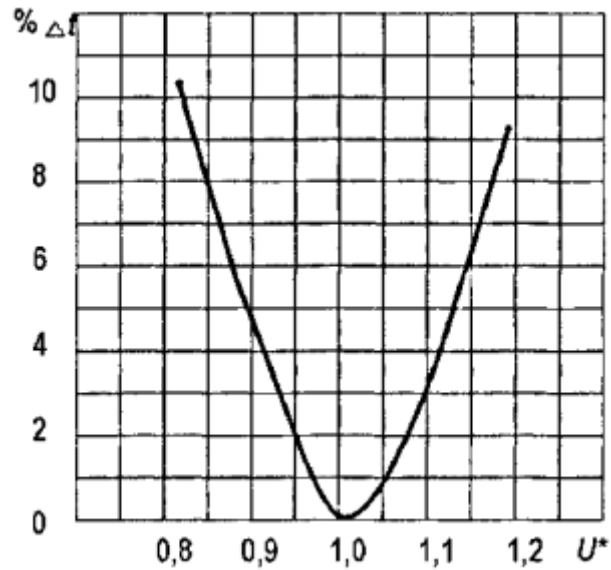


Рис. 3.3. Відносне відхилення перевищення температури обмотки статора двигуна МСУ-200 при відхиленні напруги

З графіка випливає, що при зміні напруги від 40 до 30 В ($U^*=1,11\div 0,83$) температура обмотки електродвигуна відповідно збільшується від 3,5 до 10,5%.

Розглянемо характеристики електродвигуна, що працює з постійним моментом опору і номінальною напругою при відхиленні частоти в сторону зменшення від номінального значення (рис. 3.4).

З характеристик видно, що зі зменшенням частоти на 3% потужність на валу зменшується на 5%, число обертів - на 4%, ККД - на 4%, відносне ковзання збільшується на 5,5%, незначно збільшується струм статора і зменшується коефіцієнт потужності. Значення в таблиці на рис. 3.5 показують вплив частоти на потужність, число обертів і ККД двигуна при різних моментах навантаження стригальної машинки.

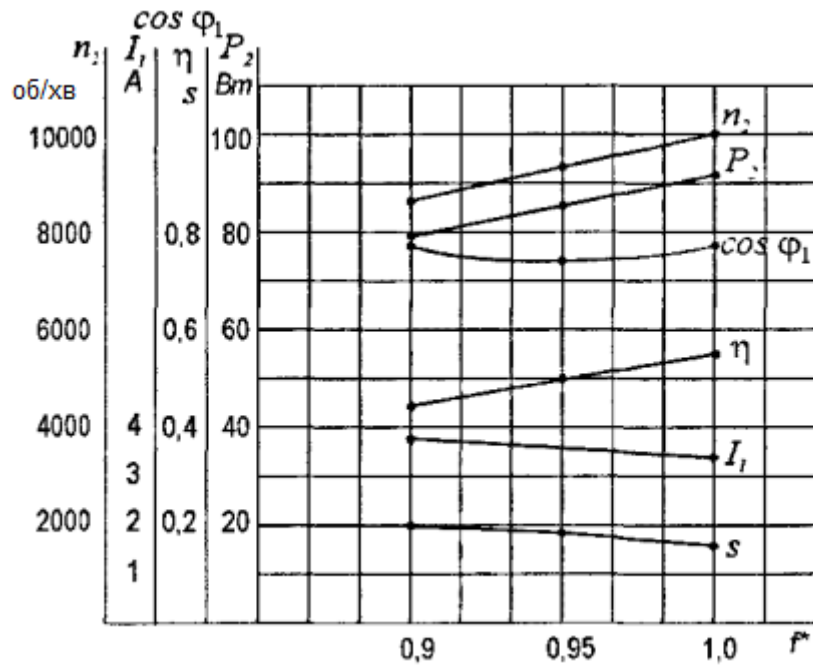


Рис. 3.4 - Характеристики електродвигуна при відхиленні частоти від номінального значення

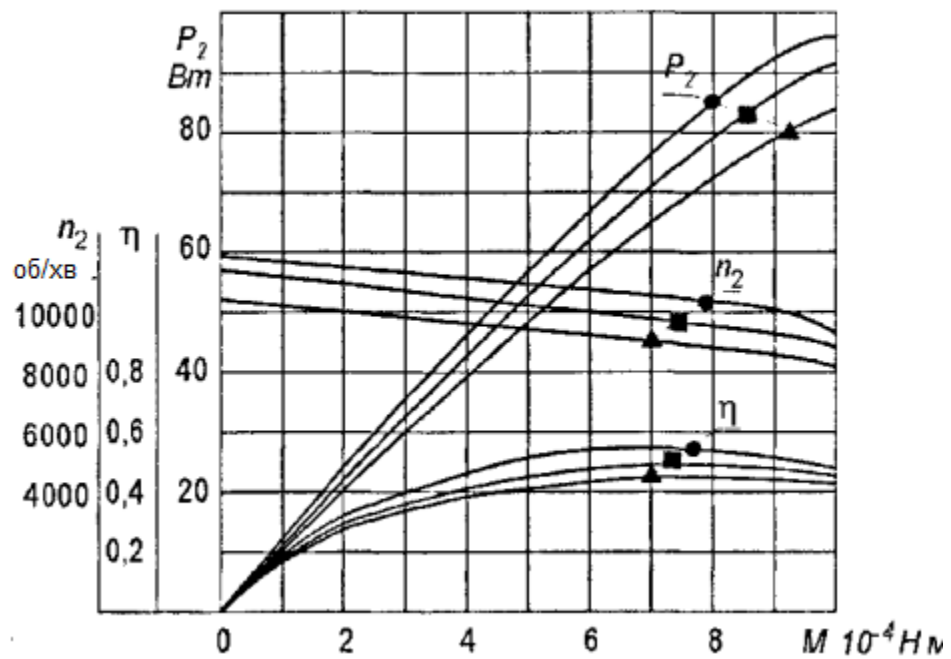


Рис. 3.5. Характеристики електродвигуна МСУ-200 при відхиленні частоти від номінального значення: ● - 200 Гц, ■ - 190 Гц, ▲ - 180 Гц

Вищі гармоніки напруги дещо зменшують коефіцієнт потужності і ККД і підвищують температуру електродвигуна.

Проведені дослідження електродвигуна показали, що на кожен відсоток збільшення несинусоїдальності кривої напруги живлення температура сталі статора підвищується на 1°C при навантаженні $P_2 = \frac{1}{2} P_{2н}$ і на $1,2^\circ\text{C}$ при $P_2 = P_{2н}$.

На рис. 3.6 наведені результати дослідження: крива 1 відповідає режиму електродвигуна $P_2 = P_{2н}$, $U_1 = 0,83U_{1н}$ і $K_{nu} = 17\%$; крива 2 - $P_2 = P_{2н}$, $U_1 = U_{1н}$ і $K_{nu} = 17\%$; крива 3 - $P_2 = P_{2н}$, $U_1 = U_{1н}$ і $K_{nu} = 12\%$; крива 4 - $P_2 = P_{2н}$, $U_1 = U_{1н}$ і $K_{nu} = 8\%$;

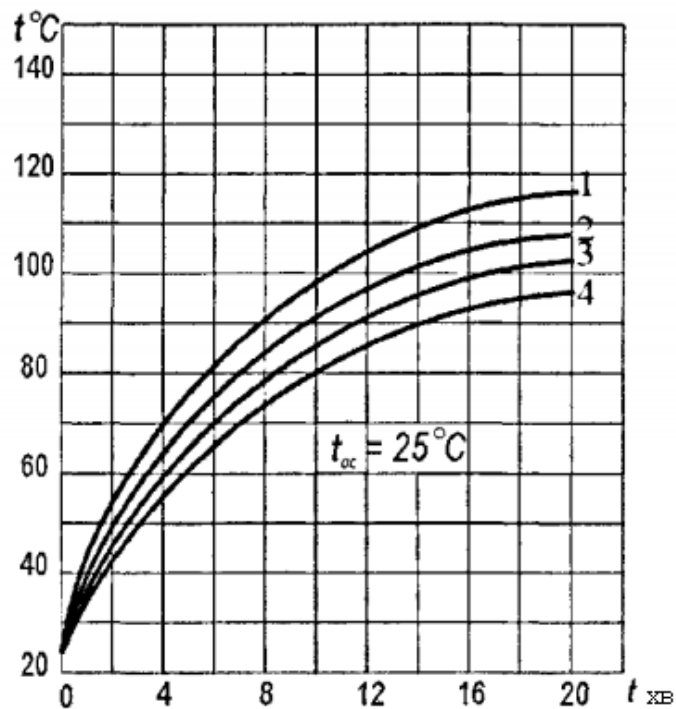


Рис. 3.6. Криві нагріву обмотки статора електродвигуна МСУ-200

Як видно з графіка, за час рівний 20 хвилинам, величина температури нагріву обмотки при $t_{oc} = +25^\circ\text{C}$ досягає 117°C , 108°C , 103°C і 97°C .

Аналіз графіка говорить про те, що температура нагріву обмотки електродвигуна стригальної машинки при $P_2 = P_{2н}$ буде знаходитися в межах норми тільки в режимі: $U_1 = U_{1н}$, $K_{nu} \leq 8\%$; і $t_{oc} \leq 25^\circ\text{C}$.

У всіх відмінних випадках від цього режиму електродвигун працювати не повинен, тому що ізоляція обмотки втрачає свої ізоляційні якості і термін служби електродвигуна скорочується.

В результаті нелінійності характеристик вентиляльних елементів в мережу вносяться спотворення: з'являються вищі гармоніки струму і напруги, що веде до зростання втрат електроенергії мережі живлення і погіршення якості енергії, що підводиться до інших споживачів.

ГОСТ 13109-97 встановлює показники і норми якості електричної енергії в електричних мережах систем електропостачання загального призначення. Оскільки феромагнітно-вентильні перетворювачі частоти є джерелами спотворень форми синусоїдальних струмів і напруг мережі живлення розглянемо різні режими роботи ФВПЧ.

За допомогою приладу (рис. 3.7) можна проводити аналіз впливу перетворювачів на живильну мережу в разі різних режимів роботи і різних кутах включення вентилів.



Рис. 3.7. Універсальний прилад

На рис. 3.8 показані криві струму і напруги в мережі живлення і їх гармонійний склад при роботі ФВПЧ потужністю 4 кВА, де в якості ключів

використані тиристори. Як видно з рис. 3.8 коефіцієнт спотворення третьої гармоніки напруги становить 2,14%, що менше значень по ДСТУ 13109-97, рівного 5%. У той же час, коефіцієнт спотворення третьої гармоніки струму становить 64,3%, що істотно впливає на рівень потужності спотворення в мережі.

Решта значення зведені в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Значення коефіцієнтів спотворення гармонійних складових

Номер гармоніки	Значення по ГОСТу	ВП-Т		ВП-АД
		на тиристорах	на транзисторах	
3	5%	2,14%	1,67%	1,23%
5	6%	1,45%	1,48%	1,31%
7	5%	1,48%	1,42%	1,15%
9	1,5%	0,83%	1,14%	0,92%

Як видно з таблиці, значення коефіцієнтів гармонійних складових напруги живлення не виходять за допустимі значення по ГОСТу.

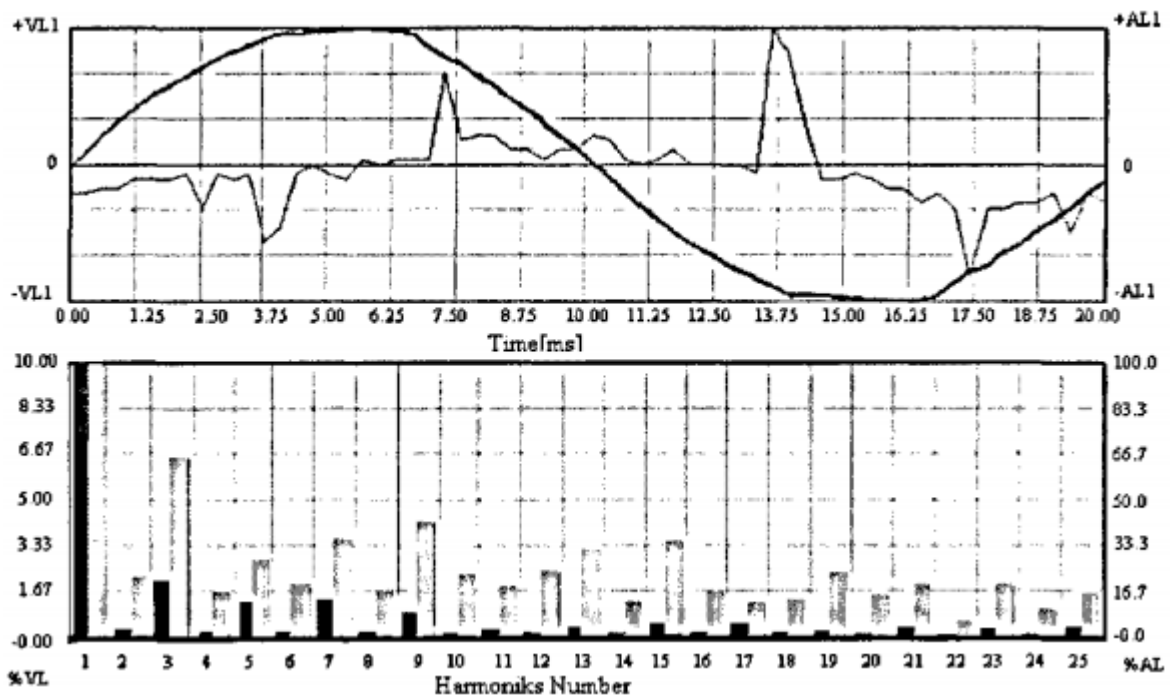


Рис. 3.8. Робота ВП-Т з тиристорними ключами

На рис. 3.9 показані криві струму і напруги ВП-Т при роботі з транзисторними ключами, на рис. 3.10 - криві струму і напруги при роботі системи ВП-АД.

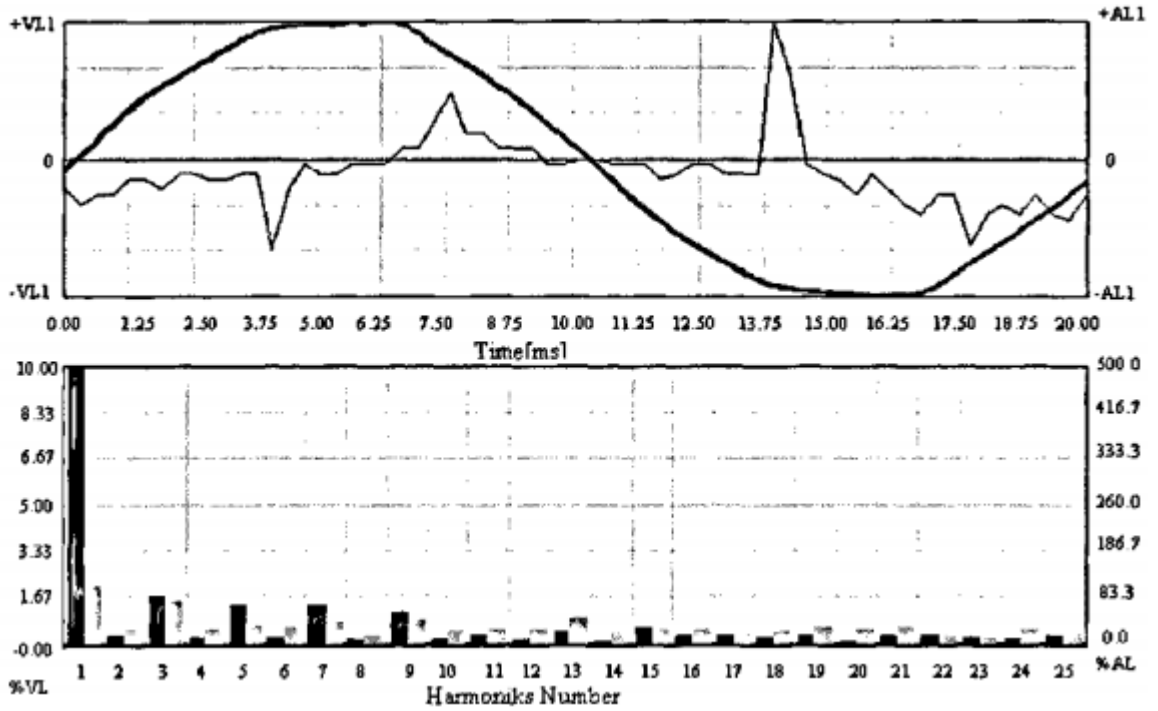


Рис. 3.9. Робота ВП-Т з транзисторними ключами

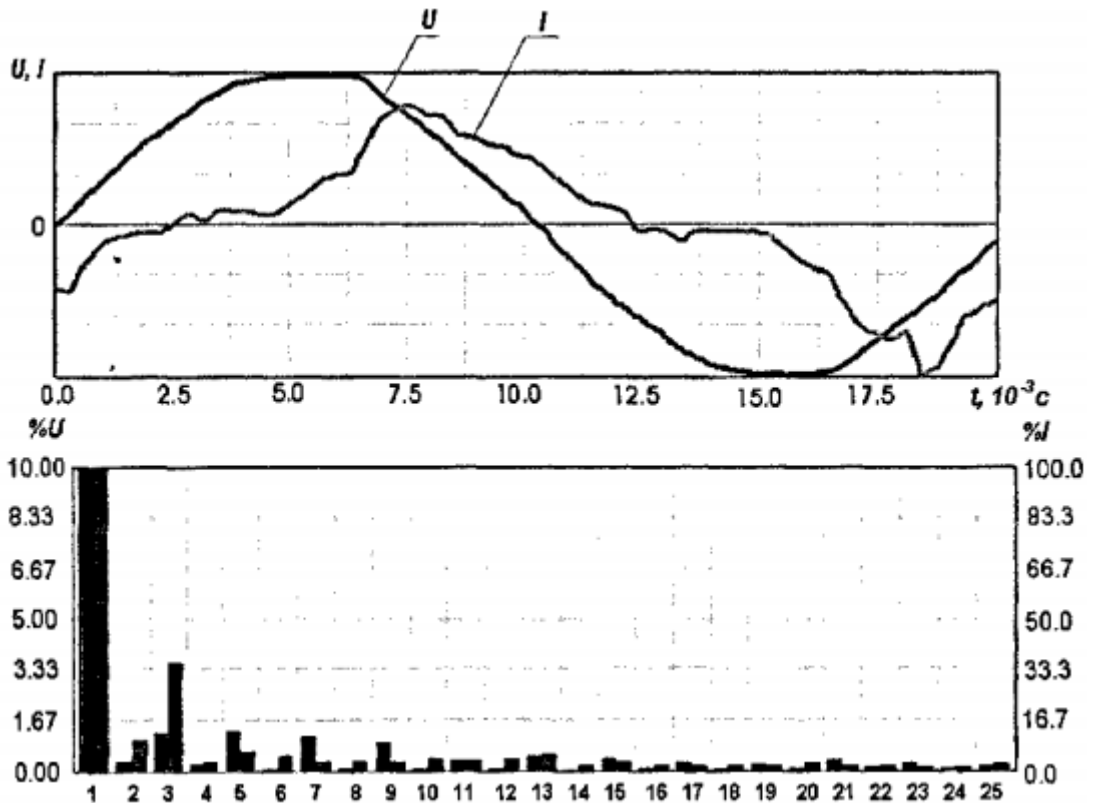


Рис. 3.10. Робота ВП-АД з транзисторними ключами

Як видно з рис. 3.8-3.10 при роботі перетворювачів в мережі з'являються вищі гармоніки струму, в деяких випадках значні за величиною. В результаті цього в мережі з'являється потужність спотворення, що веде до погіршення

коефіцієнта потужності мережі. Крім того, падіння напруги, обумовлені цими струмами, викликають спотворення кривої напруги мережі живлення, що веде до додаткових втрат переданої потужності.

Аналіз отриманих кривих струму і напруги в мережі для різних типів перетворювачів і різних режимів їх роботи дозволяє визначити діапазони роботи ключів з мінімальними спотвореннями напруги (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Оптимальні кути включення і виключення вентилів

Тип перетворювача	Діапазон роботи ключів	
	$\alpha_{\text{вкл}}$	$\alpha_{\text{выкл}}$
ВП-Т	$150^\circ \div 155^\circ$	$185^\circ \div 200^\circ$
ВП-АД	$0^\circ \div 20^\circ$ $135^\circ \div 155^\circ$ $180^\circ \div 200^\circ$ $315^\circ \div 335^\circ$	45° 180° 225° 360°

Висновки по розділу 3

1. Результати експериментальних досліджень ВП-Т і ВП-АТ підтвердили результати аналітичного розрахунку. Зовнішні характеристики ВП-Т отримані за розрахунковими даними узгоджуються з експериментальними.

2. Розрахункові значення швидкодії і коефіцієнта ударного струму системи ВП-АТ потрапляють в довірчий інтервал отриманий при обробці дослідних даних і мають зміщення від середнього значення на 1,6%.

3. Нагрівання обмотки двигуна стригальної машинки чинить вплив нестабільність вихідних параметрів джерела живлення:

- відхилення напруги в ту або іншу сторону від номінального значення при постійному моменті на валу викликає зростання струму статора і підвищення температури обмотки статора.

- несинусоїдальність кривої вихідної напруги перетворювача призводить до додаткового нагрівання обмоток статора двигуна стригальної машинки за рахунок вищих гармонік напруги.

4. Зменшення частоти напруги живлення двигуна стригальної машинки на 3% призводить до зменшення потужності на валу на 5%, числа оборотів на 4%, ККД на 4%.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Розрахунок оптимальних кутів включення вентилів і діапазону роботи ключів за пропонованою методикою забезпечує отримання $\cos \varphi = 0,9$ для системи «вентильний перетворювач - трансформатор», $\cos \varphi = 0,88$ для системи «вентильний перетворювач - асинхронний двигун», коефіцієнта спотворення третьої, п'ятої, сьомої та дев'ятої гармонік відповідно 2,14%, 1,45%, 1,48%, 1,14%, що значно нижче допустимих значень по ГОСТу 13109-97.

1. Порівняльний аналіз розроблених перетворювачів з серійним перетворювачем частоти ІЕ-9405 дозволив визначити поліпшення параметрів розроблених перетворювачів:

- за питомою потужністю, ВА / кг: ВП-Т на 14%, ВП-АД на 26%;
- за питомою обсягом, ВА / дм³: ВП-Т на 21%, ВП-АД на 32%.

3. Запропонована схема включення стригальних машинок в систему ВП-АД дозволяє підвищити ККД пристрою до 0,86, що на 18% більше ніж у ІЕ-9405.

4. Порівняльний аналіз і практична перевірка перетворювачів частоти по вихідним параметрам показали, що:

- вихідна частота розроблених перетворювачів не має відхилень при зміні навантаження, в той час, як у перетворювача ІЕ-9405 частота знижується на 5% при номінальному навантаженні;

- відхилення вихідної напруги перетворювачів ВП-Т і ВП-АТ досягає 3% при номінальному навантаженні, у перетворювача ІЕ-9405 - 18%;

- коефіцієнт спотворення кривої вихідної напруги при номінальному навантаженні перетворювача ВП-Т становить 8%, ВП-АД - 5,5%, ІЕ-9405 - 11,7%;

- по параметричних показниках ВП-Т перевершує зразок на 7,5%, ВП-АД - на 6%;

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Монтаж і пусконаладження фермерської техніки : навчальний посібник / за ред. І. І. Ревенка. Київ : Кондор, 2004. 400 с.
2. Практикум з електропривода / В. С. Олійник, О. С. Марченко, Е. Л. Жулай, Ю. М. Лавриненко. Київ : Урожай, 1999, 192 с.
3. Мякишев Н. Ф. Электропривод и электрооборудование автоматизированных сельскохозяйственных установок.. Москва : «Агропромиздат», 1986. 176 с.
4. Богатырев Н. И. Практикум по электроприводу. Краснодар, 2009. 288 с.
5. Фоменков А. П. Электропривод сельскохозяйственных машин, агрегатов и поточных линий. - М.: Колос, 1984. - 288 с. - С. 157-173.
6. Фоменков А.П. Электропривод сельскохозяйственных машин, агрегатов и поточных линий. Москва : Колос, 1984. 311 с.
7. Машини та обладнання для тваринництва : посібник-практикум / за ред. Ревенко І. І. Київ : Кондор, 2011. 396 с.
8. Ревенко І. І. Машини і обладнання для тваринництва. Київ : Кондор, 2009. 346 с.
9. Ревенко І. І. Посібник майстра-наладчика обладнання тваринницьких ферм і комплексів. Київ : Урожай, 1992. 287 с.
10. Механізація і автоматизація тваринництва : підручник / [Ревенко І. І. та ін.]. – Київ : Вища освіта, 2004 – 399 с. : іл.
11. Механізація трудомістких робіт у малих фермах / [за ред Ясенецького В. А. Київ: Урожай, 1990 с.
12. Машини і обладнання для тваринництва: підручник для студентів аграрних навчальних закладів I-II рівнів акредитації / за ред. І. І. Ревенко. Ніжин : Видавець ПП Лисенко М. М. 2017. 304 с.

13. Ревенко І. І., Щербак В. М., Побігун А. М. Машини та обладнання для тваринництва: практикум. Мелітополь : ТОВ “Видавничий будинок”, 2010. 155 с.
14. Давиденко В. М. Біотехнологічні фактори інтенсифікації відтворення овець. Київ : Аграрна наука, 1998.
15. Дьяченко Л. С., Шелест Л. С., Левінський В. А. Стороженко В. В. Інтенсифікація виробництва вовни і баранини. Київ : Урожай, 1987. 124 с.
16. Практикум з електропривода / за ред. В. С. Олійника. Київ : Урожай, 1995. 192 с.
17. Електропривод: Ч. 1. За ред. О. С. Марченка. Київ : Урожай, 1995. 208 с.