

Оптимізація обмоткових даних двошвидкісного конденсаторного двигуна

Л. Я. Белікова, А. М. Якімець, С. В. Пернак
Національний університет «Одеська політехніка»

Анотація. Для поширення функціональних можливостей конденсаторних двигунів перспективно застосування в них двох швидкостей. Застосована двофазна двошвидкісна обмотка, із перемиканням кількості полюсів, співвідношення яких складає $2p_1:2p_2=4:6$.

Проведені розрахунок та оптимізація обмоткових даних асинхронного двошвидкісного конденсаторного двигуна ДАВ-71-4/6.

Ключові слова: схема обмотки, число фаз, оптимізація, обмоткові дані, ККД.

Вступ

Науково-технічний прогрес у різних галузях народного господарства викликає зростання потреби в електричних машинах малої потужності. Особливе місце у виробництві машин малої потужності займають асинхронні конденсаторні двигуни (АКД), що широко застосовуються в промисловості, сфері обслуговування, побуті, тощо.

1. Постановка задач дослідження

За останні роки з'явилося кілька поколінь асинхронних мікродвигунів, виробництво яких ведеться на якісно новому технічному рівні. Успіхи математики й обчислювальної техніки дозволили по-новому розв'язувати задачі проектування АКД із застосуванням ПЕОМ.

При проектуванні АКД великого значення набуває оптимізація обмоткових даних. Задачею оптимізації обмоткових даних АКД є визначення числа витків фаз А (мережевої), В (конденсаторної) і ємності самого фазозсувного конденсатора, при яких двигун буде мати найкращі показники.

Виробництво двошвидкісних АКД із добрими робочими властивостями можливо на базі одношвидкісних за умови їхнього перепроєктування на дві частоти обертання на основі оптимізації обмоткових даних. Це дозволяє обмежитися мінімальними змінами існуючих та налагоджених технологічних процесів.

Для створення конкурентоспроможної електропобутової техніки основну увагу необхідно приділяти поліпшенню її споживчих якостей. Основними технічними вимогами до

асинхронних конденсаторних двигунів (АКД) є кратності пускового – k_n , максимального – k_{max} моментів та величина напруги на конденсаторі при холостому ході – $U_{ко}$.

Виробництво двошвидкісних АКД із добрими робочими властивостями можливо на базі одношвидкісних за умови їхнього перепроєктування на дві частоти обертання на основі оптимізації обмоткових даних.

Ускладнення виникають при виборі ємності конденсатора, тому що умови пуску вимагають більшої ємності, а економічність устрою в номінальному режимі меншої.

Можливості оптимізації й уточнення перевірочних розрахунків двигунів значно розширюються із застосуванням ПЕОМ.

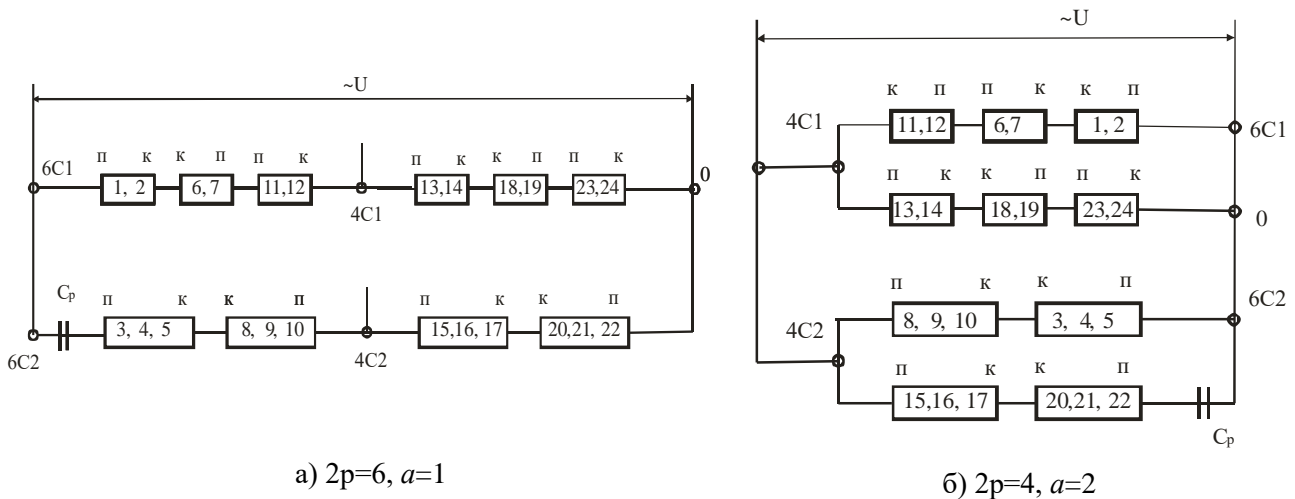
2. Розрахунок і оптимізація обмоткових даних конденсаторного двигуна

Покажемо оптимізацію обмоткових даних двошвидкісного конденсаторного двигуна з використанням програмного забезпечення. Це спеціалізована програма «РОАКД» (розрахунки та оптимізація асинхронних конденсаторних двигунів), захищена авторським свідоцтвом [1].

На рис. 1 наведено схеми з'єднання котушкових груп двофазної двошвидкісної обмотки із співвідношенням чисел полюсів $2p_1:2p_2=4:6$ зі схемою комутації U/UU [2]; кількість пазів статора $Z_1=24$.

Схема комутації має п'ять вивідних кінців. Для роботи обмотки з числом полюсів $2p_2=6$ однофазне живлення подається на з'єднанні разом затискачі 6С1, 6С2 і 0 (рис.1,а). Між затискачем 6С2 і мережею включається конденсатор Ср. Кожна фаза має по одній паралельній гілці.

Для роботи обмотки на $2p_1=4$ однофазне живлення необхідно подати на з'єднанні разом



а) $2p=6, a=1$

б) $2p=4, a=2$

Рис.1. Схеми комутації двошарової обмотки з співвідношенням чисел полюсів $2p_1:2p_2=4:6; Z_1=24$

затискачі 4C1, 4C2 та 6C1, 6C2, 0 (рис.1,б).

Обмотка при цьому в кожній фазі має по дві паралельні гілки. Конденсатор, як і раніше, включений між мережею і фазою В.

Результати розрахунку гармонійного складу МРС двошарової обмотки для кожного числа полюсів наведені у табл.1. Крок обмотки $y=5$.

Таблиця 1
Гармонійний склад МРС двошвидкісної обмотки

ν	$k_{r(p_1=2)}$	$k_{r(p_2=3)}$	$k_{w(p_1=2)}$	$k_{w(p_2=3)}$
1	0,88	0,743	0,85	0,687
3	0,236	0,053	0,167	0,02
5	0,0	0,053	0,0	0,02
7	0,0	0,743	0,0	0,687

В табл.1 $k_{r(p=2)}, k_{r(p=3)}, k_{w(p=2)}, k_{w(p=3)}$ – коефіцієнти розподілу та обмоткові двошвидкісної обмотки для першої вищих гармонік, відповідно, при $p_1=2$ і $p_2=3$.

Особливу увагу необхідно звертати на амплітуди вищих гармонік, особливо тих, що обертаються назустріч робочій гармоніці (для двофазних машин це $\nu=3$ та $\nu=7$), тому що існування цих гармонік призводить до істотного зменшення пускового електромагнітного моменту.

Розрахунки проводилися на основі геометрії існуючого одношвидкісного конденсаторного двигуна ДАВ-71-4.

Задачею оптимізації є знаходження оптимальних обмоткових даних двофазного двошвидкісного двигуна при заданій геометрії машини ДАВ-71-4, тобто числа витків фази А – w_A і оптимального коефіцієнта трансформації – $k_T = w_B/w_A$.

При розв'язанні задачі будемо використовувати наступні обмежувачі, які задані за технічними умовами (ТУ):

- кратність пускового моменту $k_n \geq 0,5$;
- кратність максимального моменту $k_{max} \geq 1,7$;
- напруга на конденсаторі в режимі холостого ходу – $U_{KO} \leq 600$ В.

Пошук оптимального варіанта здійснюється методом поетапного перебору w_A та k_T . За критерій оптимальності прийнято максимальне значення ККД двигуна η за умови здійснення всіх обмежувачів.

В основу алгоритму пошуку оптимального значення k_T покладено дослідження залежностей: $k_n = f(k_T), k_{max} = f(k_T), U_{KO} = f(k_T), \eta = f(k_T)$.

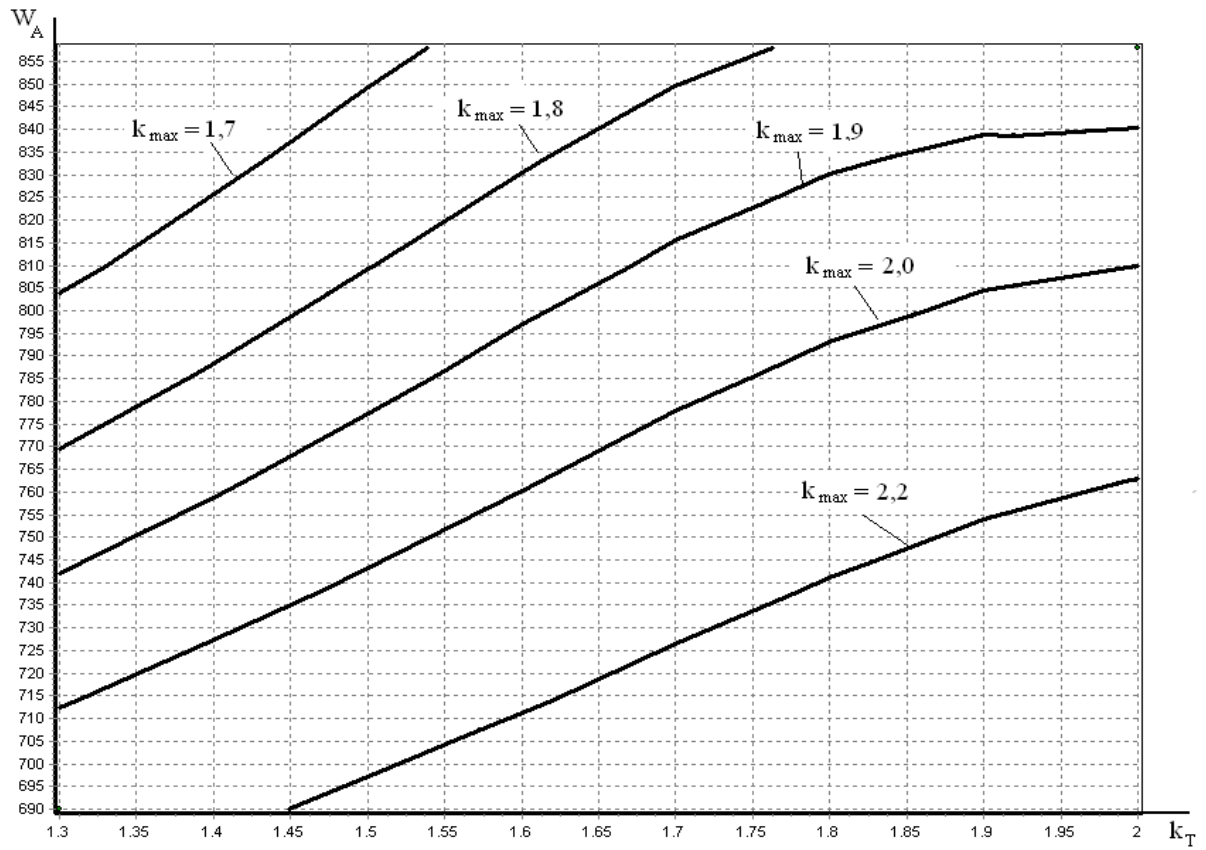
В даній задачі оптимізації дві незалежні перемінні: числа витків фази А – w_A та коефіцієнт трансформації – k_T .

Досліджувані характеристики функції цілі: ККД і обмежники: кратності пускового моменту – $k_n = 0,5$, максимального – $k_{max} = 1,7$ та напруги на конденсаторі в режимі холостого ходу – $U_{KO} = 600$ В.

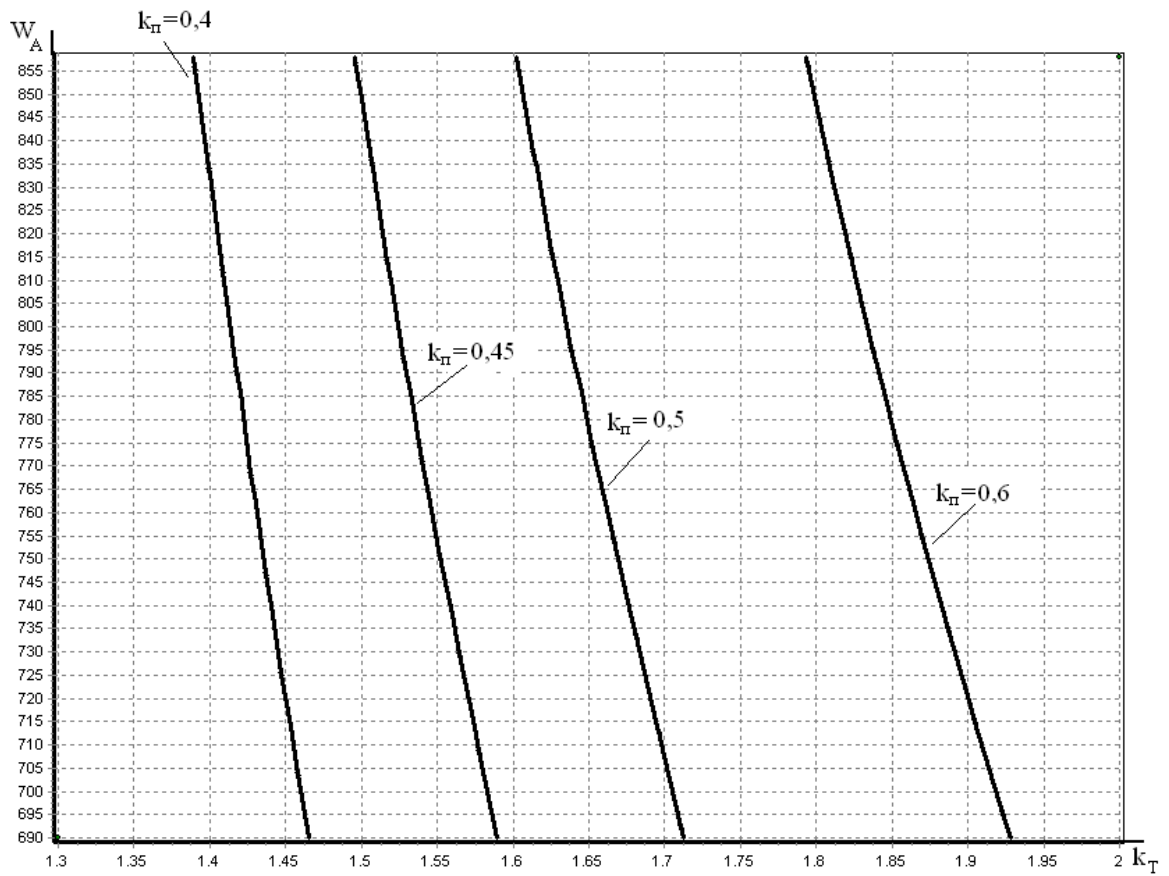
Для двох незалежних змінних найбільш зручна форма представлення величин – лінії однакового рівня досліджуваних характеристик у площині змінних w_A і k_T .

Для цього за допомогою програми «РОАКД» здійснено електромагнітні розрахунки варіантів АКД із конденсаторами $C_p = 6$ мкФ при $2p=4$ та $C_p = 4$ мкФ при $2p=6$ та побудовані лінії однакового рівня основних технічних показників $\eta, k_n, k_{max}, U_{KO}$ у площині змінних w_A і k_T для $2p_1=4$ та $2p_2=6$.

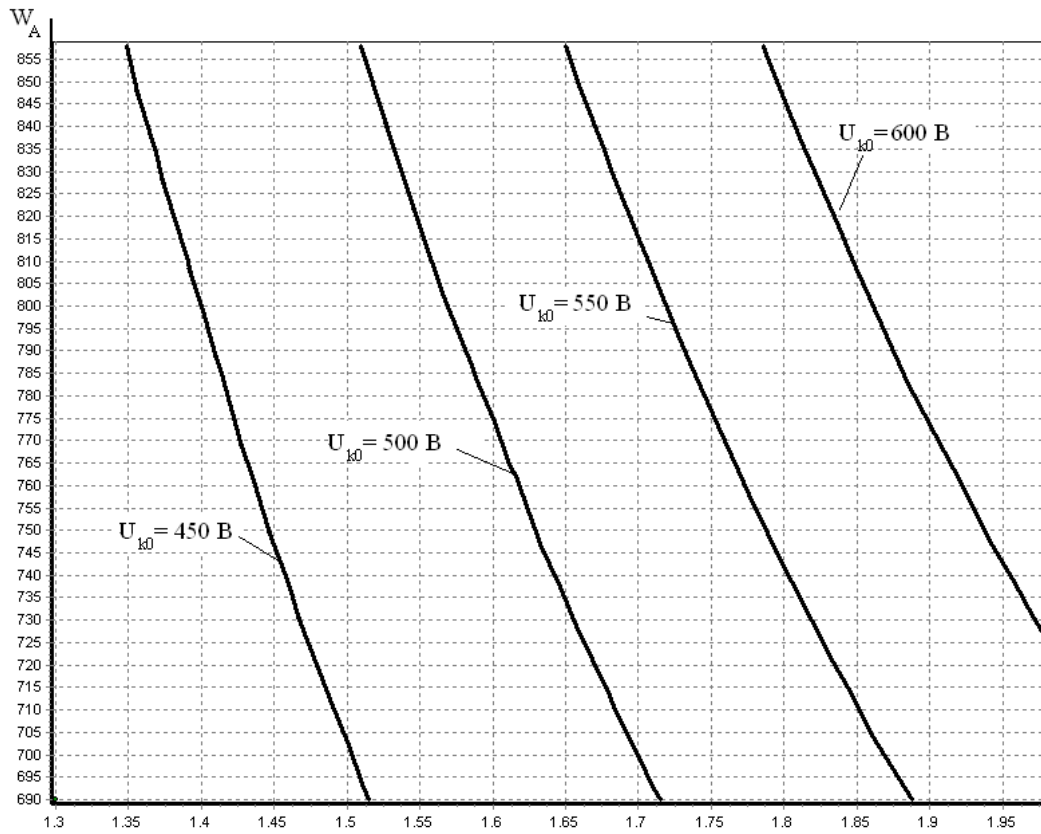
Для $2p=4$ ці лінії показані на рис.2. Аналогічні розрахунки було проведено і для полюсності $2p=6$.



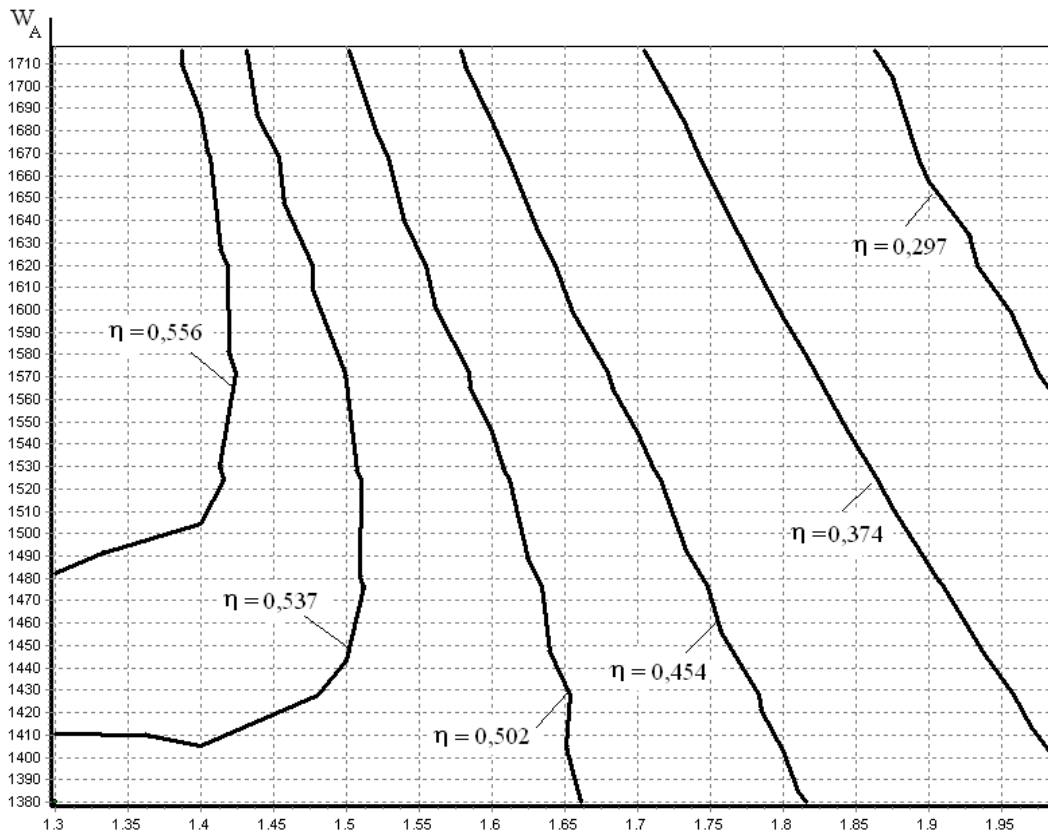
а) $k_{max} = f(k_T)$



б) $k_n = f(k_T)$



б) $U_{k0} = f(k_T)$



г) $\eta = f(k_T)$

Рис.2. Лінії однакоого рівня для ДАВ-71 4/6 при $2p = 4$, $C_p = 6$ мкФ

На рис. 3 у площині змінних w_A та k_T наведені лінії однакового рівня основних технічних показників для $k_{\max} = 1,7$; $k_n = 0,5$; $U_{KO} = 600$ В при $2p_1 = 4$:

а) при використанні в якості робочого конденсатора ємності величиною $C_p = 6$ мкФ та із полюсністю $2p_2 = 6$;

б) при використанні в якості робочого конденсатора ємності величиною $C_p = 4$ мкФ.

Тут же показані лінії однакового рівня ККД η та коефіцієнта потужності $\cos \phi$.

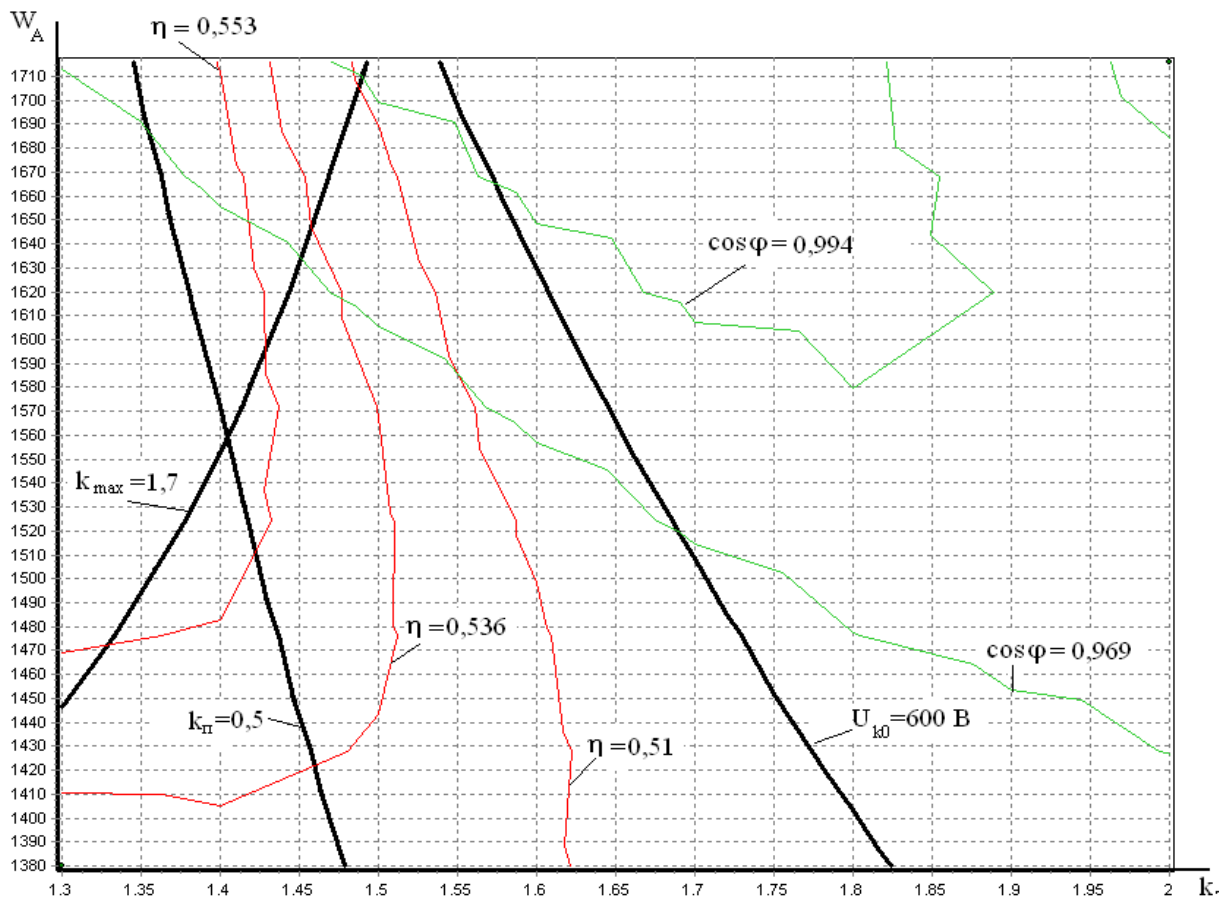
Кожна з ліній однакового рівня, що відповідає технічному показнику, ділить площину на дві області. У одній з областей знаходяться значення обмоткових даних, що задовольняють технічним умовам (ТУ), в іншій – що не задовольняють.

Сполучення ліній однакового рівня утворюють

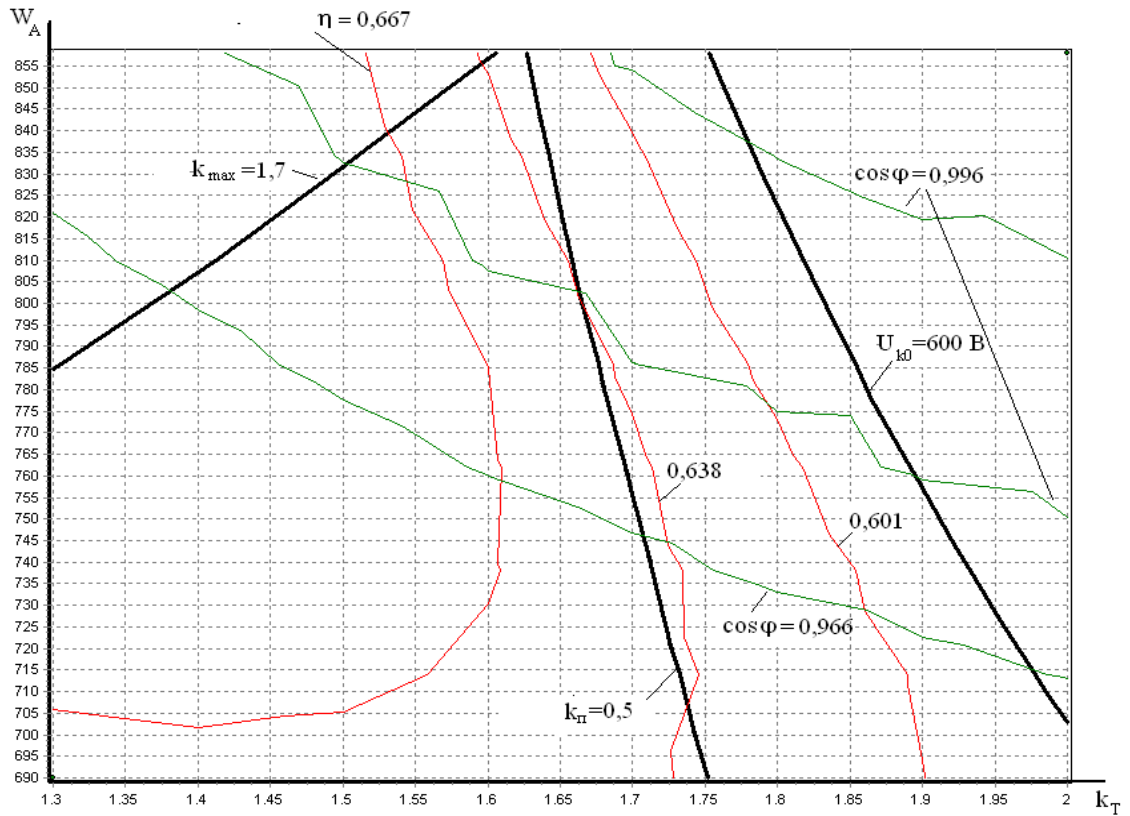
опуклу допустиму область обмоткових даних, при яких виконуються всі задані за ТУ показники, тобто: $k_{\max} \geq 1,7$; $k_n \geq 0,5$; $U_{KO} \leq 600$ В.

На рис.4 зображені лінії однакового рівня технічних показників та показана допустима область обмоткових даних двошвидкісного АКД після поєднання ліній при $p_1 = 2$ та при $p_2 = 3$. Тут має місце перетинання областей. Штрихуванням виділена допустима область (ДО) обмоткових даних для двошвидкісного двигуна.

В спільній допустимій області обмоткових даних на рис.4 необхідно знайти число витків фази А та коефіцієнт трансформації k_T , при яких асинхронний конденсаторний двигун ДАВ-71-4/6 буде мати максимально можливе значення ККД на обох частотах обертання при забезпеченні всіх заданих за ТУ показників.



а) $2p = 4$, $C_p = 6$ мкФ



б) $2p=6, C_p=4$ мкФ

Рис. 3. Лінії однакого рівня основних технічних показників для ДАВ-71-4/6 при $2p=4$ та $2p=6$

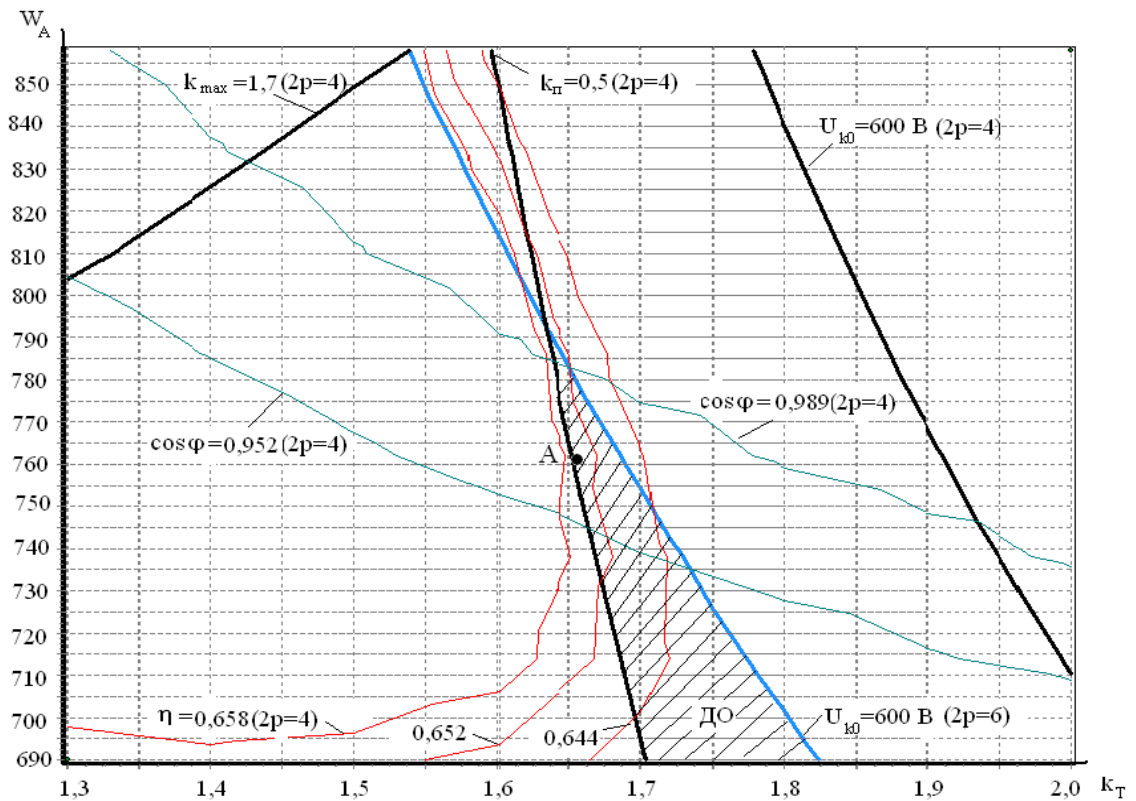


Рис. 4. Лінії однакого рівня основних технічних показників і спільна допустима область (ДО) обмоткових даних АКД ДАВ-71-4/6, з двошвидкісною двошаровою обмоткою $C_p=6$ мкФ при $2p=4$ та $C_p=4$ мкФ при $2p=6$

Із рис. 4 видно, що величина коефіцієнта трансформації k_T праворуч обмежена величиною напруги на конденсаторі в режимі холостого ходу при $2p_2=6$, ліворуч – кратністю пускового моменту при $2p_1=4$. Число витків фази А не може бути менше певного числа, тому що при цьому зменшується кратність пускового моменту при $2p_1=4$ і не може бути більше певного числа, тому що при цьому збільшується напруга на конденсаторі у режимі холостого ходу при $2p_2=6$ та зменшується значення ККД при $2p_1=4$.

Коефіцієнт корисної дії АКД η збільшується при зменшенні коефіцієнта трансформації k_T , як при роботі на нижчій, так і при роботі на вищій частотах обертання. Тому оптимальні обмоткові дані перебувають на межі допустимої області, а саме уздовж лінії $k_n \geq 0,5$ ($2p_1=4$).

Значення оптимального коефіцієнта трансформації перебуває в межах значень $k_T=1,65\dots 1,75$. Оптимальне число витків фази А перебуває в діапазоні $w_A=720\dots 790$ при $2p_1=4$.

Результати розрахунків двигуна ДАВ-71-4/6 за програмою «РОАКД» та пошук оптимального за ККД варіанту наведено у табл. 2.

У цій таблиці крім обмоткових даних наведені номінальні значення ККД - η , коефіцієнта потужності $\cos\varphi$, а також кратності пускового k_n , максимального k_{max} моментів, напруга на конденсаторі U_{KO} , та коефіцієнт трансформації k_T .

Кращим варіантом можна вважати варіант №4, для якого виконуються всі технічні показники при роботі на обох частотах обертання і мають місце максимальні значення ККД та $\cos\varphi$.

Таблиця 2

Результати розрахунків варіантів ДАВ 71-6/4 із двошвидкісною двошаровою обмоткою
 $C_p=6$ мкФ при $2p_1=4$, $P_{n\ 2p=4}=180$ Вт, $C_p=4$ мкФ при $2p_2=6$, $P_{n\ 2p=6}=80$ Вт

№	p	w_A	w_B	q_A	q_B	η	$\cos\varphi$	k_n	k_m	U_{KO}	k_T
	-	ВИТ	ВИТ	мм ²	мм ²	%	в.о.	в.о.	в.о.	В	
1	2	744	1296	0,125	0,0707	63,9	0,965	0,539	2,18	533	1,74
	3	1488	2592			45,6	0,964	0,76	1,8	614	
2	2	750	1260	0,125	0,0707	65,2	0,967	0,497	2,09	520	1,68
	3	1500	2520			47,9	0,957	0,712	2,1	587	
3	2	756	1272	0,125	0,0707	65,1	0,974	0,497	2,07	524	1,68
	3	1512	2544			47,6	0,964	0,72	2,09	594	
4	2	762	1260	0,125	0,0707	65,8	0,971	0,505	2,09	512	1,65
	3	1524	2520			48,5	0,964	0,7	2,05	584	
5	2	768	1272	0,119	0,0707	65,6	0,979	0,504	2,04	517	1,66
	3	1536	2544			48,0	0,972	0,706	2,03	592	
ТУ						≥ 52	$\geq 0,85$	$\geq 0,5$	$\geq 1,7$	≤ 600	

Висновки

Наведений алгоритм розрахунку обмоткових даних із допустимої області дозволяє вибрати оптимальні обмоткові дані двошвидкісного АКД при будь-яких заданих за ТУ показниках.

При необхідності збільшення пускових властивостей АКД на $2p_1=4$ варто збільшити ємність робочого конденсатора. Але слід пам'ятати, що коефіцієнт корисної дії при цьому зменшується.

Список використаної літератури

1. Белікова Л. Я., Смірнов С. Б. Комп'ютерна програма «Розрахункова-оптимізаційна програма «РОАКД». Розрахунок асинхронних конденсаторних двигунів та оптимізація обмоткових даних». Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 25526 від 29.08.09.

2. Белікова Л. Я. Спеціальні обмотки асинхронних двигунів. Монографія. С-167, 2024р. <http://dspace.opu.ua/jspus/handle/123456789/14545>

References

1. Bielikova L. Ya., Smirnov S. B. Computer program "Calculation and optimization program "ROAKD". Calculation of asynchronous capacitor motors and optimization of winding data".

Certificate of registration of copyright for the work No. 25526 dated 29.08.09.

2. Bielikova L. Ya., Special windings of induction motors. Monograph. C-167, 2024. <http://dspace.opu.ua/jspus/handle/123456789/14545>

Optimization of winding data of a two-speed capacitor motor

L. Ya. Belikova, A. M. Yakimets, S. V. Pernak

Odesa Polytechnic National University

Abstract. To expand the functional capabilities of capacitor motors, it is promising to use two speeds. A two-phase two-speed pole-switching winding with a pole ratio of $2p_1:2p_2=4:6$ is used.

Calculation and optimization of winding data of the asynchronous two-speed capacitor motor DAV-71-4/6 are performed.

Keywords: winding diagram, number of phases, optimization, winding data, efficiency.

Отримано 21.12.2024

Про авторів



Бєлікова Людмила Яківна, к. т. н., доцент, доцент кафедри електромеханічної інженерії, Національний університет «Одеська політехніка»; проспект Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна. E-mail: conda@ukr.net; тел. +38 066 699 3342.

Liudmyla Ya. Bielikova, Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department Electromechanical Engineering, Odesa Polytechnic National University; 1, Shevchenko Avenue, Odesa, 65044, Ukraine. E-mail: conda@ukr.net; ph.: +38 066 699 3342

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5999-8205>



Якімець Андрій Миронович, к. т. н., доцент, завідувач кафедри електромеханічної інженерії, Національний університет «Одеська політехніка»; проспект Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна. E-mail: a.m.yakimets@op.edu.ua; тел. +38 097 219 6702

Andrii M. Yakimets, Ph.D., Associate Professor, Head of the Department of Electromechanical Engineering, Odesa Polytechnic National University; 1, Shevchenko Avenue, Odesa, 65044, Ukraine. E-mail: a.m.yakimets@op.edu.ua; ph.: +38 097 219 6702

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0588-8606>



Пернак Сергій Володимирович, магістрант кафедри електромеханічної інженерії, Національний університет «Одеська політехніка»; проспект Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна. E-mail: sergey.per4nak@gmail.com; тел. +38 096 624 1409

Serhiy V. Pernak, Master's student of the Department of Electromechanical Engineering, Odesa Polytechnic National University; 1, Shevchenko Avenue, Odesa, 65044, Ukraine. E-mail: sergey.per4nak@gmail.com; ph.: +38 0966 24 1409

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-0523-8077>