

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА



МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до виконання практичних робіт

з курсу

СПЕЦІАЛЬНІ ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ

*(для студентів усіх форм навчання спеціальності
141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка)*

Харків – ХНУМГ ім. О. М. Бекетова – 2018

Методичні рекомендації до виконання практичних робіт з курсу «Спеціальні електричні машини (для студентів усіх форм навчання спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад.: О. М. Петренко. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова – 2018. – 36 с.

Укладач канд. техн. наук., доц. О. М. Петренко

Рецензент д-р техн. наук, проф. Я. В. Щербак

Рекомендовано кафедрою електричного транспорту, протокол № 7 від 20.02.2016.

ВСТУП

Практичні заняття – це зв’язуюча ланка теорії та практики, їх ціль – поглибити та закріпити теоретичні знання, які отримують студенти на лекціях, ознайомитись із вузлами електричних машин за допомогою наявних макетів, їх конструктивними особливостями та різноманітними типами тягових та допоміжних електричних машин, а також набути навички експлуатації, розрахунку, проектування.

Досягнення цієї мети визначається підготовкою робочих місць та організацією проведення практичних робіт.

Робочими місцями для проведення практичних робіт є спеціальні макети, що містять вузли та деталі електричних машин, а також макети, плакати.

Перед початком занять викладач знайомить студентів з порядком зміни робочих місць, загальною організацією проведення та оформлення робіт, основними правилами техніки безпеки. Особлива увага звертається на підготовку студентів до занять, перевірку їх знань принципових схем, які вони будуть досліджувати. Студенти повинні дома готуватися до практичної роботи, уявити мету та задачу її проведення, ознайомитися з рекомендованою літературою.

В заключній частині виконання практичних робіт студенти оформлюють звітну частину, який містить логічно оформлені результати проведеного практичного завдання.

Тривалість практичного завдання – 2 години.

Заняття 1.

ОСНОВНІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ СПІВВІДНОШЕННЯ ДЛЯ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН ПОСТІЙНОГО СТРУМУ. ЗАВДАННЯ НА КУРСОВЕ ПРОЕКТУВАННЯ

Тема 1 Нормативні вимоги та експлуатаційні особливості тягових електродвигунів (11 годин)

Проведення цього заняття спирається на матеріал поданий у навчальному посібнику [9] – Ю. С. Калиниченко, А. І. Кузнецов. Тягові електричні машини. Двигуни постійного струму : навч. посібник. (для студентів денної та заочної форм навчання 3–5 курсів спеціальності 7.092.202 – Електричний транспорт.

Видача завдання на курсову роботу має здійснюватися на підготовлених бланках за підписом викладача і студента. Формат бланка подано нижче.

Для розрахункової ілюстрації матеріалу бажано спиратися на реальні дані конкретного тягового двигуна (рис. 1.1). Для цього має бути передбачений його розрахунковий формуляр. Наприклад, для наведеного двигуна ЕД–138 розрахунковий формуляр наведено нижче.

При подачі матеріалу слід спиратися на наявні в лабораторії стенди, проводячи огляд конструкції тягового двигуна. Серед них мають бути такі:

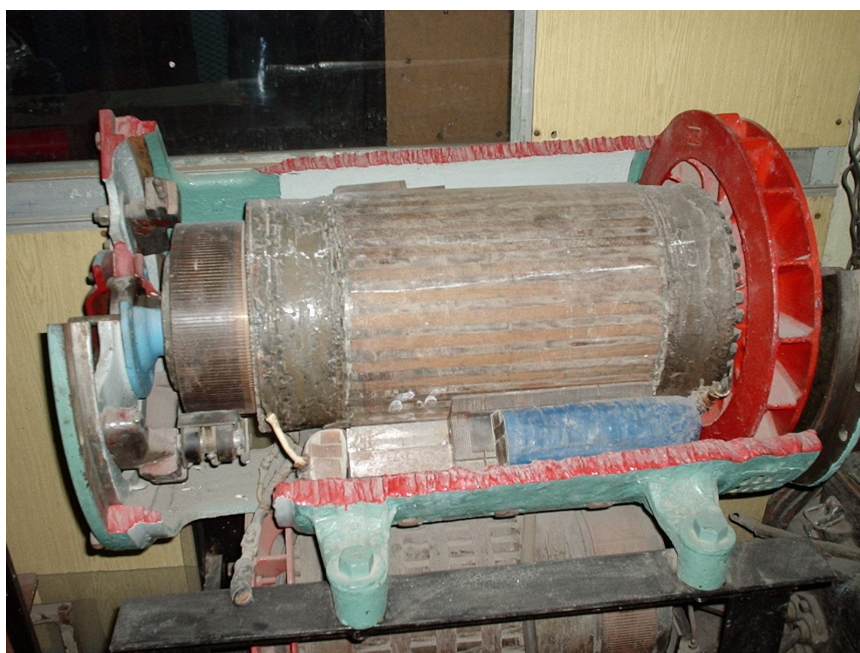


Рисунок 1.1 – Розріз тягового двигуна постійного струму

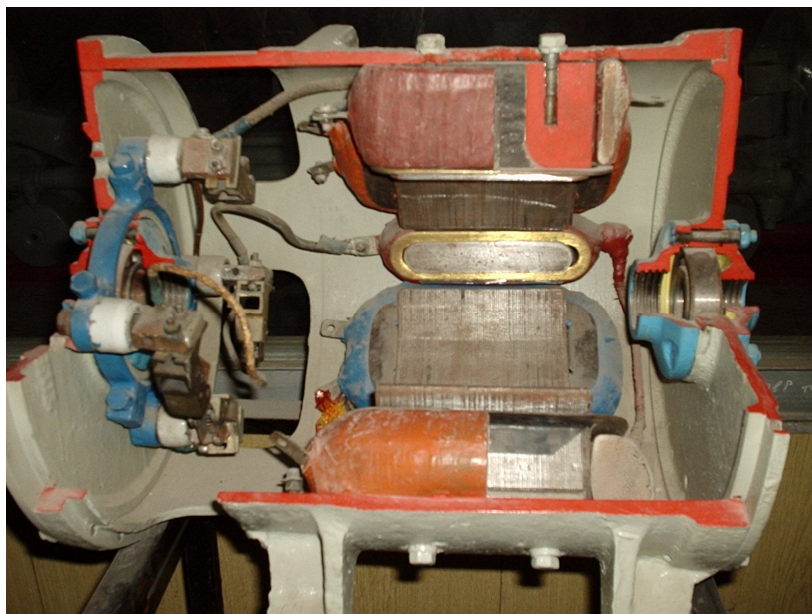


Рисунок 1.2 – Елементи магнітної системи, полюси

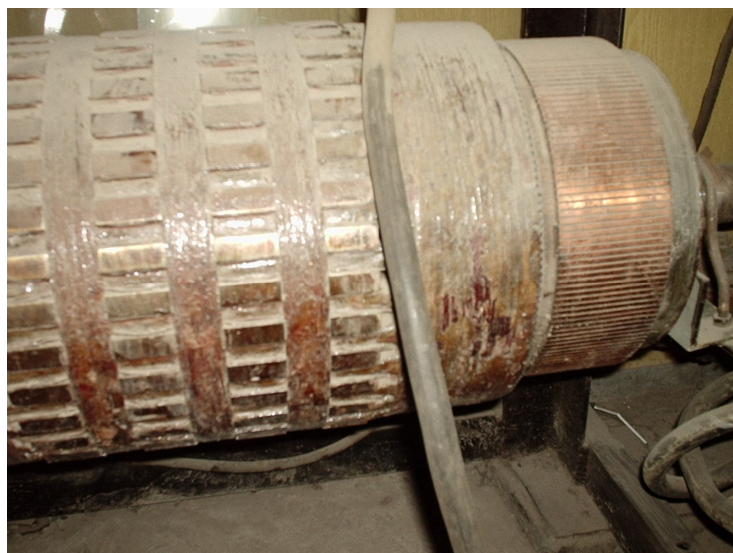


Рисунок 1.3 – Конструкція якоря та обмотки

ВИХІДНІ ДАНІ
до курсової роботи (проектування)
із дисципліни «Спеціальні електричні машини»

1	Номінальна потужність, P_n	кВт		
2	Номінальна напруга, U_n	В		
3	Максимальне коливання напруги, U_{\max}	В		
4	Номінальна частота обертання, n_n	Об/хв		
5	Максимальна частота обертання, n_{\max}	Об/хв		
6	Тип збудження та частка шунтової обмотки у створенні загальної МРС збудження при номінальному режимі, $F_{*ш}$			
7	Ступінь ослаблення поля в номінальному режимі, β			
8	Тип вентиляції			
9	Клас нагрівостійкості ізоляції обмотки якоря			

Вимоги до розрахункової записки

Розрахункова записка містить електромагнітний розрахунок двигуна по заданим номінальним даним з обґрунтуванням:

- 1 розділ. Основні геометричні (габаритні) розміри.
- 2 розділ. Вибір та розрахунок якірної обмотки.
- 3 розділ. Проектування та розрахунок магнітного кола двигуна.
- 4 розділ. Розрахунок комутації двигуна.
- 5 розділ. Розрахунок ККД двигуна, втрат потужності та робочих характеристик.

Обов'язкові графіки, схеми та ескізи:

1. Викреслюється розгорнута схема якірної обмотки на міліметрівці за даними вибору обмотки у другому розділі.
2. Викреслюється на міліметрівці у другому розділі масштабний ескіз якірного пазу із його заповненням.
3. Перед розрахунком магнітного кола машини у третьому розділі викреслюється у масштабі ескіз міжполюсного вікна машини (шляхів проходження магнітного потоку).
4. Результат розрахунку магнітного кола (третій розділ) розміщується у таблицю певного формату, наданого у методичці та викреслюється на міліметрівці крива намагнічування двигуна.
5. На міліметрівці за даними розрахунку у п'ятому розділі наводяться графічні залежності робочих характеристик двигуна: швидкісна $n(M)$, механічна $M(n)$, моментова $M(I)$.

Вимоги до графічної частини роботи:

Графічна частина містить на форматі А1 ватману поздовжній та поперечний перерізи двигуна. Бажано кожний переріз виконувати окремо на своєму листі. Креслення мають бути виконані охайно з дотриманням усіх вимог ЄСКД, по своїм даним розрахунку двигуна з нанесенням головних розмірів.

Викладач _____
(підпис, дата видачі)

Студент _____
(підпис, дата отримання)

РОЗРАХУНКОВИЙ ФОРМУЛЯР МАШИНИ ЕД-138

Номинальна потужність, Квт, 132.000
Номинальна напруга, В, 550.000
Номинальний струм, А, 260.431
Струм в зовнішньому ланцюгу якоря, А, 260.761
Частота обертання, об/мин, 1860.000 3900.000
Номинальний обертовий момент, кНм, 0.678
Діаметр якоря, см, 29.100
Довжина якоря, см, 35.500
Перевантаження по струму, 2.500 1.500
Число полюсів, 4.000
Полюсний розподіл, мм, 228.551
Коефіцієнт полюсної дуги, 0.648
Частота перемагнічування, Гц, 62.000 130.000

ЯКОРЬ

Діаметр наружний см, 29.100
Діаметр внутрішній, см, 7.900
Довжина, см, 35.500
Число пазів, 45.000
Окружна швидкість, м/с, 28.340 59.423
Ефективна довжина осердя, мм, 330.150
Число рядів аксіальних каналів, 1
Число аксіальних каналів 1/2, 12 0
Діаметр аксіальних каналів 1/2, мм 20.000 / 20.000

ОБМОТКА ЯКОРЯ

Тип обмотки, Проста хвильова
Клас ізоляції, Н
Розрахункове перевищення температури, град. 115.000
Число катушок, 135
Число стержнів, 270
Число витків в секції, 1.000
Крок петлі, 0 0 0
Крок хвилі, 33 34 67
Скорочення обмотки, 0.750
Число паралельних гілок 2.000

ПАЗ ЯКОРЯ

Число пазів, 45.000
Число сусідніх в пазу, 3.000
Ширина пазу, мм, 8.200

Висота пазу, мм 27.500
Пазний розподіл, мм, t1/t2/t3, 20.316/ 18.396/ 16.476
Ширина зубці в 3-х перетинах, мм, 11.816/ 9.896/ 7.976

Товщина ізоляції, мм, 2.200 4.500
Висота клину, мм, 4.000
Ширина та глибина бандажної канавки, мм, 0.000 4.000

Середня довжина вітку, м, 1.290
Довжина міді обмотки, м, 174.150
Маса міді обмотки, кг, 28.891
Опір обмотки при 15 град С, Ом, 0.041
Опір обмотки при робочій температурі, Ом 0.057

Висота спинки якоря, см, 6.517
Маса зубців якоря, кг, 31.536
Маса спинки якоря, кг, 90.316
Частота перемагнічування, Гц, 62.000/ 130.000
Марка сталі осердя якоря 2212.

ОБМОТКА ЗБУЖДЕННЯ ПАРАЛЕЛЬНА

Напруга збудження, В, 75.000
МДС обмотки, А, 363.000
Число витків, 1100.000
Струм, А, 0.330
Розмір провідника, мм, 0.800* 0.000
Перетин провідника, мм², 0.505
Щільність струму, А/мм², 0.653
Середня довжина витка, м, 1.154
Загальна довжина, м, 5077.211
Загальна вага міді, кг, 0.000
Опір при 15 град, Ом, 176.384
Опір при робочій температурі, Ом, 218.716
Клас ізоляції, F
Робоча температура, град, 75.000
Число паралельних гілок, 1.000

СЕРІЙНА ОБМОТКА КОМПАУНДНОГО ЗБУЖДЕННЯ

МДС обмотки, А, 2343.879
Число витків, 15.000
Струм, А, 156.259
Розмір провідника, мм, 9.500* 4.500

Перетин провідника , мм², 41.900
Щільність струму, А/мм², 3.729
Середня довжина витка, м, 0.964
Загальна довжина, м, 57.831
Загальна вага міді, кг, 21.566
Опір при 15 град, Ом, 0.024
Опір при робочій температурі, Ом, 0.030
Клас ізоляції, F
Робоча температура, град, 75.000
Число паралельних гілок, 1.000

ОБМОТКА ДОДАТКОВИХ ПОЛЮСІВ

МДС обмотки, А, 4948.189
Число витків, 19.000
Струм, А, 260.431
Розмір провідника, мм, 25.000* 2.500
Перетин провідника, мм², 61.200
Щільність струму, А/мм², 4.255
Середня довжина витка, м, 0.883
Загальна довжина, м, 67.092
Загальна маса меді, кг, 36.544
Опір при 15 град, Ом, 0.019
Опір при робочій температурі, Ом, 0.024
Клас ізоляції, F
Робоча температура, град, 75.000
Число паралельних гілок, 1.000

КОЛЕКТОР

Діаметр, см, 22.400
Довжина, см, 8.900
Число пластин, 135
Колекторний розподіл, мм, 5.213
Товщина міканіту, мм, 1.200
Число щіток на брикет, 2
Розмір щітки, мм, 25.000 * 32.000
град., 0.000 и 0.000
Поверхня щіток, см², 64.000
Поверхня колектора см², 626.308
Щільність струму під щітками, А/см², 8.139
Середня міжламельна напруга, В, 16.296
Максимальна міжламельна напруга, В, 25.166
при ослаблені поля та перевантаженні, В, 87.206
Окружна швидкість колектора, м/с, 21.815/ 45.742

РОЗРАХУНОК ХАРАТЕРИСТИКИ НАМАГНИЧУВАННЯ

Загальний опір якірного ланцюга при робочій температурі, Ом, 0.099
 Падіння напруги в якірному ланцюзі, В, 27.843
 Робочий магнітний потік, Мкс, 3119216.586
 Боковий потік, Мкс, 0.000 1.000
 Коефіцієнти Картера, 1.23 , 1.00 , 1.00 , 1.00
 Коефіцієнт Картера результуючий, 1.231
 Зубцеві коефіцієнти, 1.85 , 2.21 , 2.74
 Коефіцієнти розсіювання головних полюсів: заг/башмак 1.2/1.05

	довжина, см	перетин, см ²
Проміж	0.250	
Зубець	2.750	
Якір	10.110	215.148
Полюс осердя	6.450	343.995
Полюс наконечник	0.000	498.118
Остов	19.900	168.000

номінальний потік: $\Phi = 3119216.586$

	індукція, Гс	Падіння МДС, А
Проміж	5936.842	1461.508
Зубець	10976.045	
	13105.490	
	16260.081	38.729
Якір	7249.010	40.440
Полюс осердя	10881.146	83.083
Полюс наконечник	6575.100	0.000
Остов	11140.059	264.274
Проміж у остова		413.484
Сумарні ампервітки		2301.518
На серієсної обмотці		2343.879
Розмагнічена реакція якоря		597.633
На шунтової обмотці		555.272

4 КРИВА НАМАГНІЧУВАННЯ

Потік $1.05\Phi_H = 3275177.42$ $1.00\Phi_H = 3119216.59$

Проміж	6233.68	1534.58	5936.84	1461.51
Зубець	11524.85		10976.05	
	13760.76		13105.49	
	17073.09	49.71	16260.08	38.73
Осердя якоря	7611.46	40.44	7249.01	40.44

Осердя полюса	11425.20	89.34	10881.15	83.08
Полюсний башмак	6903.86	0.00	6575.10	0.00
Остов	11697.06	286.44	11140.06	264.27
Проміж у остова	11425.20	434.16	10881.15	413.48
Сумарна МДС		2434.67		2301.52

Потік 0.8 Φ_H = 2495373.27 0.5 Φ_H = 1559608.29

Проміж	4749.47	1169.21	2968.42	730.75
Зубець	8780.84		5488.02	
	10484.39		6552.74	
	13008.07	19.19	8130.04	11.04
Осердя якоря	5799.21	40.44	3624.51	40.44
Осердя полюса	8704.92	73.22	5440.57	62.70
Полюсний башмак	5260.08	0.00	3287.55	0.00
Остов	8912.05	227.97	5570.03	194.72
Проміж у остова	8704.92	330.79	5440.57	206.74
Сумарна МДС		1860.82		1246.40

РОЗРАХУНОК ВТРАТ ТА ККД ПРИ НОМІНАЛЬНОМУ НАВАНТАЖЕННІ

Втрати в обмотці якоря, кВт, 3.893
Додаткові втрати, кВт, 1.432
Втрати в компенсаційній обмотці, кВт, 0.000
Втрати в обмотці додаткових полюсів, кВт, 1.614
Втрати в серієсній обмотці, кВт, 1.221
Втрати в шунтової обмотці, кВт, 0.181
Втрати в незалежної обмотці, кВт, 0.000
Втрати в сталі: зубець + осердя, кВт, 0.883+ 0.777
Втрати електричні колектору, кВт, 0.521
Втрати механічні колектору, кВт, 0.000
Втрати механічні, кВт, 0.317
Втрати від віхревих струмів, кВт, 0.395
Сумарні втрати, кВт, 11.235
Підведена потужність, кВт, 143.418
Номинальна потужність, кВт, 132.184
ККД, %, 92.166

Характеристики

Напруга в В,	ККД в %			
Поз. 1 Φ =	0.4485	I=	65.1077	M= 0.0783
Поз. 2 Φ =	0.7012	I=	130.2155	M= 0.2448
Поз. 3 Φ =	0.8741	I=	195.3232	M= 0.4577

Поз. 4	$\Phi=$	0.9999	$I=$	260.4310	$M=$	0.6981
Поз. 5	$\Phi=$	1.0921	$I=$	325.5387	$M=$	0.9531
Поз. 6	$\Phi=$	1.1716	$I=$	390.6465	$M=$	1.2269
Поз. 7	$\Phi=$	1.2481	$I=$	455.7542	$M=$	1.5249
Поз. 8	$\Phi=$	1.3031	$I=$	520.8620	$M=$	1.8195

Поз. 1	$n=$	4316.7394	$U=$	550.0000	ККД=	91.0782
Поз. 2	$n=$	2728.5508	$U=$	550.0000	ККД=	92.9176
Поз. 3	$n=$	2162.4629	$U=$	550.0000	ККД=	92.7788
Поз. 4	$n=$	1867.2640	$U=$	550.0000	ККД=	92.1650
Поз. 5	$n=$	1688.5274	$U=$	550.0000	ККД=	91.3669
Поз. 6	$n=$	1554.3986	$U=$	550.0000	ККД=	90.4534
Поз. 7	$n=$	1440.6481	$U=$	550.0000	ККД=	89.4618
Поз. 8	$n=$	1362.1896	$U=$	550.0000	ККД=	88.4504

Заняття 2.

ВЛАСТИВОСТІ ТА ПОБУДОВА ЯКІРНОЇ ОБМОТКИ ДВИГУНА

(Тема 2 Якірні обмотки двигунів постійного струму. Їхні властивості та розрахунок(18 годин))

Проведення цього заняття спирається на матеріал поданий у навчальному посібнику [9] – Ю. С. Калиниченко, А. І. Кузнецов; Тягові електричні машини. Двигуни постійного струму : навч. посібник (для студентів денної та заочної форм навчання 3–5 курсів спеціальності 7.092.202 – Електричний транспорт).

Для розрахункової ілюстрації матеріалу бажано спиратися на реальні дані конкретного тягового двигуна. Для цього має бути передбачений його розрахунковий формуляр. Наприклад, для наведеного двигуна ЕД–138 розрахунковий формуляр наведено у рекомендаціях для першого завдання.

При подачі матеріалу слід спиратися на наявні в лабораторії стенди, проводячи огляд конструкції тягового двигуна.

Серед них мають бути такі:

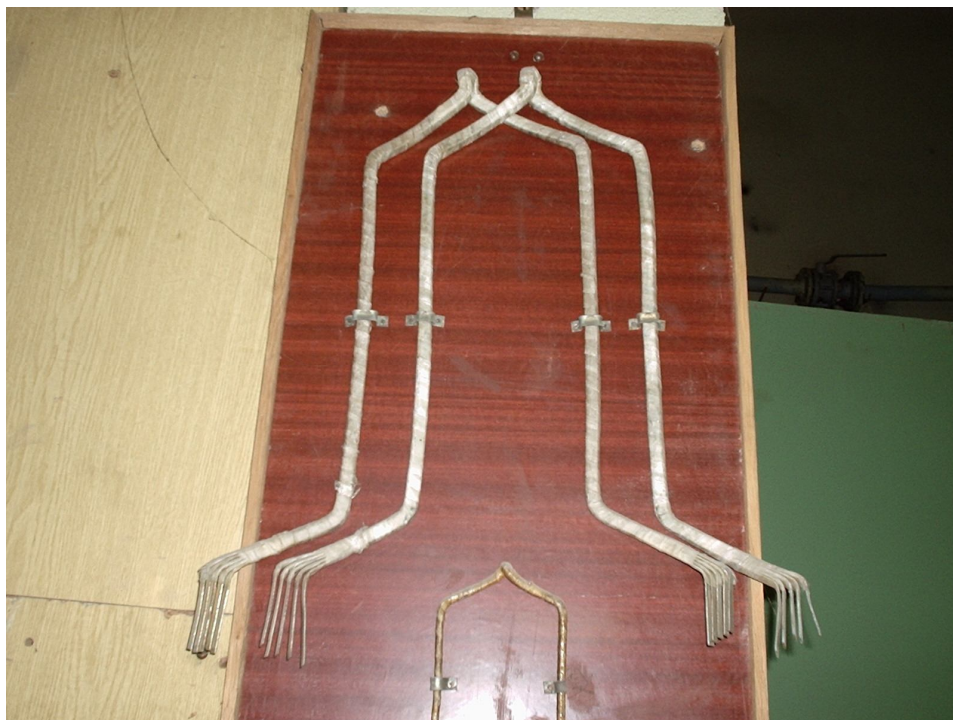


Рисунок 2.1 – Вигляд секцій хвильової (петльової) обмотки

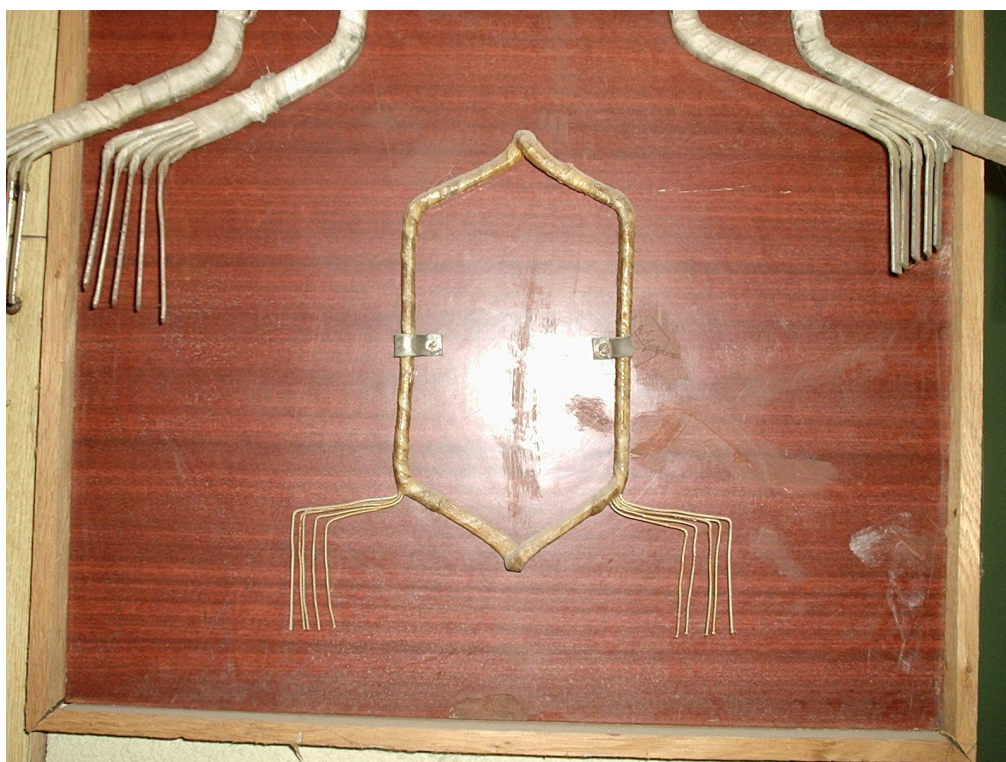


Рисунок 2.2 – Приклад багатовиткової секції



Рисунок 2.3 – Розміщення обмотки на якорі

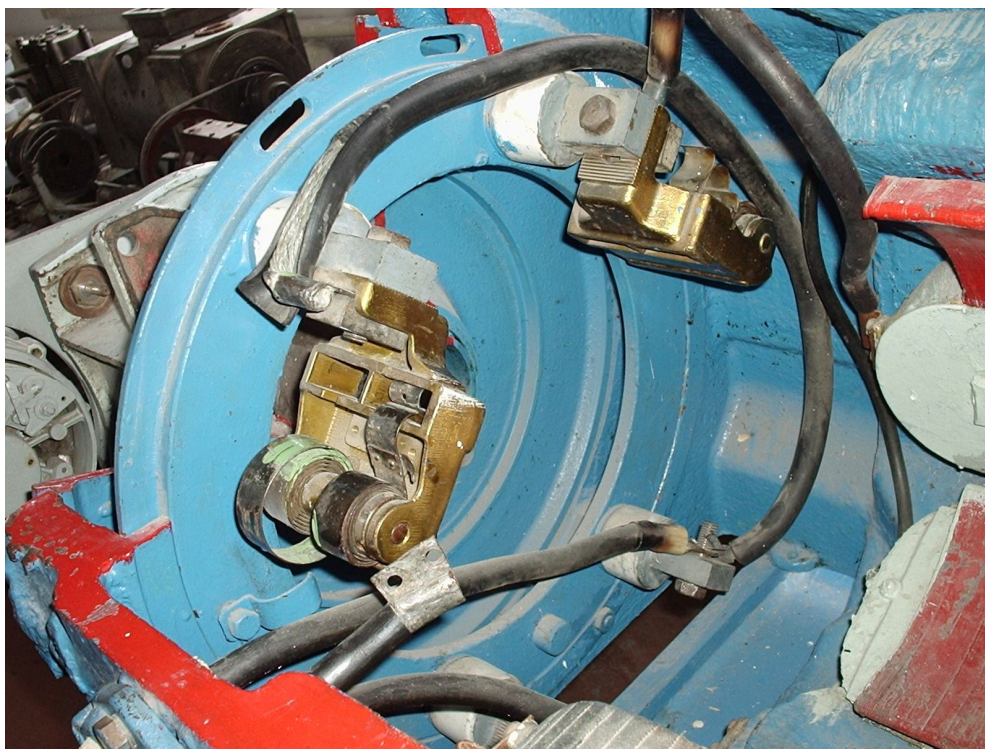


Рисунок 2.4 – Щітковий апарат

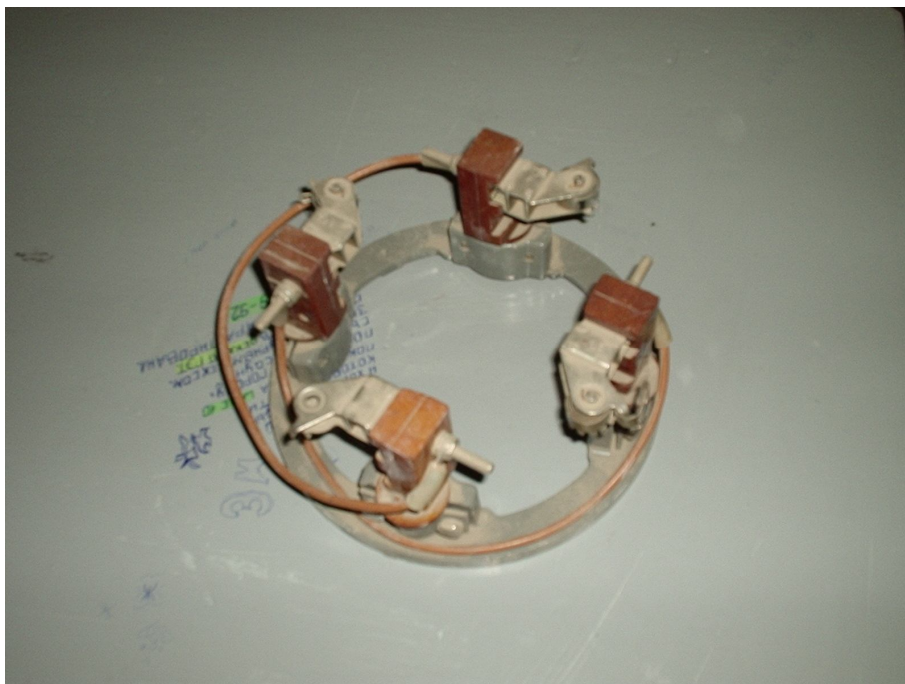


Рисунок 2.5 – Щіткова траверза

Заняття 3.

РОЗРАХУНОК МАГНІТНОГО КОЛА МАШИНИ

Тема 3. Особливості конструкції та розрахунку магнітного кола машини
(7 годин)

Дане практичне заняття проводиться в рамках виконання курсової роботи, тому воно повинно мати на меті виконання практичного розрахунку магнітного кола для курсової роботи.

Проведення цього заняття спирається на матеріал поданий у навчальному посібнику [9] – Ю. С. Калиниченко, А. І. Кузнецов; Тягові електричні машини. Двигуни постійного струму : навч. посібник (для студентів денної та заочної форм навчання 3–5 курсів спеціальності 7.092.202 – Електричний транспорт.

Заняття має бути підготовлене заздалегідь, виконання ескізної пророби магнітного кола розрахованого двигуна із визначенням перетинів та довжин ділянок кола. Для цієї мети напередодні слід запропонувати студентам самостійно виконати цю підготовчу роботу, спираючись на плакат ескізу міжполюсного вікна машини та ділянок магнітного кола із наведенням формул розрахунку. Приблизний вигляд плакату наведено нижче із відповідною розрахунковою таблицею.

Реалізація розрахунку може бути проведена за допомогою комп'ютера, наприклад в пакеті EXCEL, MatLab. Для пояснення алгоритму реалізації програми слід нагадати студентам основні правила роботи з таблицями намагнічування сталей, зокрема метод лінійної інтерполяції всередині таблиці при визначенні напруги магнітного поля за заданими величинами магнітної індукції.

Методичний плакат, що пояснює визначення параметрів ділянок магнітного кола.

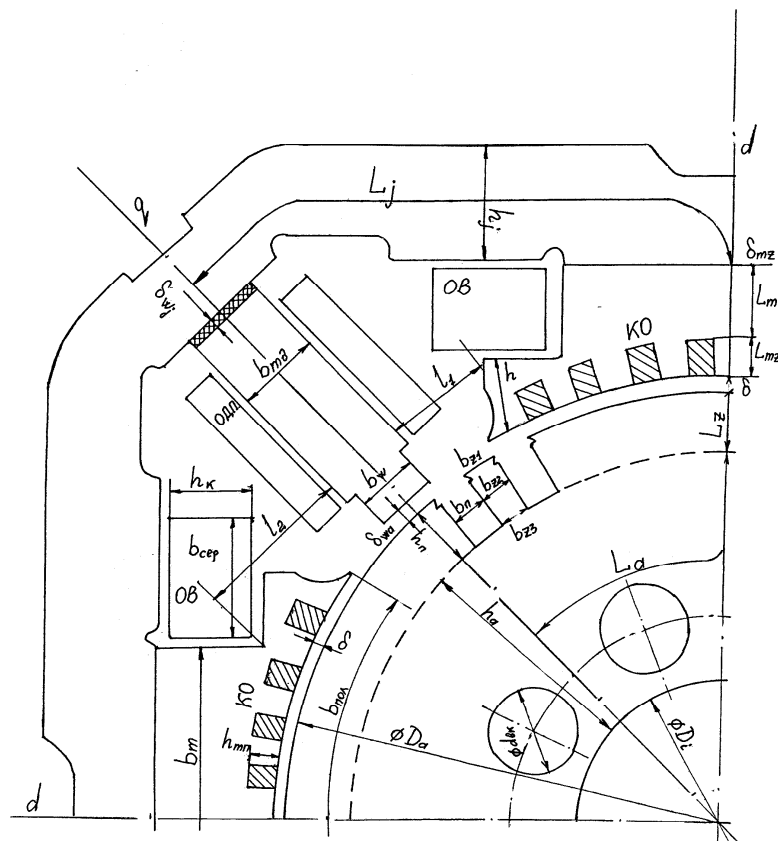


Рисунок 3.1 – Ескіз міжполюсного вікна та ділянок магнітного кола машини

Ділянка	Довжина магнітних силових ліній	Перетин ділянок
Зазор	$\delta_p = \delta \times k_\delta, \text{мм}$	—
Зубці	$L_z = 0.1h_n, \text{см}$	Коефіцієнт ущільнення магнітного поля K_z
Осердя якоря,	$L_a = \frac{\pi(D_i + h'_a)}{2p} + \frac{h'_a}{2}, \text{см}$	$S_a = 0.93 \times l \times h_a, \text{см}^2$
Осердя полюса,	$L_m = \frac{D_j - D_a}{2} - 0.1(\delta + h_{mn}), \text{см}$	$S_m = 0.95 \times l \times L_m, \text{см}^2$
Наконечник полюса, при наявності компенсаційної обмотки	$L_{mz} = 0.1h_{mn}, \text{см}$	$S_m = 0.95 \times l \times L_{mz}, \text{см}^2$
Станина, (5.18), (4.40)	$L_j = \frac{\pi(D_j + h_j)}{2p} + \frac{h_j}{2}, \text{см}$	$S_j = l_j \times h_j, \text{см}^2$, або визначена окремо

Заняття 4.

ВИЗНАЧЕННЯ ДІЇ ЯКА РОЗМАГНІЧУЄ РЕАКЦІЇ ЯКОРЯ ТА ПАРАМЕТРІВ КОМПЕНСАЦІЙНОЇ ОБМОТКИ

(Тема 4 Магнітне поле машини при навантаженні (10 годин))

Проведення цього заняття спирається на матеріал поданий у навчальному посібнику [9] – Ю. С. Калиниченко, А. І. Кузнецов; Тягові електричні машини. Двигуни постійного струму : навч. посібник (для студентів денної та заочної форм навчання 3–5 курсів спеціальності 7.092.202 – Електричний транспорт.

Підготовка до заняття включає побудову на аркуші міліметрівки перехідної характеристики розрахованого двигуна.

Викладачеві бажано мати плакат, який пояснює взаємний вплив полів збудження та якоря під полюсною дугою, а також плакат, який пояснює метод визначення коефіцієнту спотворення поля та дія яка розмагнічує реакцію якоря за методом Касьянова. Можливий вигляд плакатів наведено нижче.

Комп'ютерна реалізація цього заняття вкрай НЕБАЖАНА.

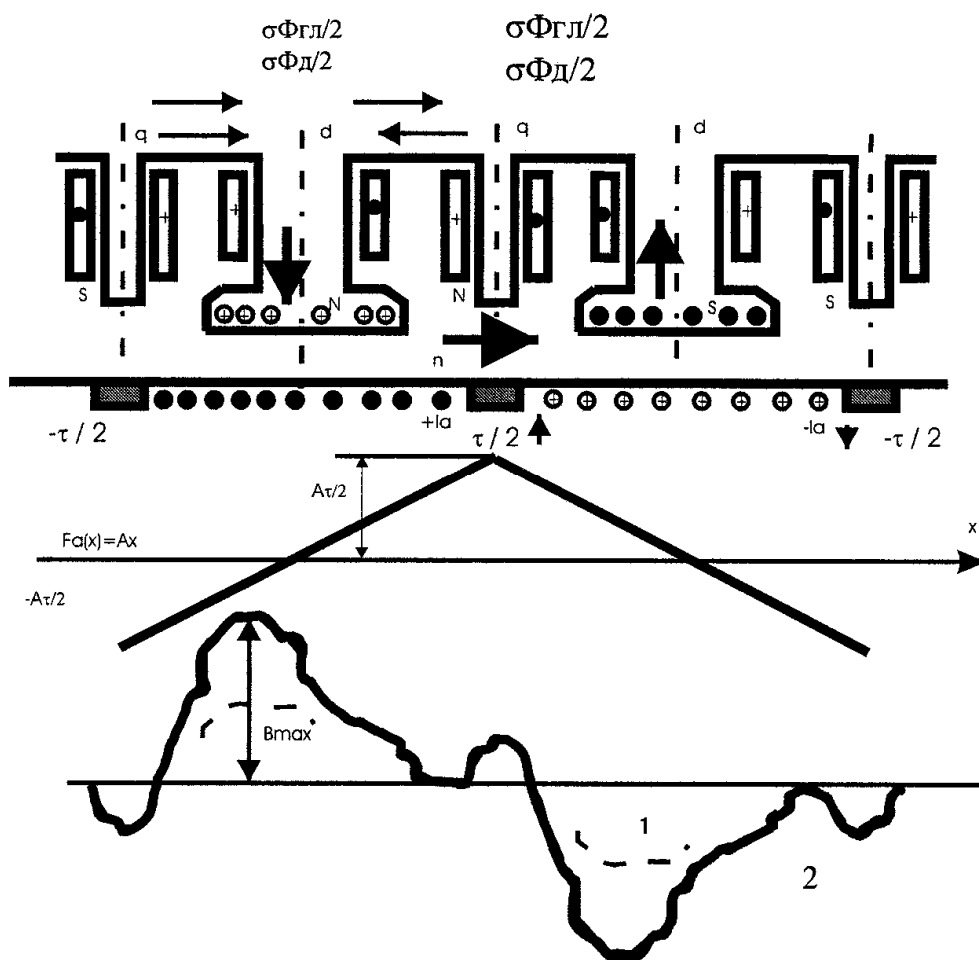


Рисунок 4.1 – Спотворення магнітного поля при навантаженні



Заняття 5.

РОЗРАХУНКИ РЕАКТИВНОЇ ЕРС ТА ПАРАМЕТРІВ КОЛА ДОДАТКОВИХ ПОЛЮСІВ

Тема 5 Класична теорія комутації машини постійного струму
та методи розрахунку процесу комутації (18 годин)

Проведення цього заняття спирається на матеріал поданий у навчальному посібнику [9] – Ю. С. Калиниченко, А. І. Кузнецов; Тягові електричні машини. Двигуни постійного струму : навч. посібник (для студентів денної та заочної форм навчання 3–5 курсів спеціальності 7.092.202 – Електричний транспорт.

Найбільш важкою для засвоєння є частина заняття присвячена побудові реактивного поля пазу для визначення параметру $4u'$ – середнього за період комутації числа одночасно комутуючих секцій (одночасно діючих ЕРС само- та взаємоіндукції). Бажано мати приклад-плакат для цього, вигляд якого подано нижче.

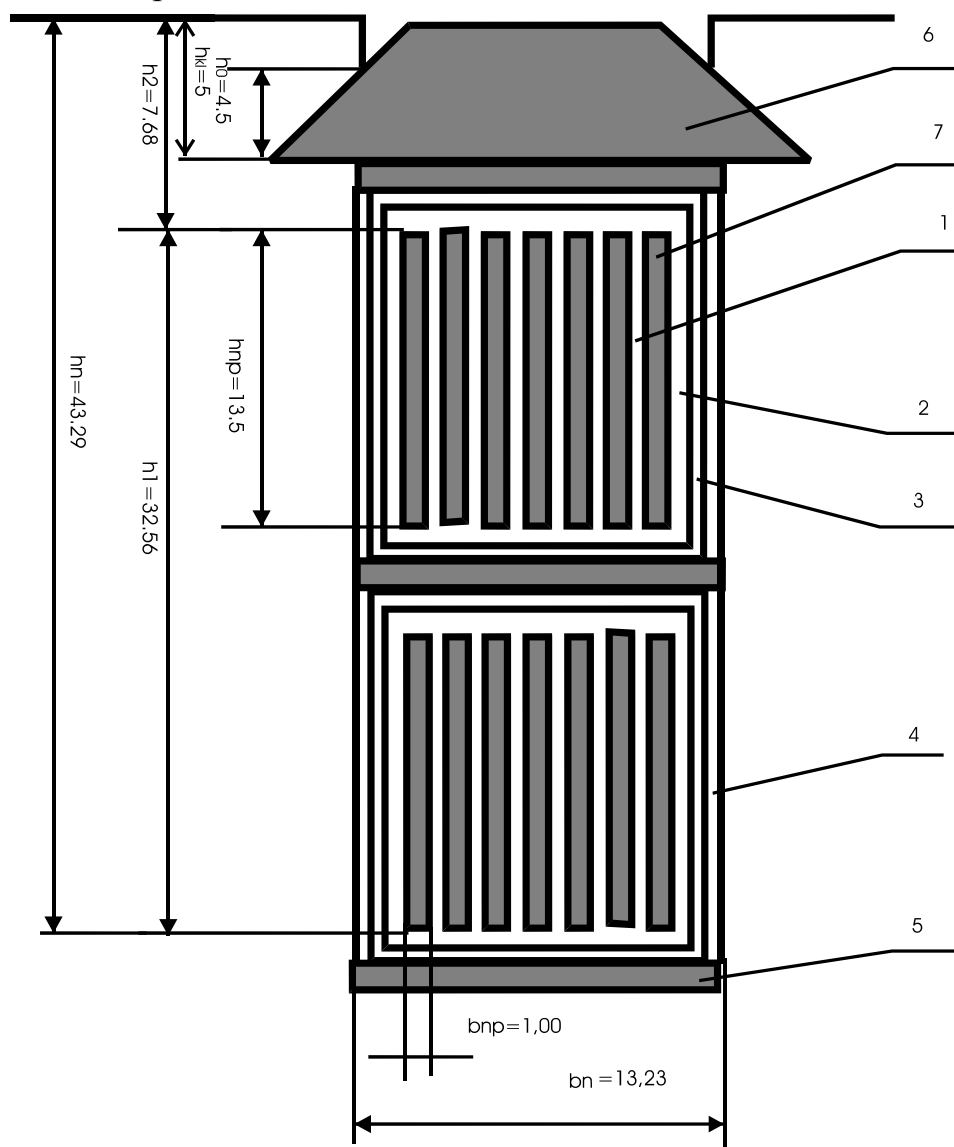


Рисунок 5.1 – Розріз паза якоря

$$4u' = \frac{\text{Спільна сума годинних інтервалів}}{\beta_i \times u_n} =$$

$$= 2 \cdot \frac{75\beta_i - 10\varepsilon_k - 110}{\beta_i \times u_n} = 2 \cdot \frac{75 \cdot 3.86 - 10 \cdot 1.75 - 110}{7 \cdot 3.86} = 12.014$$

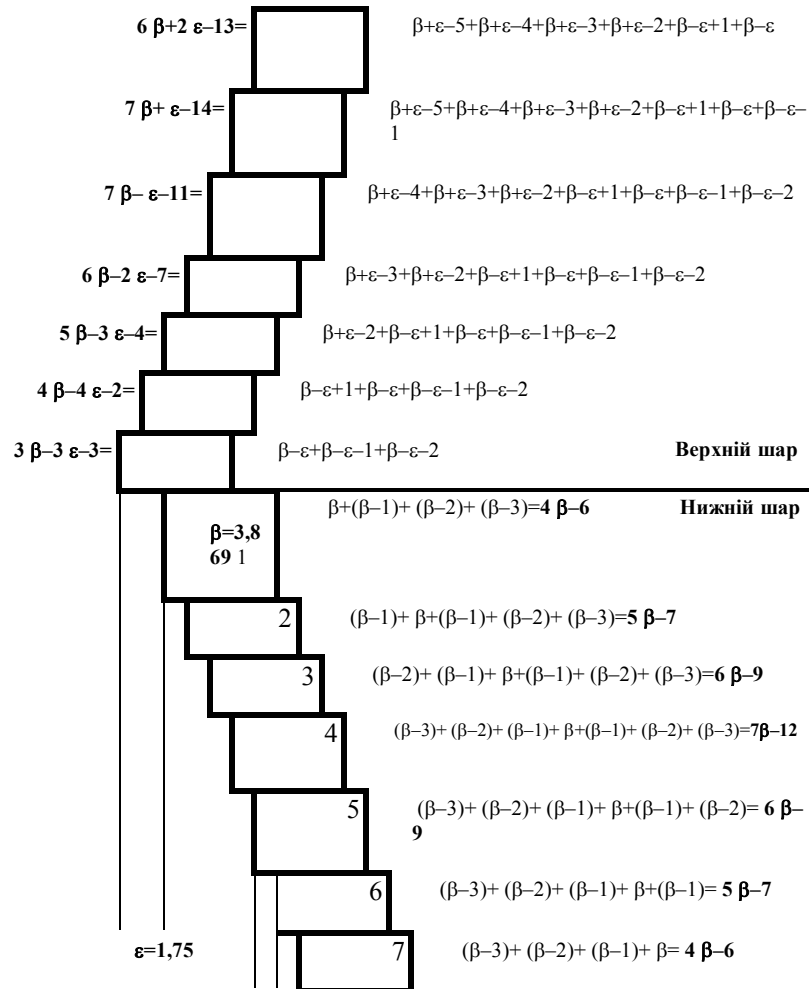


Рисунок 5.2 – Реактивне поле паза і визначення середнього числа одночасно комутуючих секцій $4u'$ залежно від числа секцій у котушці

$u_n = 7$, скорочення обмотки $\varepsilon_k = 1.75$ (на рис. позначено як ε),
щіткового перекриття $\beta_i = 3.86$ (на рис. позначено як β).

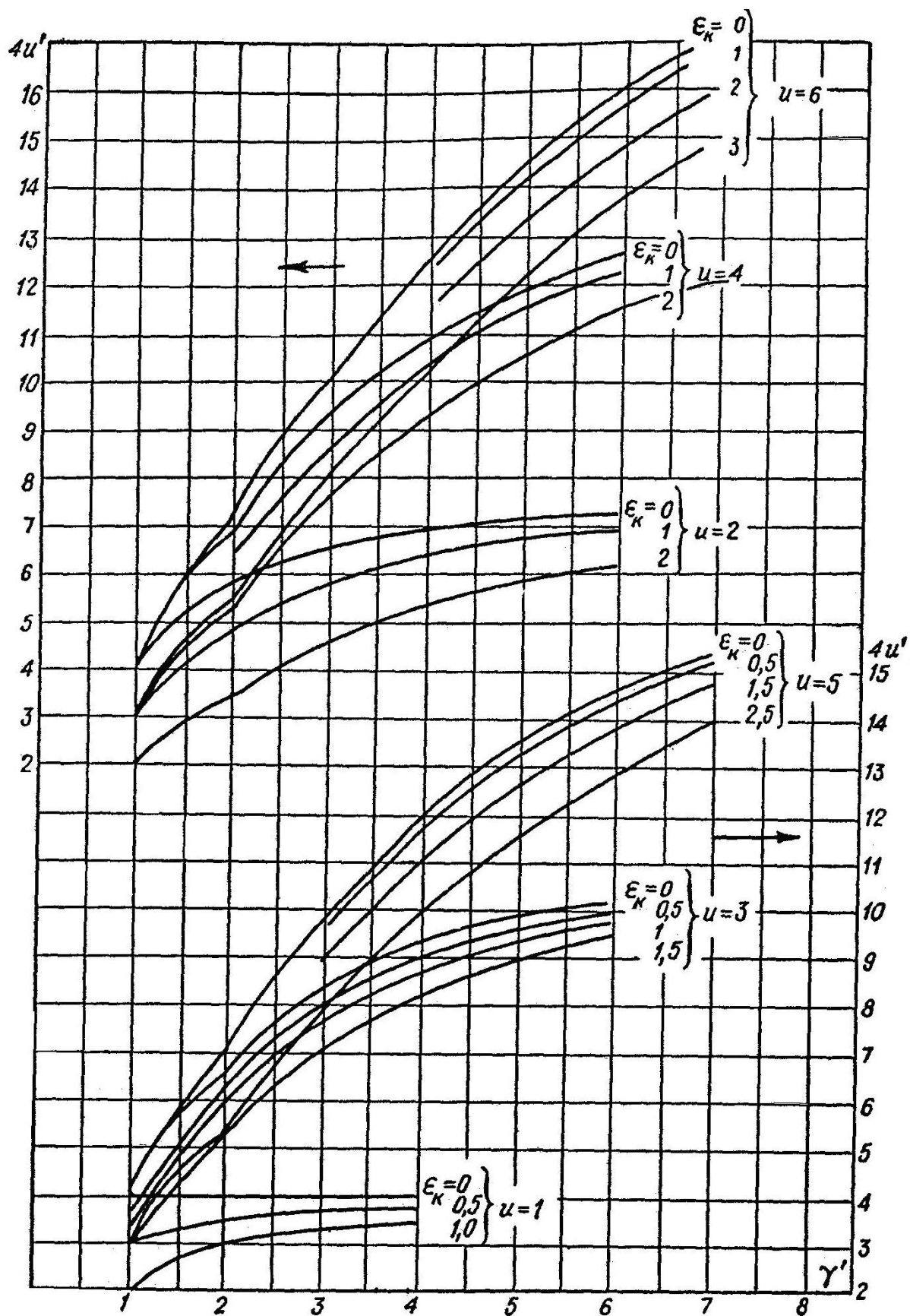


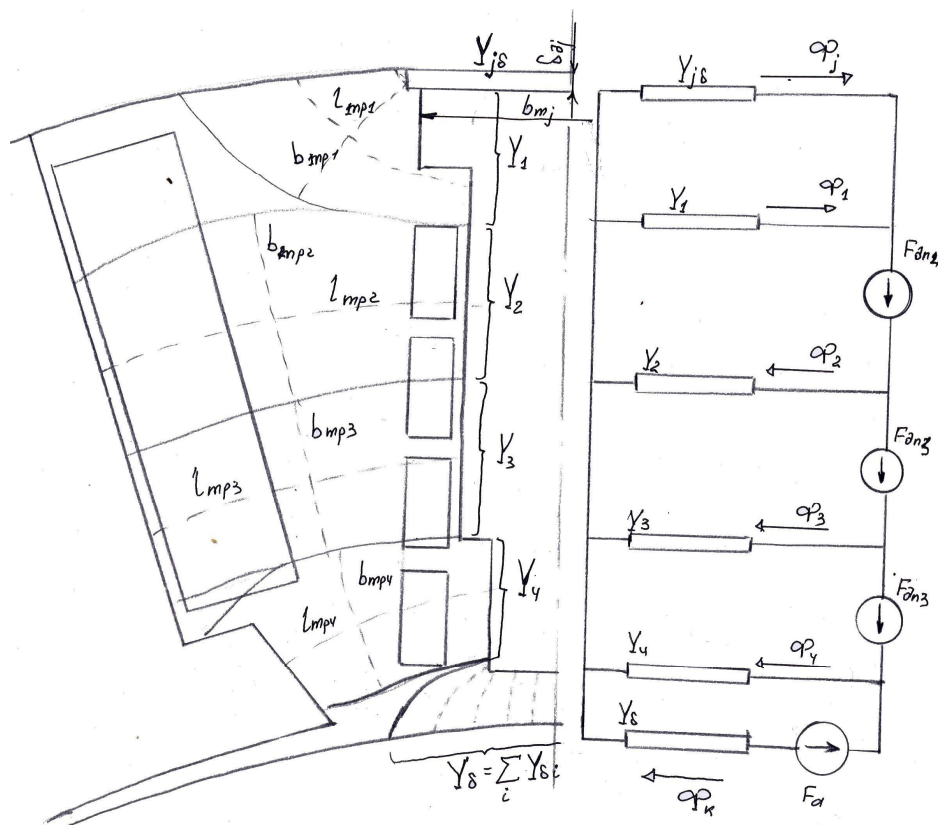
Рисунок 5.3 – Графічне визначення параметру $4u'$

Заняття 6.

ОБЧИСЛЕННЯ МАГНІТНОГО КОЛА ДОДАТКОВИХ ПОЛЮСІВ МЕТОДОМ СХЕМ ЗАМІЩЕННЯ (СТАЦІОНАРНІ РЕЖИМИ)

Тема 6 Порушення комутації в стаціонарних режимах роботи двигунів та методи експериментального дослідження машин на стенді (10 годин)

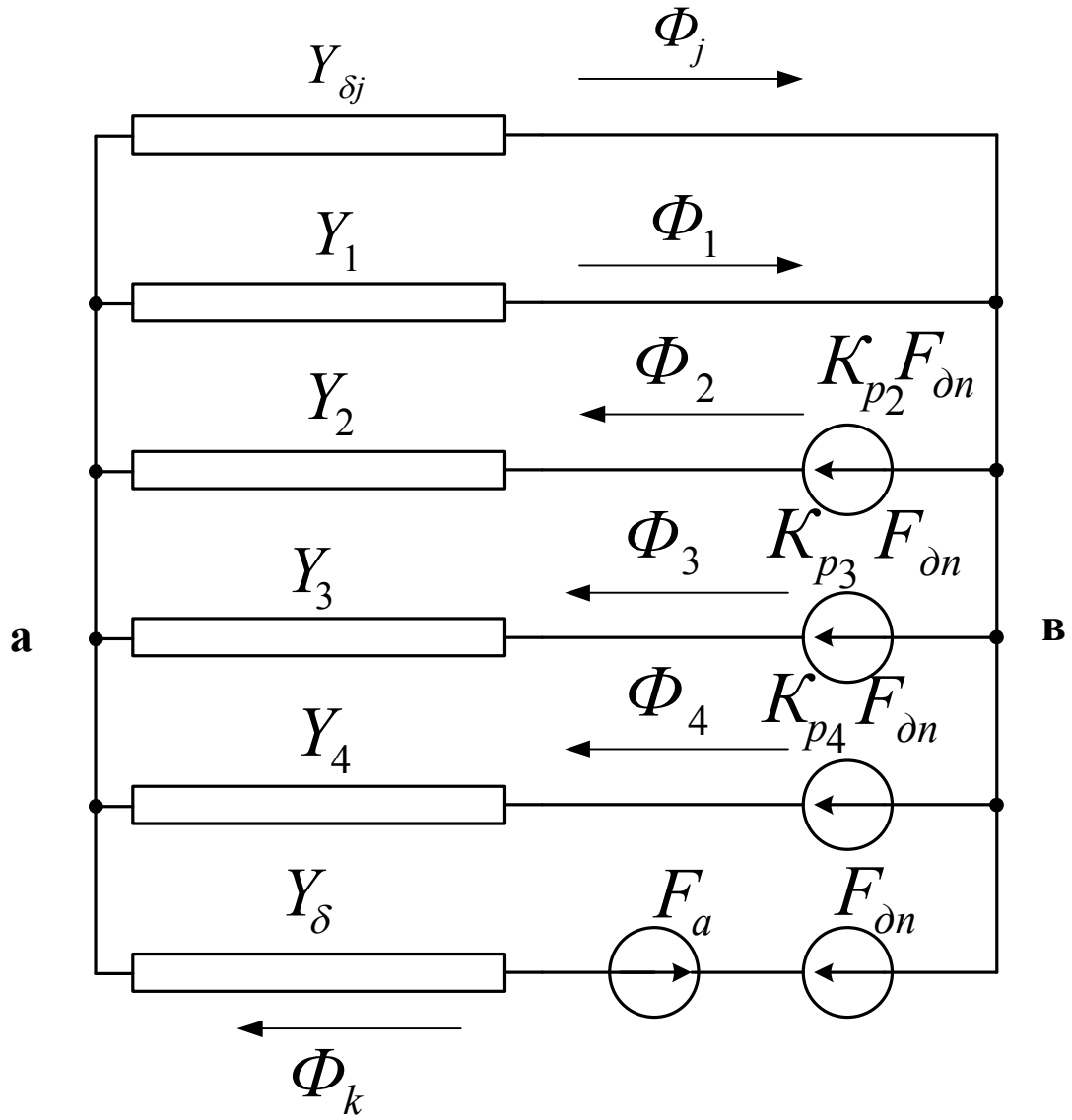
1. Для пояснення застосування схем заміщення та визначення їх параметрів бажано мати плакати, вигляд яких наведено нижче.
2. Для підготовки для заняття, студенти мають заготовити на аркуші формату А2 – А3 ескіз міжполюсного вікна проектуваного двигуна (такий ескіз робився для розрахунків магнітного кола у занятті 3)



$$Y_{j\delta} = \mu_o \cdot l \cdot \frac{b_{mj}}{\delta_{dj}}; \quad Y_i = \mu_o \cdot l \cdot \frac{b_{mi}}{\delta_{mpi}}; \quad \text{де } i = 1, 2, 3, 4;$$

$$F_{dni} \approx F_{dn} \cdot \frac{b_{mpi}}{h_{dn}}; \quad Y_{\delta} = \mu_o \cdot l \cdot \sum_k \frac{b_{mp\delta k}}{l_{mp\delta k}} \frac{b_{mi}}{\delta_{mpi}}; \quad F_o = A \cdot \frac{\tau}{2};$$

Рисунок 6.1 – Схема заміщення ланцюга додаткового полюса



$$F_{\ddot{a}\ddot{i}} = w_{\ddot{a}\ddot{i}} \cdot^2; \quad \hat{e}_{\delta 2} = \frac{b_{mp2}}{h_{\ddot{a}\ddot{i}}}; \quad \hat{e}_{\delta 3} = \frac{b_{mp2} + b_{mp3}}{h_{\ddot{a}\ddot{i}}}; \quad \hat{e}_{\delta 4} = \frac{b_{mp2} + b_{mp3} + b_{mp4}}{h_{\ddot{a}\ddot{i}}};$$

Рисунок 6.2 – Схема, перетворення до двох вузлів

Заняття 7.

ОБЧИСЛЕННЯ МАГНІТНОГО КОЛА ДОДАТКОВИХ ПОЛЮСІВ МЕТОДОМ СХЕМ ЗАМІЩЕННЯ (НЕЛІНІЙНІ РЕЖИМИ)

Тема 7 Порушення комутації в перехідних режимах роботи двигунів
та при пульсуючому живленні (16 годин)

Слід мати плакат узагальненої схеми заміщення двохполюсної машини,
який наведено нижче.

Після визначення головних параметрів схеми заміщення її розрахунок
виконується за допомогою програми на ЕОМ у пакеті MatLab, або на мові
TurboPascal.

Слід зосередити увагу студентів на дослідженні саме явища асиметрії
пліч магнітного кола та його можливого впливу на процес комутації.

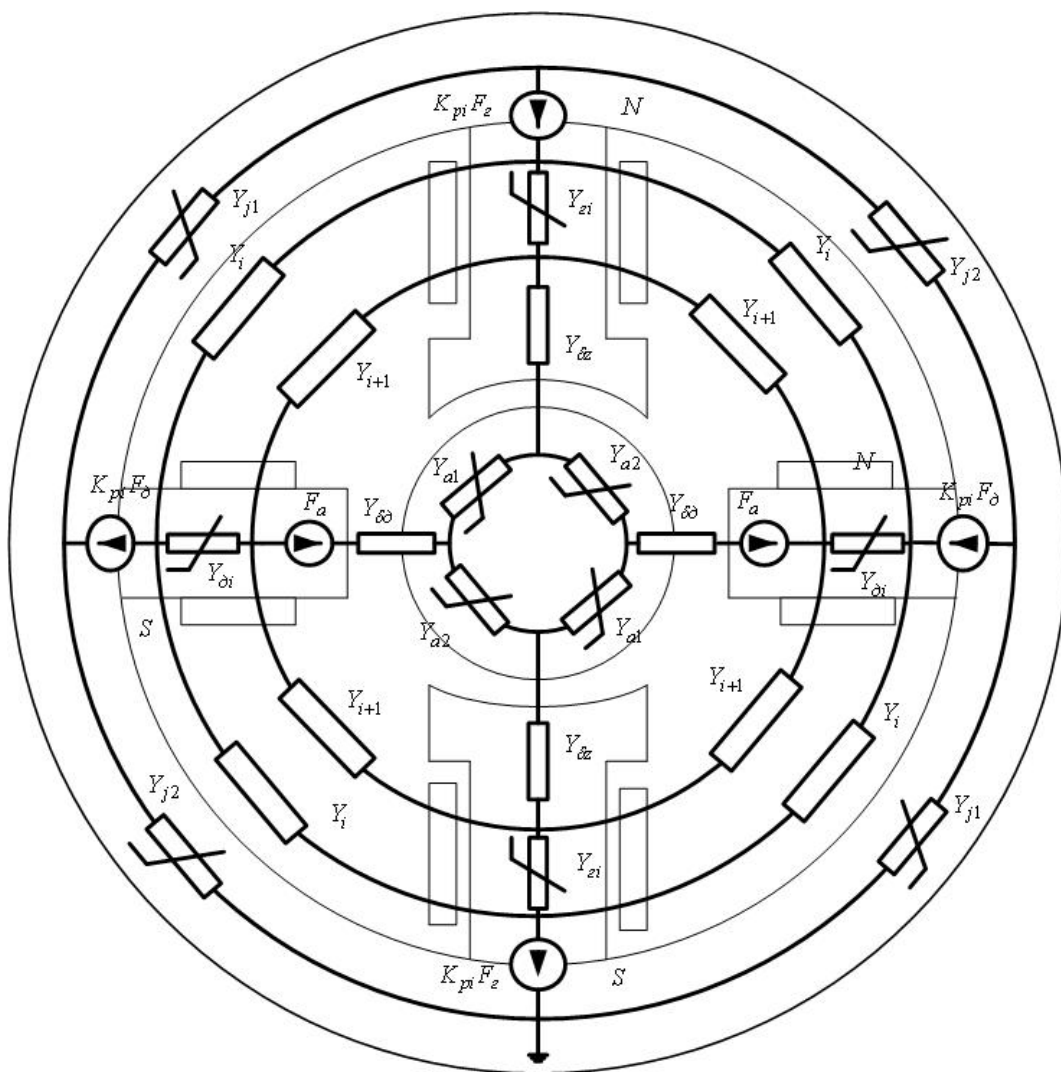


Рисунок 7.1 – Асиметрії пліч магнітного кола

Заняття 8.

ТЕПЛОВЕТИЛЯЦІЙНІ РОЗРАХУНКИ ТЯГОВИХ МАШИН

Тема 10 Тепловий стан тягових електродвигунів. Режим роботи тягових моторів за тепловим станом. Термотривкість ізоляції. Теплові розрахунки тягових моторів (16 годин)

Для проведення цього заняття слід мати такі плакати:

1. Опис задачі розподілу температури по довжині стрижня (його вигляд наведено нижче).
2. Ескіз заповнення пазу (конструкція ізоляції пазу).

Проведення цього заняття спирається на матеріал поданий у навчальному посібнику [9] – Ю. С. Калиниченко, А. І. Кузнецов; Тягові електричні машини. Двигуни постійного струму : навч. посібник (для студентів денної та заочної форм навчання 3–5 курсів спеціальності 7.092.202 – Електричний транспорт.

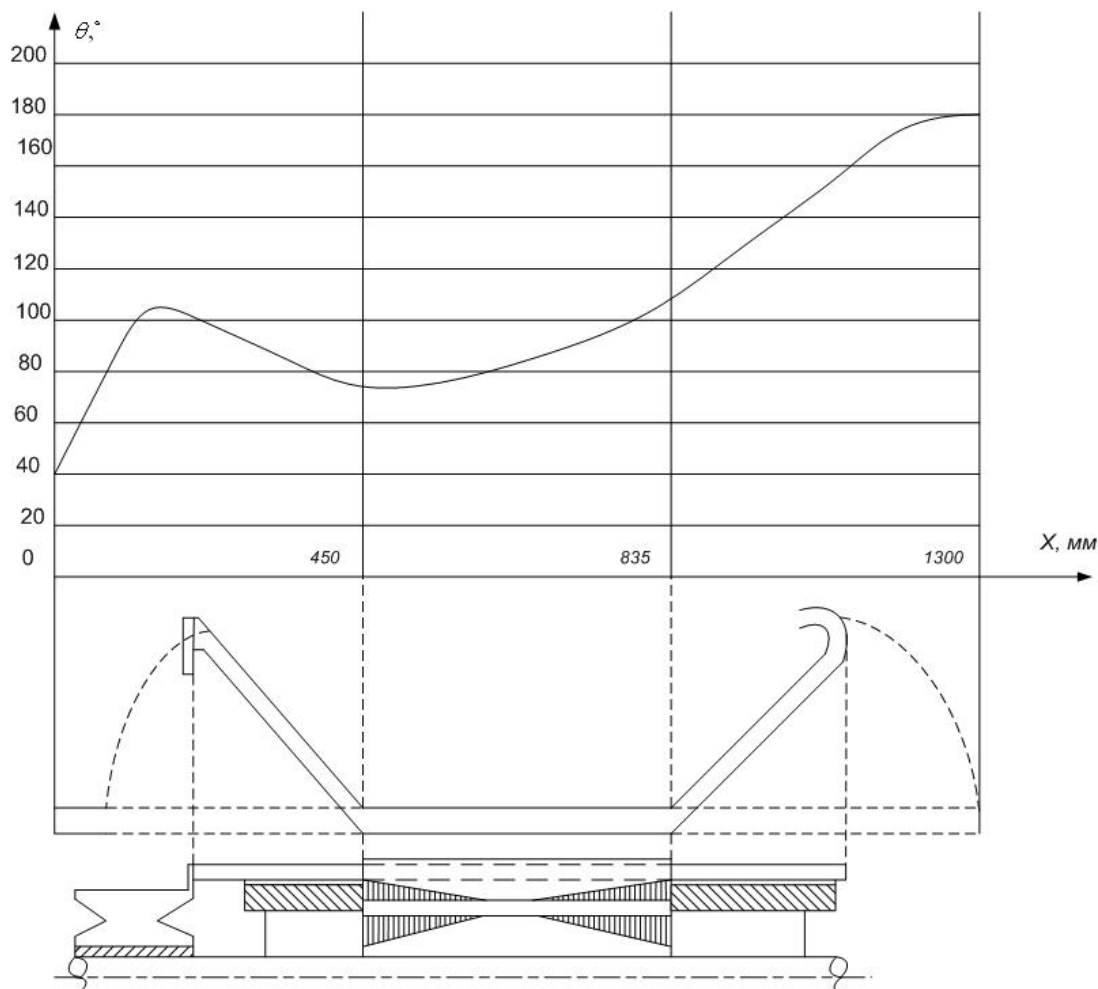


Рисунок 8.1 – Розподіл індукції по розрізу якоря

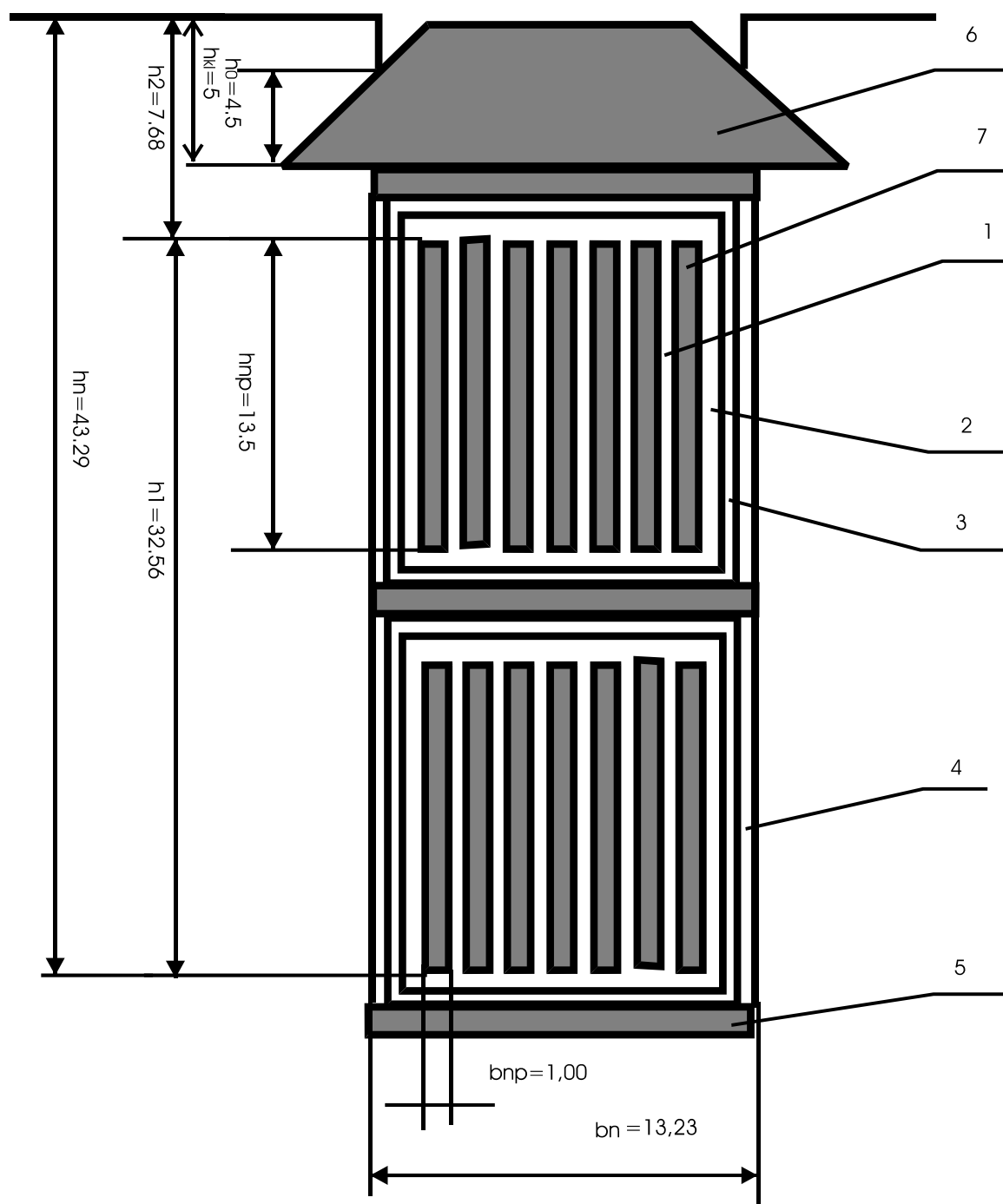


Рисунок 8.2 – Ескіз пазу якоря

Заняття 9.

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СХЕМИ ЗАМІЩЕННЯ ТА ПОБУДОВА КРУГОВОЇ ДІАГРАМИ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

Тема 12 Асинхронні тягові двигуни (28 годин)

Наявність плакатів: – *схема заміщення асинхронного двигуна із визначенням її параметрів.*

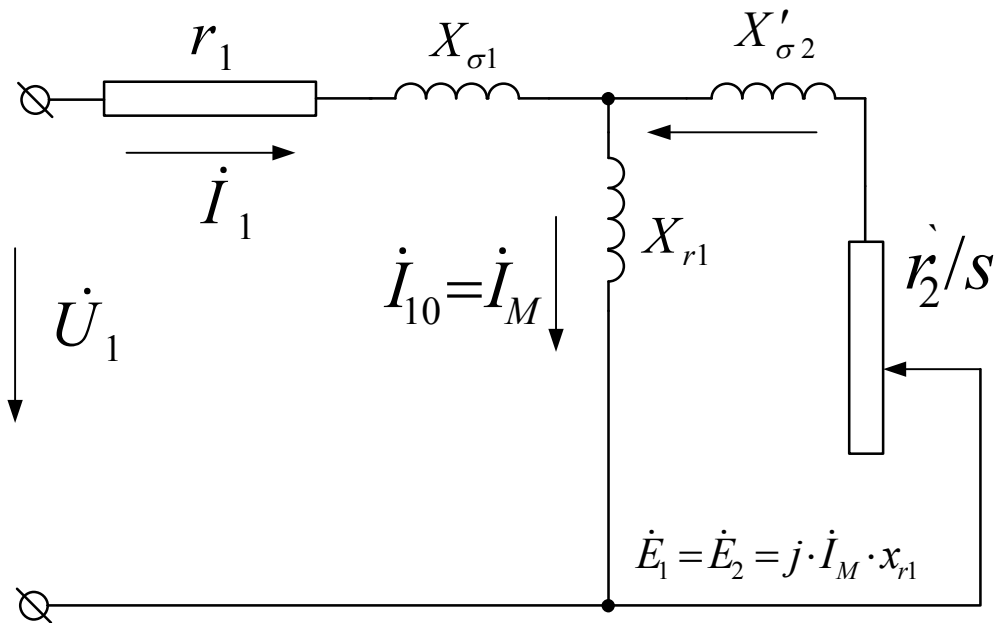


Рисунок 9.1 – Схема заміщення асинхронного двигуна

$$k = k_e^2 = \left(\frac{U_{1ном}}{E_{рном}} \right)^2; \quad x'_{\sigma 2} = k \times x_{\sigma 2}; \quad r'_2 = k \times r_2.$$

$$x_k = x_{\sigma 1} + x'_{\sigma 2}; \quad r_k = r_1 + r'_2. \quad x_{c1} = \frac{U_1}{I_{10}}$$

– *вигляд характеристик асинхронного двигуна: механічної та електромеханічної*

$$M(s) = \frac{(2 + q)M_k}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s} + q}, \quad \text{де } s_k \text{ – критичне ковзання } s_k = \frac{r'_2}{\sqrt{r_k^2 + x_k^2}}$$

M_k – критичний момент

$$M_k = \frac{3U_1^2}{2\omega_0(r_1 + \sqrt{r_1^2 + x_k^2})}, \quad \omega_0 = n_0 \times \frac{\pi}{30}.$$

$$q = \frac{2r_1}{\sqrt{r_1^2 + x_k^2}}.$$

Рівняння електромеханічної характеристики

$$I_2'(s) = \frac{U_1}{\sqrt{(r_1 + \frac{r_2'}{s})^2 + x_k^2}}$$

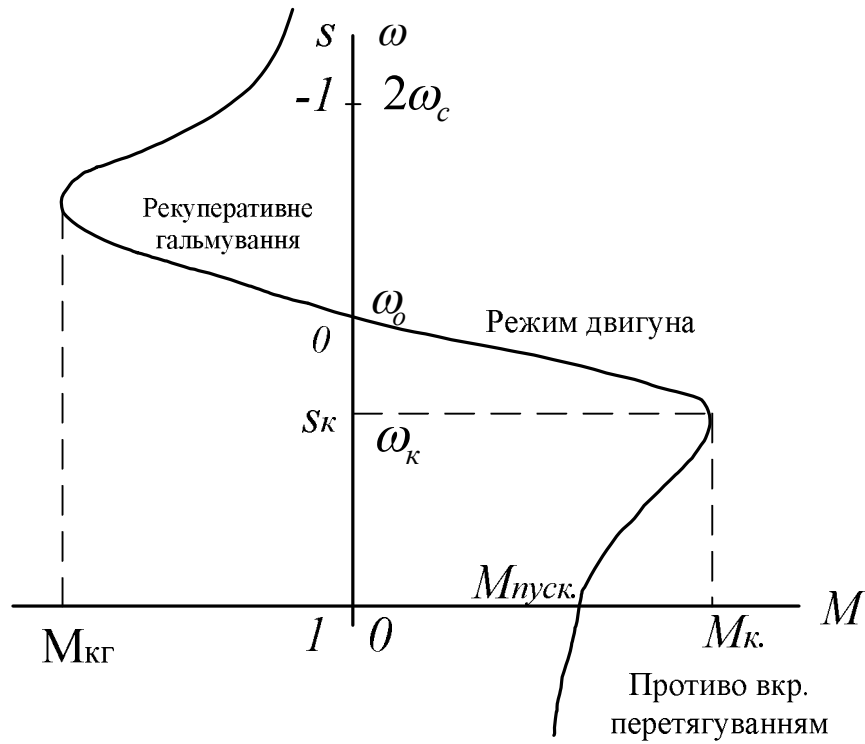


Рисунок 9.2 – Механічна характеристика асинхронного двигуна

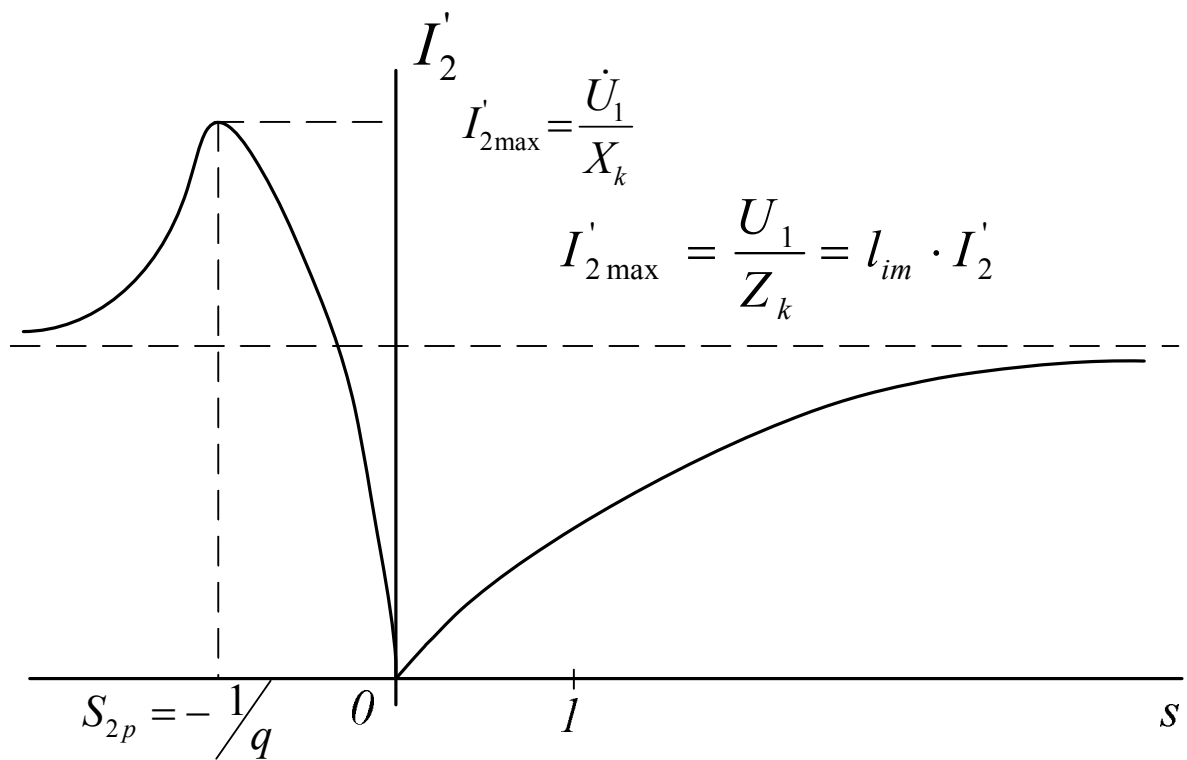


Рисунок 9.3 – Електромеханічна характеристика асинхронного двигуна

Крім цього, на макетах, які є в лабораторії доцільно повторити особливості конструкції асинхронного двигуна:

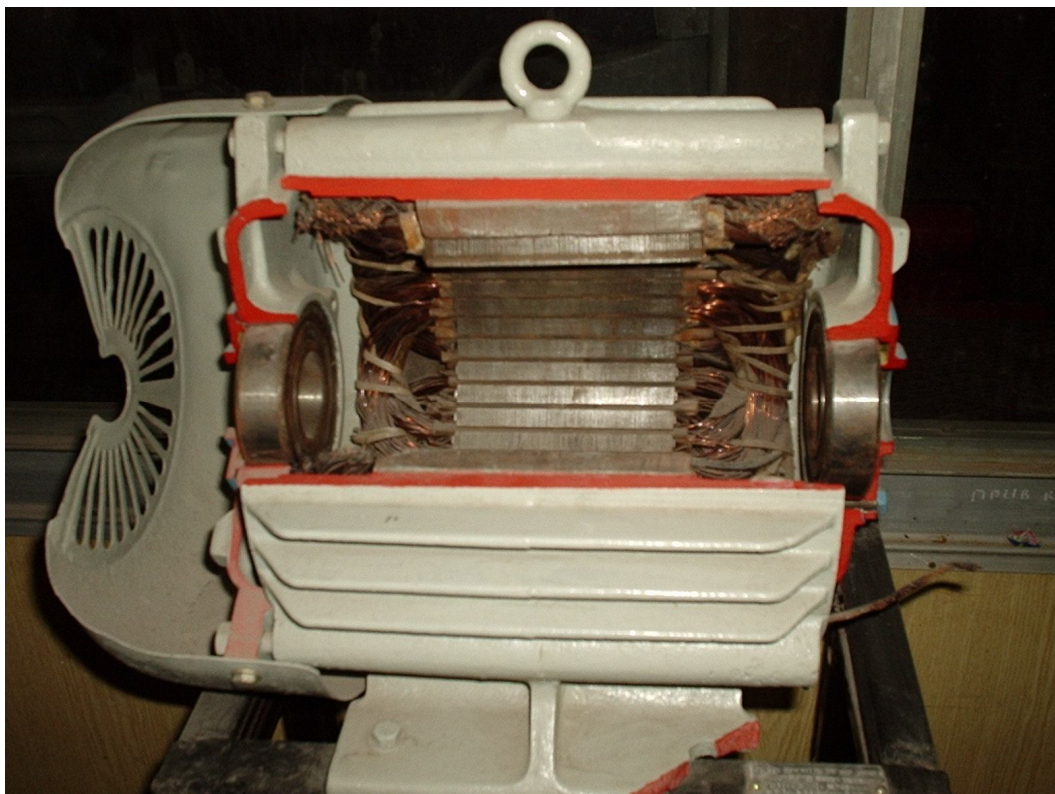


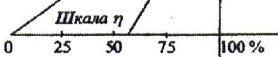
Рисунок 9.4 – Статор асинхронного двигуна



Рисунок 9.5 – Фазный ротор асинхронного двигателя



Рисунок 9.6 – Короткозамкнутый ротор асинхронного двигателя



33

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Находкин М. Д. Проектирование тяговых электрических машин / М. Д. Находкин, Г. В. Василенко, М. А. Козорезов, Д. М. Лупкин. – М. : Транспорт, 1967. – 536 с.
2. Захарченко Д. Д. Тяговые электрические машины / Д. Д. Захарченко, И. А. Романов. – М. : Транспорт, 1991. – 343 с.
3. Бертинов А. И. Специальные электрические машины. Источники и преобразователи энергии: в 2-х кн. / А. И. Бертинов, Д. А. Бут, С. Р. Мизюрин и др.; Под ред. Б.Л. Алиевского. – М. : Энергоатомиздат, 1993.
4. Костенко М. П. Электрические машины (ч1, ч.2) / М. П. Костенко, Л. М. Пиотровский. – М – Л.: Энергия, 1965, 544 с. и 704 с.
5. И. Н. Рабинович Проектирование машин постоянного тока / И. Н. Рабинович, И. Г. Шубов. – Л. : Энергия, 1967. – 504 с.
6. Калиниченко Ю. С. Тягові електричні машини. Двигуни постійного струму : навч. посібник / Ю. С. Калиниченко, А. І. Кузнецов. – Харків : ХНАМГ, 2004. – 218 с.
7. Гольдберг О. Д. Проектирование электрических машин : учебник для вузов / О. Д. Гольдберг, Я. С. Гурин, И. С. Свириденко. – М. : Высшая школа, 1984. – 431 с.

Виробничо-практичне видання

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до виконання практичних робіт

з курсу

СПЕЦІАЛЬНІ ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ

*(для студентів усіх форм навчання спеціальності
141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка)*

Укладачі: **ПЕТРЕНКО** Олександр Миколайович

Відповідальний за випуск : *О. М. Петренко*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2013, поз. 137 М

Підп. до друку 26.03.2013. Формат 60×84/16.

Друк на ризографі. Ум. друк. арк. 0,6.

Тираж 50 пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.

Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.