

Міністерство транспорту та зв'язку України
Державний економіко-технологічний університет транспорту
Кафедра «Тяговий рухомий склад залізничного транспорту»



ТЯГОВІ ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ
ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Для студентів спеціальності 7.092202
«Електричний транспорт»
спеціалізації: «Електровози та електропоїзди»
усіх форм навчання

Київ 2010

Данилевський В.І. Тягові електричні машини: Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт. – Київ: ДЕГУТ, 2010. – 48 с.

Методичні вказівки до виконання лабораторних і учбово-дослідницьких робіт, які повинні виконати студенти п'ятого курсу, містять описання восьми лабораторних і учбово-дослідницьких робіт, які необхідно виконати протягом одного семестру. Вони передбачають достовірність вимог ГОСТ 2582-81 до конструкції і методів випробовування тягових електричних машин. Вивчення конструктивних особливостей стендів безпосереднього та взаємного навантаження та їх застосування при випробовуванні тягових двигунів після проведення їх капітального ремонту з метою контролю його номінальних параметрів. Окремим розділом виділені вимоги забезпечення безпеки при роботі на стенді. До кожної роботи додається перелік контрольних запитань, на які студенти повинні самостійно підготуватися і відповісти при захисті.

Методичні вказівки призначені для студентів спеціальності 7.092202 «Електричний транспорт спеціалізації: Електровози та електропоїзди» усіх форм навчання; відповідають програмі курсу «Тягові електричні машини».

Затверджено на засіданні кафедри (протокол № 6 від 25. 01. 2010 р.).

Укладач: *Данилевський В. І.*, канд. техн наук, доц. кафедри ТРС ЗТ

Рецензенти: Кулешов В. П., канд. техн. наук., доцент кафедри ТРС ЗТ;
Чистяк В. Г., заступник головного інженера головного управління локомотивного господарства Укрзалізниці

З М І С Т

Вступ	4
1. Основні положення проведення лабораторних робіт	5
1.1. Організація проведення лабораторних робіт	5
1.2. Техніка безпеки при роботах у лабораторії кафедри «Тяговий рухомий склад»	5
2. Загальні вказівки з виконання лабораторних робіт	6
3. Опрацювання результатів дослідження й оформлення звіту	9
Лабораторна робота № 1. Дослідження тягових електричних машин	11
Лабораторна робота № 2. Вивчення конструкції тягових електричних машин	13
Лабораторна робота № 3. Дослідження методів випробування тягових електричних машин	14
Лабораторна робота № 4. Вивчення будови стендів випробування тягових електричних машин	17
Лабораторна робота № 5. Дослідження швидкісних характеристик тягового двигуна	23
Лабораторна робота № 6. Визначення ККД тягового двигуна.....	26
Лабораторна робота № 7. Зняття характеристик навантажень тягових двигунів	30
Лабораторна робота № 8. Дослідження комутації тягового двигуна	33
Лабораторна робота № 9. Дослідження нагрівання обмоток тягового двигуна	38
Лабораторна робота № 10. Дослідження потенційних умов на колекторі тягового двигуна постійного струму	44
Список основної літератури	47
Додаткова література	47

Вступ

Електрична машина – це машина, в основі дії якої лежить явище електромагнітної індукції і яка призначена для перетворення механічної енергії в електричну, електричної в механічну або електричної в електричну іншого роду струму, іншої напруги, іншої частоти.

Але електричним машинам та трансформаторам властива єдина природа електромагнітних та енергетичних процесів, які виникають при взаємодії магнітного поля та провідника зі струмом. З цих причин вимоги до трансформаторів такі, як і до тягових електричних машин. Завданням курсу з дисципліни «Тягові електричні машини» є вивчення будови, принципу дії, властивостей та методів розрахунків різних видів тягових електричних машин. Курс складається із 3 загальноосвітніх і 8 змістовних модулів, які охоплюють повний обсяг теоретичних основ будови, принципу дії та робочих процесів тягових електричних машин і трансформаторів.

Лабораторні роботи знайомлять студентів з будовою електричних машин і дозволяють експериментально перевірити основні положення теорії, набути навиків зі складання електричних схем, що включають в себе електричні машини, трансформатори, пускорегулюючу апаратуру, вимірювальні пристрої. Особиста участь в експериментах виробляє в студентів практичні навички за методикою проведення дослідів і обробці їхніх результатів. За отриманими результатами лабораторного дослідження студенти повинні навчитися оцінювати властивості тягових електричних машин і тягових трансформаторів.

Проведення лабораторних робіт дає можливість студентам самостійно дослідити тягові електричні машини безпосередньо на стендах електротехнічної лабораторії кафедри «Тяговий рухомий склад», провести відповідні розрахунки і побудувати відповідні характеристики, а також дослідити властивості матеріалів які застосовують при їх будівництві і ремонті.

1. Основні положення проведення лабораторних робіт

1.1. Організація і порядок проведення лабораторних робіт

Попередня підготовка студентів до кожної лабораторної роботи і розуміння її мети й змісту – найважливіша умова. Тому перед тим, як приступити до виконання лабораторної роботи, студент повинен старанно вивчити зміст роботи і порядок її виконання; повторити теоретичний матеріал, пов'язаний із виконанням даної роботи; підготувати таблиці з необхідною кількістю граф для занесення результатів спостережень і обчислень.

Студент повинен мати окремий робочий зошит для записів матеріалів з виконуваних робіт, необхідних для упорядкування звіту про пророблену роботу.

Лабораторні роботи виконуються бригадами студентів, звичайно по 3-7 осіб. Така кількість студентів у бригаді визначається необхідністю одночасного зняття великої кількості показань вимірювальних приладів і регулюванням декількох параметрів досліджуваного об'єкта. У процесі роботи кожний член бригади виконує визначені обов'язки. У наступних роботах обов'язки членів бригади повинні змінюватися так, щоб усі члени бригади набували навиків з різноманітних видів робіт лабораторного дослідження. Лабораторна робота зараховується, якщо звіт містить необхідні схеми, таблиці і графіки, виконані правильно й акуратно, і якщо студент відповів на питання викладача, виявивши знання будови і принципу роботи об'єкта дослідження і розуміння фізичних процесів, що пояснюють отримані по даній роботі результати. Крім того, студент повинен знати призначення всіх елементів схеми і вміти пояснити порядок дій при виконанні будь-якого експерименту в лабораторній роботі.

1.2. Техніка безпеки при роботах у лабораторії кафедри «Тяговий рухомий склад»

Лабораторні стенди в електротехнічних лабораторіях Університету є діючими електроустановками, окремі елементи яких знаходяться під напругою. Тому за певних умов, що виникають через порушення встановлених правил, лабораторні стенди можуть стати джерелом ураження людини електричним струмом й іншими факторами травмування людини.

Становище ускладнюється ще й особливістю монтажу елементів лабораторних стендів, які передбачають максимальний зв'язок учнів з приладами, машинами і пускорегулюючою апаратурою, що створює додаткову небезпеку при виконанні лабораторних робіт.

Тіло людини має електропровідність, а тому при зіткненні з двома неізольованими елементами установки, що знаходяться під напругою (одним із цих елементів може виявитися корпус електричної машини або трансформатора), через тіло людини проходить електричний струм. Досягнувши небезпечних значень, цей струм призводить або до сильних опіків (електрична травма), або до важких уражень нервової, серцевої і дихальної

систем організму людини (електричний удар). Наслідки поразки електричним струмом бувають важкими і можуть призвести до смертельного випадку.

Специфіка роботи студентів з електричними машинами складається в тому, що при недотриманні правил техніки безпеки студент піддається не тільки небезпеці ураження електричним струмом, але і небезпеці механічних ударів із боку обертових частин електричних машин і гальмівних пристроїв. Необхідно пам'ятати, що багато елементів схеми лабораторного устаткування, що знаходяться під напругою, доступні для дотику, а обертові частини, хоча і мають звичайні захисні пристрої, усе ж не виключають захоплення частин одягу або механічного удару. Тому студенти в лабораторії повинні дотримуватися виняткової обережності і правил техніки безпеки:

1.2.1. Студент, знаходячись у лабораторії, повинен бути досить дисциплінованим та уважним: беззаперечно виконувати усі вказівки викладачів і лаборантів: знаходячись безпосередньо біля досліджуваного лабораторного пристрою (стенду).

1.2.2. Забороняється підходити до іншого устаткування, розподільчих щитів пультів і робити на них які-небудь дії, не передбачені в порядку проведення лабораторною роботою, а при переміщенні повзунків і ручок пускорегулюючої апаратури, необхідно стежити за тим, щоб рука була в зіткненні тільки з ізолюваною частиною.

1.2.3. Одяг студентів не повинен мати вільно звисаючих кінців шарфів, косинок, краваток, а зачіска або головне вбрання повинне виключати можливість «звисання» волосся.

1.2.4. Якщо схема містить конденсатори, то після її вимкнення необхідно розрядити конденсатори, замкнувши накоротко їхні виводи спеціальним пристроєм.

1.2.5. При роботі з лабораторними пристроями, якщо ті знаходяться під напругою, студенти повинні стояти на ізоляційних гумових килимках, наявних у кожного лабораторного пристрою.

1.2.6. Про всі помічені випадки несправності в роботі устаткування і порушенні правил техніки безпеки кожний студент повинен негайно доповісти викладачу.

1.2.7. Якщо відбувся нещасний випадок, лабораторне устаткування необхідно негайно відключити від джерела електроенергії, стислого повітря й інших видів енергії, надати постраждалому першу допомогу і сповістити про це викладача.

Інструктаж з техніки безпеки має бути зафіксований у спеціальному журналі, де кожний студент повинен поставити свій підпис перед початком кожної лабораторної роботи.

2. Загальні вказівки з виконання лабораторних робіт

Лабораторні роботи, пов'язані з дослідженням електричних машин, відрізняються великою кількістю різноманітних вимірів як електричних (струм, напруга, потужність), так і неелектричних (момент, частота обертання)

величин. Крім того, у ході експериментів виконують різноманітні регулювання і переключення, пов'язані з пуском машини, зміною частоти обертання, навантажувального моменту і т. ін. Тому задана програма лабораторної роботи може бути успішно виконана у відведений для цього час тільки за умови ретельної підготовки і продуманих дій усіх членів бригади студентів при виконанні роботи. При цьому мається на увазі не тільки проведення експериментів, але й опрацювання отриманих результатів і упорядкування звіту з лабораторної роботи.

Отримавши дозвіл викладача, бригада студентів приступає до виконання лабораторної роботи. Спочатку необхідно ознайомитися і записати в робочий зошит номінальні дані досліджуваного об'єкта (електричних машин, трансформаторів), а потім з'ясувати розташування вимірювальних приладів і пускорегулюючої апаратури, призначених для виконання експерименту. При виборі вимірювальних приладів необхідно керуватися не тільки відповідністю межі виміру приладу найбільшому значенню вимірюваної величини, але і відповідністю системи приладу роду вимірюваних струмів і напруг.

Пускові і регулювальні реостати, необхідні для виконання роботи, розташовані на лабораторному стенді або поблизу нього, тому варто лише встановити призначення кожного з них.

При складанні схеми доцільно дотримуватися такого правила: спочатку виконувати всі з'єднання в послідовному (головному) ланцюзі, тобто з'єднати всі елементи схеми, призначені для послідовного вмикання (амперметрії, послідовні котушки ватметрів, послідовні обмотки збудження машин постійного струму, фазні обмотки статорів машин змінного струму і т. ін.), а потім приєднати елементи схеми послідовного вмикання (вольтметри, паралельні котушки ватметрів, паралельні обмотки збудження машин постійного струму з регулювальними реостатами і т. ін.). Такий прийом дозволяє свідомо підійти до оцінки призначення кожного елемента схеми і тим самим уникнути ряду помилок при складанні схеми, наприклад елемента схеми, призначений для послідовного вмикання, приєднати паралельно і навпаки.

Якщо електрична схема містить у собі велику кількість вимірювальних приладів і регулювальних реостатів, то одночасно зі складанням схеми варто провести маркування вимірювальних приладів і регулювальних реостатів (на паперових або картонних бірках записати позначення елементів схеми і прикріпити до них). Цей захід найбільш доцільний в початковий період роботи студентів у лабораторії електричних машин і електропривода.

При складанні схеми потрібно за можливістю уникати перехрещування проводів і на один затискач приєднувати не більше трьох проводів. Усі з'єднання проводів повинні бути надійними. Варто пам'ятати, що на відшукування порушеного контакту часто потрібно більше часу, ніж на ретельне приєднання проводів.

Після складання схеми перевіряють, при цьому якщо складання схеми виконував один студент, то перевіряти її повинен інший. При перевірці схеми необхідно ручки пускових і регулювальних реостатів поставити в положення,

що відповідає пуску машини: ручку пускового реостата в положенні пуск, а ручки регулювальних реостатів у ланцюзі збудження поставити в положення, що відповідає найбільшому значенню струму збудження у двигунів або найменшому значенню цього струму в генераторів. Якщо в схемі застосований регулювальний автотрансформатор, то його ручку варто поставити в нульове положення. Слід також перевірити, чи стоять стрілки вимірювальних приладів на нульовому розподілі шкали. При необхідності їхнє положення варто відкорегувати.

Зібрану схему потрібно показати для перевірки викладачу і тільки з його дозволу зробити пробне вмикання лабораторної установки.

При цьому необхідно звернути увагу на показання приладів. У ланцюзі постійного струму при використанні вимірювального приладу магнітоелектричної системи можливо відхилення стрілки вліво від нуля. У цьому випадку потрібно відключити установку та поміняти місцями провідники, які підводять струм до приладу. При пробному вмиканні установки необхідно також перевірити переміщення ручок регулювальних реостатів, як змінюється регульований параметр машини (напруга на виході генератора або частота обертання двигуна) і чи не виходять стрілки вимірювальних приладів при цьому за межі. Якщо якийсь параметр машини не регулюється або ж прилад зашкалює, потрібно відключити установку і замінити відповідний регулюючий реостат чи прилад, або змінити умови експерименту, наприклад, збільшити діапазон зміни опору в ланцюзі збудження. Якщо ж пробне вмикання показало, що всі елементи схеми працюють нормально, то можна приступити до проведення експерименту.

Зняття показників по усіх вимірювальних приладах слід проводити за можливістю одночасно. Тому між членами бригади повинні бути заздалегідь розподілені обов'язки зі зняття показань вимірювальних приладів і регулювання параметрів машини. Показання приладів знімають за командою студента, що виконує регулювання параметрів машини.

Не можна робити перерви в розпочатій серії спостережень. Якщо з'явилися сумніви в показанні якогось приладу, то необхідно повторити зняття показань по всіх приладах. Показання записують у заздалегідь заготовлених таблицях із необхідною кількістю граф, у точній відповідності з одиницями вимірів, зазначеними на шкалі приладу. Ніяких перерахунків показань на інші одиниці або ж урахування коефіцієнта трансформації вимірювального трансформатора струму під час досліду робити не можна. Наприклад, якщо вимір ведеться вимірювальним приладом із шкалою, яка має широкий діапазон, то в таблицю записують показання в кількості поділок шкали, визначених стрілкою, без множення показання на ціну поділки. Якщо ж цього правила не дотримуватися, то можливість помилки різко зростає, а при виявленні помилки неможливо визначити, коли вона допущена – при знятті показань приладу або при їхньому перерахунку.

Після закінчення експерименту, не розбираючи схеми, виконують усі необхідні розрахунки і на заздалегідь заготовленій координатній сітці

відкладають точки майбутніх графіків і з'єднують їх плавною кривою лінійно. Потім кожний студент повинен уважно проаналізувати отримані результати експерименту, порівнявши їх із номінальними даними машини або трансформатора із основними положеннями теорії досліджуваного пристрою, а також перевірити реальність отриманих результатів. Наприклад, якщо отримане значення коефіцієнта потужності більше одиниці або ж значення ККД більше 100 %, то це свідчить про наявну помилку. Якщо ж результати експерименту не викликають сумнівів, то їх варто пред'явити для перевірки викладачу. Залежно від правильності цих результатів викладач дає вказівку або на повторення експерименту, або на перехід до наступного.

При переході від одного експерименту до іншого даної лабораторної роботи необхідно щоразу пред'являти викладачу для перевірки результати дослідів у вигляді таблиць, розрахунків і графіків.

3. Опрацювання результатів дослідження й оформлення звіту

Звіт з лабораторної роботи складається кожним студентом на аркушах формату А-4. Вимоги до звіту з кожної теми надаються в цих вказівках.

Оформлені звіти лабораторних робіт здаються студентом викладачу за тиждень до захисту в спеціально відведений для цього час.

Недбало виконані або неповні за обсягом звіти до захисту не приймаються. Під час захисту студентові може бути поставлене будь-яке запитання, що стосується даної лабораторної роботи. Орієнтовний перелік питань по кожній темі наводиться у вказівках. При відповіді студентом на всі задані викладачем питання робота вважається зарахованою.

Кожний студент повинен самостійно відповідати на будь-яке з контрольних запитань, опрацювати результати виконаних ним дослідів і скласти звіт про пророблену лабораторну роботу.

Цей звіт, крім номера і назви лабораторної роботи, індексу навчальної групи повинен містити такі відомості:

- перелік електричних машин, трансформаторів, пускорегулюючої апаратури і вимірювальних приладів із указівкою їх паспортних даних; програму лабораторної роботи; електричні схеми з'єднань;
- таблиці із записом результатів проведених дослідів і виконаних обчислень;
- електричні схеми з'єднань;
- таблиці з записами результатів вимірів і розрахунків;
- розрахункові формули, за якими виконувалися обчислення;
- діаграми і графіки залежностей;
- висновок про пророблену роботу.

Всі схеми, таблиці і графіки, приведені у звіті повинні мати найменування. При виконанні розрахунків рекомендується користуватися персональними комп'ютерами, а при їхній відсутності – калькуляторами.

Схеми з'єднань і таблиці варто виконувати олівцем за допомогою лінійки з обов'язковим дотриманням вимог державного стандарту на умовні позначення елементів схем і на позначення одиниць виміру.

Особливу увагу необхідно приділити виконанню характеристик і графіків залежностей. Їх варто викреслювати по координатних сітках, бажано на міліметровому папері розміром не менше 100×100 мм. По координатних осях наносять розподіл з однаковими інтервалами, що відповідають відкладеним розмірам у прийнятих одиницях виміру. У кожній координатній осі повинні бути зазначені умовне літерне позначення відкладеного розміру й одиниця його виміру. Якщо розміри на координатних осях відкладені у визначеному масштабі з указівкою числових оцінок, то на кінцях цих осей стрілок не ставлять.

Якщо в одних координатних осях будується декілька графіків, що представляють собою функціональну залежність ряду розмірів від однієї незалежної змінної (наприклад, робочі характеристики двигуна), то паралельно основній осі ординат, перетинання якої з віссю абсцис прийнято за початок координатних осей, проводять додаткові осі ординат, кожна зі своїм масштабом і своїми одиницями виміру. За початок координат усіх величин приймають точку перетинання основних осей. При побудові точок за результатами дослідів на такому отриманому графіку ці точки, щоб уникнути помилок, варто відмічати різноманітними умовними значками – хрестиками, кружечками і т. ін. Після нанесення точок якогось графіка їх з'єднують плавною кривою за допомогою лекала. При цьому можливе розкидання точок, тобто деякі з цих точок не будуть лежати на кривій. Це пояснюється можливими похибками експериментів неточним зняттям показання вимірювального приладу, випадковими коливаннями напруги в мережі, наближеністю обчислень тощо. Якщо розкидання точок виявилось значним, то дослід варто повторити. Для побудови криволінійного графіка необхідно мати не менше п'яти точок.

В останньому розділі звіту, у висновку про пророблену роботу, студент повинен дати оцінку експлуатаційним властивостям об'єкта дослідження, відповідність цих властивостей паспортним даним цього об'єкта, чи підтвердження експериментальних та теоретичних даних і т. ін.

Звіт у цілому повинен бути лаконічним, але щоб його зміст був зрозумілим без додаткових усних пояснень.

Обсяг звіту повинен мати стільки сторінок в зошиті або форматі А-4, щоб стисло відповісти на всі запитання кожного розділу.

Лабораторна робота № 1 **ДОСЛІДЖЕННЯ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН**

Мета роботи:

1. Дослідити вимоги до конструкції тягових електричних машин.
2. Вимоги до тягових двигунів постійного і пульсуючого струмів та змінного струму.

Тягові електродвигуни (ТЕД) класифікуються за:

- конструктивним виконанням;
- опиранням на вісь;
- приводом передачі обертового моменту на вісь колісної пари;
- способу живлення електроенергією й родом струму;
- режимом роботи;
- способом охолодження;
- ступенем захисту;
- кліматичним виконанням.

Відмінність ТЕД від загальнопромислових полягає у використанні електротехнічних матеріалів на граничній межі. Ці вимоги викликані роботою двигунів в обмежених габаритах, при низьких вагових показниках та високому змінному механічному й електричному навантаженні на конструкції, в умовах підвищеного попадання всередину пилу й вологи (у тому числі з утворенням пари при високих температурах та інею й при низьких температурах), а також тривалим терміном служби. ТЕД повинні відповідати вимогам ГОСТ 2582-81 і ГОСТ 15150-69, за якими допускаються одиночні удари із прискоренням до 280 м/с^2 при моторно-осьовому підвишуванні двигуна, робота при температурі навколишнього повітря від мінус 50°C (іноді від мінус 60°C) до плюс 40°C . При роботі в зоні помірного або помірно-холодного клімату регламентована відносна вологість повітря – 80 %, середньорічна абсолютна вологість – 11 г.м кв; припустима експлуатація на висоті 1200 м – іноді до 1400 м від рівня моря; термін експлуатації 25-30 років. Різка зміна механічного навантаження, температури і вологості провокує утворення тріщин у конструкціях, ізоляційних матеріалах, антикорозійному покритті.

ТЕД може працювати в режимі реверсування, а також у режимі генератора (при електричному гальмуванні). За конструктивним виконанням розрізняють колекторні й безколекторні тягові електродвигуни. У якості ТЕД на спеціальному високошвидкісному електрорухомому складі використовуються синхронні та асинхронні електродвигуни. За родом струму розрізняють ТЕД колекторні постійного струму (пульсація струму до 10 %), колекторні пульсуючого струму з живленням від

однофазного випрямляча, і безколекторні змінного струму асинхронні (однофазні, багатофазні) і синхронні (вентильні) з перетворенням однофазного струму в багатофазний (звичайно в трифазний). Охолодження ТЕД здійснюється звичайно повітрям з незалежною вентиляцією. На магістральних електровозах невеликої потужності застосовується самовентиляція (на електропоїздах і у вагонах метро), іноді природне охолодження або рідинне охолодження, у т.ч. при наднизьких температурах (дослідні розробки лінійних двигунів для високошвидкісного транспорту).

Режими роботи ТЕД – тривалий і короткочасний. Тривалий режим – робота протягом необмеженого часу при номінальній напрузі з найбільшою силою струму, при якій температура обмоток досягає гранично припустимої. Для ТЕД, які використовуються при електричному гальмуванні, номінальні тривалі режими встановлюють при найменшому й найбільшому допустимих напругах, при номінальній потужності й частоті обертання. Номінальні короткочасні режими встановлюють при тривалості робочих періодів 15, 30, 40, 60 і 90 хв.

Зміст звіту

1. Назва роботи, мета і програма.
2. Короткий зміст ГОСТ 2582-81.
3. Вимоги до двигунів постійного, пульсуючого і змінного струмів.
4. Вимоги до допоміжних машин двигунів постійного і змінного струмів.

Опис роботи:

1. Вивчити вимоги ГОСТ 2582-81 до тягових електричних машин і відомчих нормативних матеріалів відповідності їх конструкції.
2. Вимоги до матеріалів, які використовуються при будівництві та ремонті тягових електричних машин.
3. Електроізоляційні матеріали, їх характеристики і застосування.
4. Провідникові матеріали.
5. Конструкційні та електротехнічні сталі.

Контрольні запитання:

1. Які вимоги, пред'являються до конструкції тягових двигунів? Їх відмінність від електричних машин загального призначення.
2. Класифікація електроізоляційних матеріалів та їх системи.
Що характеризують класи нагрівостійкості?
3. Яка питома щільність струму допускається у провідникових матеріалах, виготовлених з мідних і алюмінієвих сплавів?

4. Які електротехнічні матеріали використовуються для виготовлення осердя якорів, головних і допоміжних полюсів?

Лабораторна робота № 2 **ВИВЧЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН**

Мета роботи:

Вивчити конструкцію і технологію виготовлення тягових двигунів та їх окремих вузлів за натурними зразками, які є в лабораторії.

Програма роботи:

1. Вивчити конструкцію і технологію виготовлення тягових двигунів та їх окремих вузлів за плакатами, рекомендованою літературою, а також макетними і натурними зразками, які є в лабораторії.

2. Ознайомитися із способами підвішування тягових двигунів (опорно-осьовими та опорно-рамними).

3. Вивчити схему внутрішніх з'єднань тягового двигуна, маркіровку виводів.

4. Ознайомитися з електроізоляційними матеріалами, які застосовуються для виготовлення тягових двигунів.

5. Вивчити, чи відповідають ГОСТ 2582-81 елементи тягових електричних машин, звернувши особливу увагу на характеристику, програму і методи кваліфікаційних, приймально-здавальних періодичних, типових і ресурсних випробувань.

Зміст звіту:

1. Назва роботи, мета і програма.
2. Паспортні дані двигунів, що вивчаються.
3. Ескіз окремого вузла тягового двигуна (за вказівкою викладача).
4. Ескізи підвісок тягових двигунів.

Опис роботи:

Вивчити конструкцію двигуна і зробити ескіз одного з його вузлів:

- остов;
- підшипниковий щит;
- якір;
- колектор;
- щіткоутримувач;
- кронштейн щіткоутримувача;
- поворотна траверса;
- осердя і катушка головного полюса;
- схема внутрішніх з'єднань тягового двигуна;
- катушка додаткового полюса;

- моторно-осьові підшипники;
- котушка обмотки якоря;
- пакет активного заліза якоря;
- ізоляція і способи кріплення обмотки якоря;
- зубчаста передача;
- вбудований вентилятор;
- вентиляційна система тягового двигуна;
- карданна передача;
- вал якоря тягового двигуна.

Контрольні запитання:

1. Які вимоги, що пред'являються до конструкції тягових двигунів? Їх відмінність від електричних машин загального призначення.
2. Способи передачі моменту, що обертає, від двигуна на вісь колісної пари.
3. Конструктивна особливість остовів 4-х і 6-полюсних тягових двигунів.
4. Конструкція головних і додаткових полюсів.
5. Які застосовуються типи обмоток якорів? Чим визначається їх вибір?
6. Конструкція якоря і його обмотки. Способи кріплення обмоток.
7. Призначення і колектора. Чим визначається його діаметр?
8. Призначення поворотної траверси і конструкція щіткотримачів.
9. Системи охолодження тягових двигунів.

Лабораторна робота № 3 **ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ВИПРОБУВАННЯ ТЯГОВИХ** **ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН**

Мета роботи:

Вивчати методи випробування тягових електричних машин, встановлених за ГОСТ 2582-8:

- кваліфікаційних;
- приймально-здавальних;
- періодичних;
- типових;
- ресурсних.

Види випробування:

1. Кваліфікаційні випробування.

Кваліфікаційні випробування проводять під час випуску електричних машин нових типів, а також під час освоєння виробництва новим виробником.

Програма і послідовність випробувань електричних машин постійного і пульсуючого струму:

1.1. Визначення характеристики статичного тиску повітря, що охолоджує, за його входом в електричну машину залежно від витрати повітря, що продувається через неї (для електричних машин незалежною вентиляцією).

1.2. Визначення характеристики повного натиску повітря, що охолоджує, перед входом в електричну машину залежно від витрати повітря, що продувається через неї (для електричних машин з незалежною вентиляцією).

1.3. Вимірювання опору обмоток постійного струму в практично холодком .

1.4. Випробування на нагрівання при тривалій, повторно-короткочасній потужності залежно від номінального режиму.

1.5. Визначення струму вартового або іншого еквівалентного режиму, відповідного перевищенню температури при роботі електричної машини в номінальному режимі.

1.6. Випробування на нагрівання протягом 1 години або меншого інтервалу часу, якщо машина розрахована на короткочасний режим.

1.7. Перевірка частоти обертання і реверсування при номінальних значеннях напруги і струму навантаження і збудження.

1.8. Випробування на підвищену частоту обертання.

1.9. Випробування електричної міцності міжвиткової ізоляції обмоток.

1.10. Перевірка биття колектора.

1.11. Перевірка комутації.

1.12. Вимірювання опору ізоляції обмоток відносно корпусу машини і між обмотками.

1.13. Випробування електричної міцності ізоляції обмоток відносно корпусу машини і між обмотками.

1.14. Побудова сітки кривих нагрівання тягових двигунів для магістральних електровозів, електропоїздів.

1.15. Зняття швидкісних і навантажувальних характеристик двигунів при номінальній напрузі або потужності на виводах двигуна (в останньому випадку при заданій залежності напруги живлення від струму якоря) при усіх робочих величинах струму збудження та навантаження для 0,5; 1; 1,5 від номінального.

Характеристики навантажень двигуна визначають для струмів обмотки збудження від 0,25 номінального значення до найбільшого.

1.16. Визначення характеристик магнітних потоків головних і додаткових полюсів на електричних машинах магістральних електровозів.

1.17. Визначення індуктивності обмоток тягових двигунів, тягових генераторів, а також допоміжних електричних машин електровозів.

1.18. Зняття кривих розподілу міжламельних напруг по колу колектора машин потужністю більш ніж 3 кВт.

1.19. Визначення втрат і ККД.

1.20. Випробування на пуск.

1.21. Випробування на вологостійкість.

1.22. Випробування на холодостійкість при експлуатації.

1.23. Перевірка рівня вібрації.

1.24. Випробування на віброміцність, для електричних машин міського транспорту – випробування на механічні дії.

1.25. Визначення маси.

1.26. Перевірка захисту.

2. Приймально-здавальні випробування.

Приймально-здавальним випробуванням піддають кожен електричну машину. Машини постійного і пульсуючого струму випробовують за програмою відповідно до 1.3, 1.6 – 1.13 і 1.23. За допомогою приймально-здавальних випробувань встановлюють відповідність параметрів машини, що пройшла ремонт, а також її відповідність вимогам ГОСТ 2582-81 і технічним умовам.

При проведенні кваліфікаційних і приймально-здавальних випробувань необхідно строго дотримувати вказану вище послідовність, оскільки температура нагрівання обмоток двигуна впливає на результати досліджень. Слід зазначити, що ізоляція обмоток відносно корпусу машин і між обмотками повинна витримувати протягом 1 хвилини практично синусоїдальну випробувальну напругу частотою 50 Гц, розраховану за формулою:

$$2,25U_{ном}+2000В .$$

(Для тягових двигунів і допоміжних машин, що отримують електроенергію безпосередньо від контактної мережі або через трансформатор-перетворювач, номінальною напругою відносно корпусу понад 750 В)

3. Періодичні випробування.

Періодичні випробування проводяться на машинах, що серійно випускаються, не рідше одного разу у два роки за програмою кваліфікаційних випробувань, за винятком окремих пунктів.

4. Типові випробування.

Типові випробування проводяться за програмою кваліфікаційних випробувань після внесення змін до конструкції, або технології, а також при заміні матеріалів при ремонті і виготовленні електричних машин.

З програми випробувань допускається виключати за узгодженням із замовником окремі пункти, якщо характер внесених зауважень не вимагає виконання повної програми.

5. Ресурсні випробування.

Ресурсні випробування проводять на електричних машинах установчої серії з метою визначення безпеки і назначених ресурсів машини. Випробування проводять також при зміні конструкції, технології виготовлення і заміні матеріалів. У програму випробувань входять:

5.1. Перевірка зносу поверхонь, які є складовими частинами електричної машини, що труться і сполучаються з метою визначення їх ресурсу до відновного ремонту.

5.2. Оцінка віброміцності електричних машин.

5.3. Випробування на теплове старіння ізоляції і визначення її ресурсу.

Контрольні запитання:

1. Види випробувань тягових двигунів.
2. Коли проводяться кваліфікаційні, приймально-здавальні, періодичні, типові і ресурсні випробування?
3. Що входить до програми кожного виду випробувань?

Лабораторна робота № 4

ВИВЧЕННЯ БУДОВИ СТЕНДІВ ВИПРОБУВАННЯ ТЯГОВИХ ДВИГУНІВ

Мета роботи:

Вивчення способів зміни навантаження на валу тягових двигунів, будову стенда взаємного навантаження, призначення і розрахунку його окремих елементів.

Програма роботи:

1. Вивчити методи випробування електричних машин.
2. Дослідити роботу стенда взаємного навантаження.
3. Розрахувати параметри лінійного генератора і вольтодобавочної машини необхідні для випробування тягових двигунів заданого типу.
4. Записати параметри машин, що входять в стенд взаємного навантаження, порівняти їх із розрахунковими.
5. Ознайомитися із пультом управління стенда на ВАТ «Київський ЕВРЗ».
6. Вивчити порядок пуску і регулювання стенда взаємного навантаження.

Зміст звіту:

1. Найменування роботи, мета і програма.
2. Принципова схема випробувань за методом безпосереднього та взаємного навантаження.
3. Принципова схема стенда взаємного навантаження.
4. Паспортні дані установлених машин.
5. Дані установлених вимірювальних приладів.
6. Розраховані параметри лінійного генератора і вольтодобавочної машини.

Опис роботи:

Згідно з ГОСТ 2582-81 всі види випробувань тягових двигунів повинні проводитися під навантаженням, яке може бути забезпечене методом безпосереднього або взаємного навантаження.

Метод безпосереднього навантаження

Метод безпосереднього навантаження полягає в тому, що вал двигуна, який необхідно випробувати після ремонту, з'єднують з валом аналогічного нового двигуна який буде працювати в режимі генератора. Відремонтований двигун підключають до мережі або джерела постійного струму, а за допомогою двигуна, який працює в режимі генератора, створюють механічне навантаження. Змінюючи струм генератора за допомогою резистора навантаження, заміряють гальмівний момент на валу відремонтованого двигуна.

Замість генератора на валу випробовуваного двигуна можна встановити електричне або механічне гальмо.

Даний метод застосовується в основному для випробовування електричних машин малої потужності. Його основними перевагами є: простота стенда, наявність одного живлячого генератора, незначний час для підготовки випробувань, висока стійкість роботи схеми.

До недоліків відносяться: великі витрати електричної енергії, необхідність створення громіздкого навантажувального пристрою, розрахованого на повну потужність випробовувальної машини, наявність живлячого генератора великої потужності.

Метод взаємного навантаження

Під час випробування за методом взаємного навантаження на спеціальному стенді встановлюються дві однотипні тягові машини, одна з яких працює в режимі двигуна і приводить в обертання другу, яка працює в режимі генератора і живить своєю енергією першу машину. Від лінійного генератора і вольтодобавочної машини споживається енергія, рівна сумі всіх втрат на двигуні, який випробовується, і генераторі навантаження.

Потужність, споживана мережею, складає при цьому 20-30 % годинної потужності випробовувального тягового двигуна. Принципова схема випробувань двигуна за методом взаємного навантаження лінійним генератором і вольтодобавочної машини представлена на рис. 2.1.

На схемі:

M1 і M2 – випробовувані тягові двигуни ДК-105 Б;

ЛГ – лінійний генератор;

ВДМ – вольтодобавочна машина;

M3 і M4 – генератори в ланцюзі збудження лінійного генератора і вольтодобавочної машини;

ЛГ, ВДМ, M3, M4 приводяться в обертання асинхронними двигунами, що отримують живлення від мережі змінного струму (на схемі не показані).

Обмотки збудження ЛГ і ВДМ отримують живлення від своїх збудників M3 і M4, напруга на затисках яких можна регулювати резисторами R1 і R2.

Напруга лінійного генератора і вольтодобавочної машини вимірюється вольтметрами **PV 1** і **PV2**.

Струми лінійного генератора, вольтодобавочної машини, тягового двигуна і шунтуючого ланцюга вимірюються відповідно амперметрами PA1 ; Pa2; PA3; Pa4.

M1 гп і M2гп – обмотки збудження випробовуваних машин.

Шунтуються обмотки збудження двигуна за допомогою опору Rш, який включається контактором ОВ.

Контакторами 1, 2, 3, 4 змінюють режими роботи випробовуваних машин. Контактори 5, 6, 7, 8 служать для реверсування струму в обмотках збудження двигунів, що дозволяє змінювати напрям обертання випробовуваних машин. Основними перевагами методу взаємного навантаження є: зменшена кількість споживання електроенергії під час випробувань, можливість одночасного випробування двох машин на одному стенді без зміни електричної схеми та механічного з'єднання, простота регулювання режимів роботи машини, відсутність необхідності в пристрої навантаження, мала потужність генераторів живлення.

До недоліків цього методу слід віднести: складність схеми стенда, нестійку роботу при деяких перехідних режимах, значну витрату часу на підготовку випробувань, а також наявність декількох джерел живлення. Для того, щоб одна з машин почала працювати в режимі двигуна, необхідно, щоб ЕРС другої машини (генератора) була, більше, ніж ЕРС двигуна. Таке співвідношення ЕРС між першою і другою машинами може бути отримано різними шляхами.

Найзручніше забезпечити генераторний режим другої машини шляхом підключення послідовно до неї спеціальної вольтодобавочної машини ВДМ, причому ЕРС ВДМ і другої машини повинні мати однаковий напрям.

Параметри ВДМ по струму, напрузі і потужності можуть бути визначені на підставі наступних міркувань. Рівняння електричної рівноваги для ланцюга двигуна M1 і генератора M2 мають вигляд

$$U_{лг} = E_1 + I_g(r_я + 2r_в + r_g), \quad (2.1)$$

$$U_{лг} = E_2 + E_{вдм} - I_r(r_я + r_g + r_{вдм}). \quad (2.2)$$

Прирівнявши праві частини (2.1) і (2.2), отримаємо

$$E_1 + I_g(r_я + 2r_в + r_g) = E_2 + E_{вдм} - I_r(r_я + r_g + r_{вдм}). \quad (2.3)$$

Зважаючи на однотипність випробовуваних машин, що обертаються з однаковою кутовою швидкістю і що мають практично рівні магнітні потоки збудження (струм збудження обох машин рівний ІД), можна прийняти, що $E_1 = e_2$, тоді рівняння (2.3) прийме вигляд

$$E_{вдм} - I_r r_{вдм} = I_g(r_я + 2r_в + r_g) + I_r(r_я + r_g) \quad (2.4)$$

або

$$E_{вдм} = I_g(r_я + 2r_в + r_g) + I_r(r_я + r_g). \quad (2.5)$$

Отже, вольтодобавочна машина повинна бути розрахована на компенсацію падіння напруги в обмотках випробовувальних машин.

Максимальний струм ВДМ повинен вибиратися з умов випробування двигуна згідно з ГОСТ 2582-81 з подвійним годинним струмом. В той же час відповідно до ГОСТ 183-74 максимально допустимий струм для генераторів постійного струму загальнопромислового вживання $I_{\max}=1,5I_{\text{ном}}$. З огляду на те, що тягові двигуни піддаються перевантаженню подвійним струмом лише після виготовлення і ремонту, а вольтодобавочна машина повинна забезпечувати повсякденну роботу стенда, при виборі її параметрів виходять з допустимого перевантаження, рівного 25 %.

Для простоти вважаємо, що $ID=IG$, при цьому рівність (2.5) прийме вигляд

$$U_{\text{ВДМ}} = 2I_{\Gamma}(r_{\text{я}} + r_{\text{в}} + r_{\text{г}}). \quad (2.6)$$

Помноживши праву і ліву частини (2.6) на IG , отримаємо значення потужності ВДМ:

$$P_{\text{ВДМ}} = 2I_{\Gamma}^2(r_{\text{я}} + r_{\text{в}} + r_{\text{г}}), \quad (2.7)$$

яке приблизно визначається потужністю електричних втрат в генераторі і двигуні. Як правило потужність ВДМ складає 10–12% від потужності випробовувальних машин у відповідному режимі роботи.

Магнітні і механічні втрати випробовувальних машин компенсується енергією лінійного генератора

$$P_{\text{лг}} = U_{\text{лг}}I_{\text{лг}} = \sum P_{\text{ст}} + \sum P_{\text{мех.}}$$

Згідно з ГОСТ 2582-81 генератор повинен забезпечити можливість отримання напруги, рівної $1,3U_{\text{ном}}$ випробовувального двигуна, а у випадку, якщо тяговий двигун встановлений на електрорухливому складі з реостатним гальмуванням, ця напруга може бути удвічі або навіть втричі більше.

Потужність лінійного генератора складає 6–10% від годинної потужності двигуна, що випробується. Інколи з метою економії електроенергії, що витрачається на випробування тягових електричних машин, в схемі стенда взаємного навантаження замість лінійного генератора встановлюють керований випрямляч тиристора, що живиться від мережі змінного струму. Замість вольтодобавочної машини встановлюється випрямляч, що живиться від автотрансформатора. Виводи випрямляча підключаються до обмотки збудження генератора так, що струм від випрямної установки складається і обмотки збудження сумуються. Таким чином можна регулювати ЕРС генератора і, отже, струм навантаження і випробовувальної машини.

Згідно з ГОСТ 2582-81 постійний струм і напругу в електричних схемах, а також фактичну напругу і струм вимірюють приладами магнітоелектричної системи класу точності не нижче 0,5 додатковими резисторами і вимірними шунтами класу точності не нижче 0,5.

Пуск електричних машин і управління стендом взаємного навантаження

При установці випробовувальних машин на стенді їх вали з'єднують муфтами, для чого на кінцях валів передбачені канавки шпон. Оскільки вольтодобавочна машина компенсує падіння напруги в обмотках двигуна і генератора, то при зміні напруги ВДМ змінюватиметься струмдвигуна і генератора. Як видно на рис. 2.1, напруга ЛГ практично рівна напрузі на випробовувальному двигуні. Тому, змінюючи напругу лінійного генератора, регулюють напругу і на випробовувальній машині.

Запуск стенда проводиться в такому порядку:

1. Відповідно до того, яка з машин випробовуватиметься в робочому режимі, замикаються контактори перемикача режимів (2, 3 або 1, 4), а також контактори реверсора (5, 6 або 7, 8); на рис. 2.1 двигуном є машина М2. Перемикання вказаних контакторів повинне проводитися при повністю відключеному стенді і зупинених машинах. Після цього камера апаратів управління закривається, запускаються асинхронні двигуни вольтодобавочної машини, лінійного генератора до збудників ВДМ і ЛГ.

2. Включенням відповідних комутуючих приладів на пульті управління стендом подається живлення в схему управління дистанційними апаратами.

3. Включається контактор ВДМ і плавно збуджується вольтодобавочна машина шляхом зменшення опору в меті збудження ВДМ (на схемі резистор R2).

4. Після того, як струм в ланцюзі випробовувальних машин досягне 50–70 А, включається контактор ЛГ і лінійний генератор збуджується від свого збудника (на схемі через резистор R2).

5. Надалі, якщо це необхідно, включається кнопка ОП, що забезпечує шунтовку обмотки збудження тягового двигуна.

При хорошому збігу характеристик і правильній схемі випробовувальні машини починають обертатися лише збудження ЛГ.

Необхідна напруга встановлюється за допомогою збудження лінійного генератора, а необхідне навантаження збудженням вольтодобавочної машини.

Для зупинки стенда необхідно спочатку збільшити опір резистора R1 в ланцюзі збудження ЛГ (досягти збудження ЛГ), потім досягти збудження ВДМ і вимкнути кнопки на пульті управління в порядку, зворотному включенню (ОП, Лг,вдм,+).

У аварійних випадках негайно припинити подачу напруги на стенди.

Контрольні запитання:

1. Які методи випробувань електричних машин існують? Їх переваги і недоліки.
2. Коли застосовується метод безпосереднього навантаження?
3. Призначення стенда взаємного навантаження і принцип його роботи.
4. Функція лінійного генератора в стенді взаємного навантаження. Вибір його параметрів.

5. Функція вольтодобавочної машини в стенді взаємної нагрузки. Вибір її параметрів.
6. Чи працюватиме стенд взаємного навантаження, якщо не включити вольтодобавочну машину?
7. Чи працюватиме стенд взаємного навантаження, якщо не включити лінійний генератор?
8. Яким чином можна регулювати навантаження на випробувальному двигуні?
9. Яким способом змінюється напруга на випробувальному двигуні?
10. Які правила техніки безпеки повинні дотримуватися при випробуванні Тягових двигунів на стенді взаємного навантаження?
11. Який порядок запуску стенда взаємного навантаження?
12. Яка економічна доцільність стенда взаємного навантаження при випробуванні тягових двигунів?

Лабораторна робота № 5

ПОБУДОВА ШВИДКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЯГОВОГО ДВИГУНА

Швидкісною характеристикою називається залежність кутової швидкості (частоти обертання) від струму якоря при незмінній напрузі.

Мета роботи:

Вивчити і проаналізувати швидкісні характеристики тягового двигуна послідовного збудження, способи регулювання частоти обертання, а також виявити відповідність двигуна вимогам ГОСТ 2582-81 в частині різниці величини кутових швидкостей (частоти обертання).

Програма роботи:

1. Провести пуск стенда взаємного навантаження в порядку, вказаному в лабораторній роботі № 2, і прогріти тягові двигуни до робочої температури.
2. Зняти дані для побудови залежності для правого і лівого напрямів обертання за наступних умов (табл. 3.1);
 - а) $U=U_{ном}$. при повному магнітному потоці ($\beta=1$);
 - б) $U=U_{ном}$. при зменшеному магнітному потоці ($\beta=0,5$);
 - в) $U=\frac{1}{2}U_{ном}$. при зменшеному магнітному потоці ($\beta=0,5$).

Таблиця 3.1

№ п/п	U	п	I	IOB	β	п	I	IOB	β	Примітка
	B	об/хв.	A	A	-	об/хв.	A	A		
1 . . . 5										
1 . . . 5										
1 . . . 5										

3. За даними досвіду побудувати характеристики $n(I)$ при повному й ослабленому збудженні для обох напрямів обертання і двох значень напруги.

4. За знятими характеристиками в одному і другому напрямках обертання побудувати середні значення характеристики і визначити відхилення частот обертання відносно середнього значення при номінальному струмі двигуна.

Зміст звіту:

1. Найменування, мета і план роботи.
2. Результати вимірів, отриманих при випробуванні, приведені в табличній формі.

3. Побудовані за отриманими даними залежності $n(I_{\text{НОМ}})$ при наступних значеннях:

- 1) $U=U_{\text{НОМ.}}$, $\beta=1$;
- 2) $U=U_{\text{НОМ.}}$, $\beta=0,5$;
- 3) $U=U_{\text{НОМ.}}$, $\beta=0,5$;

для правого і лівого напрямів обертання.

4. Середні значення частот обертання, побудоване для різноманітних режимів роботи, і про відповідність двигуна ГОСТ 2582-81.

Аналітичне вираження характеристики $n(I)$ має вигляд:

$$n = \frac{U_g - IR}{c_e * \Phi}$$

де U_g – напруга;

IR – повний опір якірному ланцюгу;

Φ – магнітний потік двигуна;

$c_e = \frac{PN}{600}$ – постійна для даної машини величина: при цьому частота обертання вимірюється числом обертів в хвилину.

Як видно з приведеної залежності, частоту обертання тягового двигуна можна регулювати зміною напруги що підводиться, величини опору в ланцюзі якоря і величини магнітного потоку.

Зміну величини магнітного потоку можна здійснити за рахунок шунтування обмотки збудження або зменшення числа її витків.

Гіперболічний характер зміни залежності $n(I)$ для двигуна послідовного збудження пояснюється рівнянням

$$n = \frac{U_g}{c_e * \Phi} - \frac{IR}{c_e * \Phi},$$

якщо вважати, що при ненасиченій магнітній системі $\Phi \sim i$.

При виготовленні тягової електричної машини в результаті неточності установки головних полюсів і щіткотримачів виникає подовжня реакція якоря, яка при одному напрямі обертання діє підмагнічуючи, а при іншому – розмагнічуючи. Можливі також інші виробничі відхилення, що призводять до несиметрії магнітного ланцюга. Всі ці недоліки впливають на швидкісні характеристики двигуна в різних напрямках обертання.

ГОСТ 2582-81 допускає максимальну величину розбіжності швидкісних характеристик $\pm 3\%$ для тягових двигунів траверсної і $\pm 4\%$ – для тягових двигунів без траверси.

Для з'ясування величини розбіжності швидкісних характеристик при правому і лівому напрямках обертання якоря тягового двигуна будують середнє значення швидкісної характеристики і відносно її перевіряють величину розбіжності характеристик.

Характеристики двигуна згідно з ГОСТ 2582-81 необхідно знімати нагрітою до робочої електричної машини.

Контрольні запитання:

1. Якими способами можна регулювати кутову швидкість (частоту обертання) тягового двигуна?
2. Як впливає на характеристику $n(I)$ зниження напруги, що підводиться до двигуна?
3. Якими способами можна змінити магнітний потік двигуна і як це відіб'ється на його швидкісній характеристиці?
4. Чому відбувається розбіжність швидкісних характеристик при зміні напрямку обертання двигуна?

5. Чому ГОСТ 2582-81 обмежує розбіжності швидкісних характеристик? Як впливає розбіжність на роботі ЕРС?
6. Як правильно формувати колесо-моторний блок при розходженні швидкісних характеристик і діаметрів коліс?
7. Як впливає насичення магнітної системи двигуна на його регульовальні властивості?
8. Чим обмежені межі регулювання частоти обертання і глибини ослаблення магнітного поля збудження?
9. Що таке коефіцієнт використання потужності?
10. Швидкість руху. Її зв'язок з частотою обертання, залежність сили тяги від потужності.

Лабораторна робота № 6 ВИЗНАЧЕННЯ ККД ТЯГОВОГО ДВИГУНА

Мета роботи:

Вивчити особливості зняття характеристики ККД (Ія) на стенді дослідження двигунів змішаного збудження і визначити залежність моменту, що обертає, від струму якоря. Дати аналіз характеристик.

Програма роботи:

1. Провести пуск стенда, нагріти двигун до робочої температури і зупинити його.
2. Заміряти опір обмоток двигуна, використовуючи для цього потенціометр постійного струму.
3. Запустити стенд, встановити номінальну напругу 45 В і заміряти при різному навантаженні двигуна I_r .
4. Те ж саме зробити при $U = 20В$.
5. Отримані результати при повному й ослабленому збудженнях звести до табл. 4.1.

Таблиця 4.1

№ п/п	Дослідні дані						Розрахункові дані			
	U_a	I_a	I_d	I_r	U ВДМ	n	$U_d I_d$	P_d	η	M
	В	А	А	А	В	об/хв	Вт	Вт	%	Н.м
1 . 6										
1 . . . 6	i			i						

6. Провести розрахунки і побудувати характеристики.

(I), M(I), при U=const.

Зміст звіту:

1. Назва, мета і план роботи.
2. Дані вимірів і розрахунків.
3. Побудова характеристик (I), M(I), при U=const.
4. Аналіз характеристик.

Опис роботи

Визначення втрат і ККД тягового двигуна проводиться при класифікаційних, періодичних, типових випробуваннях (ГОСТ 2582-81). Для визначення ККД машини постійного струму за методом сумарних втрат необхідно знайти:

1. Втрати в міді обмотки якоря, головних, додаткових полюсів і в компенсаційній обмотці.
2. Механічні втрати (на тертя: якорі машини об повітря, в підшипниках, щіток об колектор; на обертання вбудованого в машину вентилятора).
3. Перехідні втрати в місці контакту щітка-колектор.
4. Магнітні втрати при холостому ході.
5. Додаткові втрати при навантаженні.

Порядок розрахунку перерахованих втрат такий:

1. Електричні втрати в міді обмоток визначають по струму і виміряному опору, віднесеному до температури 115°C, за формулою

$$r_{115} = r_{хол}(1 + \alpha(115 - t_{хол})),$$

де $r_{хол}$ – опір обмоток при температурі доквілля перед випробуванням;

$t_{хол}$ – температура, при якій проводилось випробування;

$\frac{1}{235+t_{хол}}$ – температурний коефіцієнт для міді.

2. Механічні і магнітні втрати повинні визначатися при холостому ході машини при послідовному і незалежному збудженні.

3. Перехідні втрати в місці контакту щіток визначають з розрахунку падіння напруги 3В (при вживанні щіток без шунтів) або 2В (при використанні щіток з шунтами).

4. Додаткові втрати при навантаженні постійним струмом приймають для тягових двигунів за даними табл. 4.2.

Таблиця 4.2.

Струм у відсотках до номінального	Додаткові втрати у відсотках до магнітних втрат при холостому ході
20	22
60	23
80	26
100	30
130	38
160	48
200	65

Відомо, що сумарні втрати в тягових двигунах, випробовуваних на стенді взаємного навантаження, дорівнюють потужностям, що регулюються на затисках вольтодобавочної машини і лінійного генератора. Тому сумарні втрати в двигуні і генераторі рівні:

$$P_d + P_\Gamma = P_{\text{мех.д}} + P_{\text{ст.д}} + P_{\text{доб.д}} + I_d^2(r_\text{я} + r_\text{д}) + 3I_d + I_d^2 r_\text{д} + P_{\text{ст.г}} + P_{\text{мех.г}} + P_{\text{доб.г}} + I_\Gamma^2(r_\text{я} + r_\text{д}) + 3I_\Gamma + I_\Gamma^2 r_{\text{в.г}} \quad (4.2)$$

або

$$P_d - P_\Gamma = \sum P_d - \sum P_\Gamma, \quad (4.3)$$

де, відповідно механічні, магнітні і додаткові втрати в двигуні і генераторі;

$I_d - I_\Gamma$ – відповідно струми двигуна і генератора;

$r_\text{я}$, $r_\text{в}$, $r_\text{д}$ – відповідно опори обмоток: якорі, збудження додаткових полюсів; падіння напруги в перехідному контакті між щіткою і колектором приймається рівним 3 В.

Через те, що для випробування використовуються однотипні машини, які обертаються з однаковою кутовою швидкістю та мають загальний струм збудження, рівний I_d з допустимою погрішністю, можемо вважати, що

$$P_{\text{мех.д}} = P_{\text{мех.г}}; P_{\text{ст.д}} = P_{\text{ст.г}}; P_{\text{доб.д}} = P_{\text{доб.г}}.$$

Перетворивши рівняння (4.2) і (4.3), отримаємо:

$$P_d + P_\Gamma = I_{\text{лг}} U_{\text{лг}} + I_\Gamma U_{\text{вдм}}, \quad (4.4)$$

$$P_d - P_\Gamma = (I_d^2 - I_\Gamma^2)(r_\text{я} + r_\text{д}),$$

де $U_{\text{лг}}$ і $U_{\text{вдм}}$ – відповідно напруга лінійного генератора і вольтодобавочної машини;

$I_{\text{лг}}$ – струм лінійного генератора.

Вирішуючи спільно рівняння (4.4) і (4.5), отримаємо спільні втрати на двигуні:

$$P_d = \frac{U_{лг} I_{лг} + U_{вдм} I_r + (I_d^2 - I_r^2)(r_{я} + r_d)}{2}.$$

Коефіцієнт корисної дії тягового двигуна

$$\eta = \frac{U I_d - P_d}{U I_d}.$$

Характеристика моменту на валу двигуна визначається аналітично:

$$M_{вал} = 0.974 \frac{P_{вал}}{n}$$

або

$$M_{вал} = 9.55 \frac{P_{вал}}{n},$$

де n – частота обертання якоря, об/хв;

$P_{вал} = U I_d \eta$ – потужність на валу, Вт.

Контрольні запитання:

1. При яких випробуваннях визначаються втрати і ККД?
2. Що входить в сумарні втрати машини?
3. Як визначити втрати в міді обмотки тягового двигуна при випробуванні на стенді взаємного навантаження?
4. Як визначити механічні втрати при випробуванні на стенді взаємного навантаження?
5. Які чинники впливають на механічні втрати?
6. Що таке додаткові втрати і як їх визначають?
7. При якому режимі роботи електричної машини ККД максимальний і чому?
8. Що таке ККД електричної машини? Який вигляд залежності $\eta(I)$.
9. Який вигляд повинні мати характеристики $\eta(I)$ для різних видів ЕПС (магістральні або промислові електровози, електропоїзди і метрополітен)?
10. Чи залежить момент тягового двигуна постійного струму від прикладеного напруження?
11. Як практично виміряти опір обмотки якоря?

Лабораторна робота № 7 ЗНЯТТЯ ХАРАКТЕРИСТИК НАВАНТАЖЕНЬ ТЯГОВИХ ДВИГУНІВ

Мета роботи:

Зняти характеристики навантажень і оцінити вплив струму якоря на величину магнітного потоку машини при постійному струмі збудження (оцінити розмагнічуючу дію реакції якоря).

Програма роботи:

1. Перемкнути стенд взаємного навантаження на незалежне збудження, для чого відключити обмотки збудження від двигуна і живити їх від допоміжного генератора (рис. 5.1).

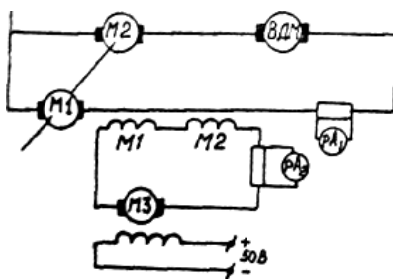


Рис. 5.1.

2. Включити допоміжний генератор і встановити мінімальний струм збудження (15–20 А).

3. Запустити стенд взаємного навантаження.

4. Підтримуючи струм якоря постійним, провести виміри частоти обертання і напруги $U_{дг}$ при рівномірному збільшенні струму збудження рівномірному зменшенні від $I_{в.мах}$ до $I_{в.мін}$. Вимірювання провести при двох значеннях струму якоря $0,5I_{ч}$ і $I_{ч}$.

5. Результати вимірювання і розрахунки звести в табл. 5.1.

Таблиця 5.1

№ заміру	Дослідні дані				Розрахункові дані	
	Гілка			n	E	—
		В	А	А		
1	вихідна					
2						
.						
.						
.						
6						

1	низ-						
2	хідна						
.							
.							
6							

6. Побудувати характеристики $\frac{E}{n} = c\Phi$ залежно від струму збудження.

Зміст звіту:

1. Назва, мета і план роботи.
2. Схема випробувань.
3. Дані вимірів і розрахунків.
4. Принцип побудови характеристик навантажень $c\Phi(I_B)$ для двох значень струму якоря: $I_{я} = 0.5I_{ч}$, $I_{я} = I_{ч}$.
5. Аналіз характеристик.

Опис роботи:

Характеристики навантажень згідно ГОСТ 2582-81 знімаються при кваліфікаційних, періодичних і типових випробуваннях для тягових двигунів, призначених для роботи в режимах гальмування, для розрахунку рекуперативних характеристик електровозів необхідно знати залежність магнітного потоку від струму збудження при різних значеннях струму якоря.

Характеристикою навантаження називається залежність напруги якоря генератора від струму збудження при постійній частоті обертання (або приблизно залежність величини $\frac{E}{n} = c\Phi$ від струму збудження).

Необхідною умовою для зняття характеристик є незмінна величина струму якоря. (Знімають декілька характеристик для різних величинах струму навантаження).

Характеристики навантажень показують, як змінюється характеристика холостого ходу машини при переході до навантаження із-за спотворення основного потоку реакцією якоря і падіння напруги в його ланцюзі.

Для того, щоб зняти залежність $c\Phi(I_B)$ на стенді взаємного навантаження, потрібно перекласти двигун на незалежне збудження від спеціального збудника, в даному випадку від зварювального агрегату. Спрощена схема приведена на рис. 5.1, де В – допоміжний генератор для незалежного живлення обмоток випробовуваного двигуна і генератора; М1гп і М2гп – відповідно обмотки збудження двигуна і генератора.

Для зміни струму збудження випробовуваної машини регулюють струм збудження допоміжного генератора.

Для побудови характеристик навантажень $\frac{E}{n}(I_B)$ одночасно вимірюють напругу на затискачах машини, частоту обертання і величину струму збудження (I_B).

ЕДС для рухового режиму роботи визначається за формулою:

$$E = U_{лг} - I(r_{я} + r_{я'}) - 3,$$

де $r_{я}$ і $r_{я'}$ – відповідно опори обмоток якоря і додаткових полюсів; падіння напруги в щітковому контакті приймається рівним 3 Ст.

Контрольні запитання:

1. Для чого будуються характеристики навантажень?
2. Які умови необхідно виконати, щоб зняти характеристики навантажень?
3. Як при зміні струму якоря можна отримати сімейство характеристик навантажень?
4. Чому при побудові характеристики навантаження будується вихідна і низхідна гілки?
5. Для чого знімається характеристика холостого ходу?

Лабораторна робота № 8

ДОСЛІДЖЕННЯ КОМУТАЦІЇ ТЯГОВОГО ДВИГУНА

Мета роботи:

Ознайомитися з методами досліджень комутації. Оцінити комутацію тягового двигуна згідно вимогам приймально-здавальних випробувань. Визначити зону комутації вимогам кваліфікаційних випробувань.

Програма роботи:

1. Запустити стенд і прогріти тягові двигуни.
2. Провести перевірку комутації за програмою приймально-здавальних випробувань і зробити придатність тягового двигуна до роботи.
3. Зібрати схему живлення додаткових полюсів. Визначити положення перемикача, відповідне режиму збільшення живлення і зменшення живлення.
4. Запустити стенд із зібраною схемою і потренуватися в установленні різних ступенів іскріння за шкалою ГОСТ 183-74.
5. Зняти криві струмів $\pm I_n$ живлення при максимальних і мінімальних струмах при номінальній напрузі і різних ступенях ослаблення збудження. Ступень іскріння обмежувати одним проміжком. Дані вимірів занести в табл. 6.1.
6. Побудувати залежність $I_p(I)$ і середню лінію зони якнайкращої комутації. Зробити висновки про правильність налаштування додаткових полюсів.

Таблиця 6.1

Режим живлення	№ замірів	I		I _n	
		ділень	A	ділень	A
максимальний					
мінімальний					

Зміст звіту:

1. Назва, мета і план роботи.
2. Схема випробування двигунів.
3. Дані вимірів і розрахунків.
4. Криві підживлення і отпитки додаткових полюсів $\pm I_p(I)$.
5. Висновки про придатність двигунів до роботи і правильності налаштування додаткових полюсів.

Опис роботи:

Згідно з ГОСТ 2582-81 при прийнятно-здавальних випробуваннях, тягових двигунів проводиться перевірка комутації, причому для тягових електродвигунів потужністю до 850 кВт її виконують в двох режимах: а) при номінальній напрузі на колекторі з подвійним годинним струмом; б) при максимальній напрузі, частоті обертання і глибині ослаблення збудження.

Випробування при названих режимах повинні проводитися протягом 30 хвилин для кожного напрямку обертання нагрітої до робочого машини. До початку випробувань щітки мають бути притерті. При зміні напрямку обертання машина повинна проробити 5–15 хв. з метою забезпечення кращого контакту між щіткою і колектором.

Комутація вважається задовільною, якщо під час випробувань не виникло кругового вогню, механічних пошкоджень колектора і щіткотримачів, залишкових деформацій і якщо машина придатна для подальшої роботи без очищення і яких-небудь виправлень.

Оцінка комутації по іскрінню на колекторі проводиться візуально згідно з ГОСТ 183-74 за п'ятибальною шкалою.

Шкала іскріння приводиться в табл. 6.2.

При тривалій роботі в номінальному режимі іскріння не повинно перевищувати балу. В разі прийнятно-здавальних випробувань для перевірки комутації при подвійному годинному струмі необхідно включити стенд, встановити напругу на двигуні, рівну номінальному значенню $U=825\text{В}$, і, поступово підвищуючи струм до подвійного від його номінального значення ($I_{\text{max}}=2*210=420$), візуально визначити ступінь іскріння на колекторі.

Ступінь іскріння	Характеристика іскріння	Характеристика колектора і щіток
1	Відсутність іскріння (темна комутація)	Відсутність почорніння на колекторі і нагари на щітках
$1\frac{1}{4}$	Слабке точкове іскріння під невеликою частиною краю щітки	
$1\frac{1}{2}$	Слабке іскріння під більшою частиною щітки	Поява слідів почорніння на колекторі, легко усунених

2	Значне іскріння під всім краєм щітки. Допускається лише при короточасних поштовхах навантаження	Поява слідів почорніння на колекторі, що не усуваються протиранням поверхні колектора бензином
3	Значне іскріння під всім краєм щітки з наявністю іскр, що вилітають. Допускається лише для моментів прямого включення і реверсування, якщо колектор і щітки залишаються придатними для подальшої роботи	Почорніння колектора, підгар, руйнування щіток

Випробування машин постійного струму проводяться на постійному струмі, а машин пульсуючого струму – на пульсуючому.

При класифікаційних випробуваннях визначається також зона комутації. Випробування повинні проводитися лише на постійному струмі. Зона комутації визначається методом підживлення і відживлення додаткових полюсів (рис. 6.1). Як видно із рисунка, від обмоток додаткових полюсів досліджуваного двигуна зроблені виводи, до яких через реверсивний перемикач П приєднаний допоміжний генератор ВГ. ЕРС на зажимах генератора плавно регулюється зміною його струму збудження.

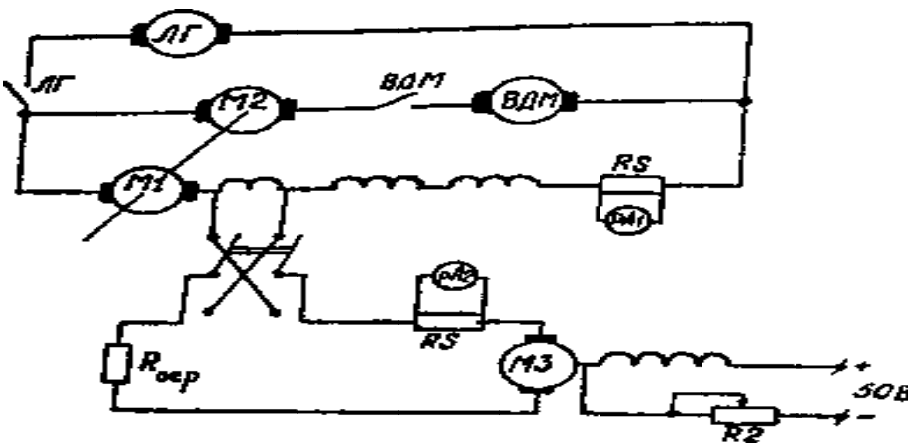


Рис. 6.1.

Для забезпечення плавності зміни струму I_p в ланцюг обмотки додаткових полюсів включений резистор опором. Міняючи положення перемикача П (вниз або вверху), можна змінити напрям струму I_p в ланцюзі додаткових полюсів і тим самим отримати їх підживлення або відживлення.

Визначити положення перемикача П, відповідне режиму підживлення або відживлення, можна з рівняння електричної рівноваги для допоміжного генератора.

У випадку, перемикач повернений на схемі вниз

$$E_{BG} = (I_n r_{BG} + R_{огр}) + I_r d + I_{n1} r_d. \quad (6.1)$$

Після перетворення отримаємо

$$I_{n1} = \frac{E_{BG} - I_r d}{r_{BG} + r_d + R_{огр}}. \quad (6.2)$$

Як видно з рівняння, струм двигуна I і струм допоміжного генератора I_n збігаються для даного випадку по напрямку, тобто має місце режим підживлення додаткових полюсів. Якщо перемикач обернути на схемі вгору, то отримаємо режим відживлення. В цьому випадку струм допоміжного генератора I_{n2} направлений зустрічно струму двигуна I , що проходить через обмотки додаткових полюсів, і буде послабляти його. Тоді рівняння прийме вигляд:

$$E_{BG} = I_{n2}(r_{BG} + R_{огр}) - I_r d + I_{n2} r_g \quad (6.3)$$

АБО

$$I_{n2} = \frac{E_{BG} - I_r d}{r_{BG} + r_d + R_{огр}}. \quad (6.4)$$

Порівнюючи набутих значень струмів по рівняннях (6.2) і (6.4), можна стверджувати, що при рівності ЕРС і струмів двигуна I в е л и ч и н а струму I_{n2} буде більше I_{n1} .

Для практичного визначення режиму роботи необхідно включити стэнд взаємного навантаження і встановити струм двигуна близьким до номінального. Одночасно, запустивши допоміжний генератор і підключивши його перемикачем П при струмі приблизно рівному 10-20 А, до обмотки додаткових полюсів випробовуваного двигуна, записати свідчення струму допоміжного генератора. Потім, перемкнувши в протилежне положення перемикача П, знов записати величину струму. Положення перемикача П, при якому по абсолютній величині буде більше, відповідає режиму отптки додаткових полюсів, а при меншому значенні I_n – режиму підживлення.

Дослідження комутації проводиться таким чином. Починають з холостого ходу ($I = 0$), поступово збільшуючи струм в обмотках додаткових полюсів струмпідживлення I_{n1} до появи заданого іскріння). Зафіксувавши значення I_{n1} іскріння заданого, що викликало струм, знижують, доводять до нуля, а потім після зміни знаку знову збільшують до тих пір, поки під якою-небудь щіткою не виникне іскріння того ж ступеня. Набувши значення струму живлення I_{n2} , не порушуючи стан ланцюга додаткових полюсів, збільшують

струм ланцюга якоря до 25% від номінального. Виникле при цьому більше іскріння зменшують до заданого зниження струму I_{n2} , фіксуючи його нове значення. Потім реверсують струм в ланцюзі додаткових полюсів, помічаючи нове значення струму підживлення, при якому виникає іскріння заданого.

Подальше дослідження проводиться аналогічно при струмах якоря, рівних 50%, 75% і 100% від номінального.

За отриманими даними будуються характеристики залежност:

$$I_{n1}(I) \text{ і } I_{n2}(I), \text{ т. е. } \pm I_n(I).$$

Побудовані характеристики дають певної інтенсивності комутаційного іскріння. Середня лінія характеризує найкращі умови комутації двигуна і якість компенсації реактивної ЕРС. У результаті аналізу положення середньої лінії відносно осі абсцис можна зробити рекомендації з поліпшення роботи тягового двигуна.

Так, якщо середня лінія трохи відхиляється від осі абсцис, близькій до годинногозначення струму двигуна, можна вважати, що реактивна ЕРС такої машини компенсується добре.

Середня лінія, розташована вище за вісь абсцис, характеризує недостатню компенсацію реактивної ЕРС, тобто магнітний потік, що створюється додатковими полюсами, не компенсує поля, зчепленого комутуваною секцією. При цьому відбувається сповільнення комутації. Засобом поліпшення умов роботи машини є збільшення магнітного потоку додаткових полюсів.

У разі розташування середньої лінії нижче за вісь абсцис мають місце перекомутації електричної машини. Поліпшити умови її роботи можна, зменшивши магнітний потік додаткових полюсів.

Змінити величину магнітного потоку додаткових полюсів можна різними способами, наприклад, зміною числа витків або величини першого або другого повітряних проміжків .

Кількісна зміна числа витків або повітряних проміжків додаткового полюса для прямолінійної комутації тягового двигуна можна знайти, скориставшись характеристиками живлення [5].

Досягнути такого положення, щоб середня лінія повністю лежала на осі абсцис, практично не вдається. Як правило, вона розміщується під деяким кутом до осі абсцис, пересікаючи її.

Відхилення середньої лінії зони збільшується або зменшується у міру від точки. Величина відхилення показує характер насичення додаткового полюса. Чим крутіше вона піднімається над віссю абсцис, тим сильніше насичені додаткові полюси.

Лабораторна робота № 9

ДОСЛІДЖЕННЯ НАГРІВАННЯ ОБМОТОК ТЯГОВОГО ДВИГУНА

Мета роботи:

Вивчення способів виміру температури обмоток тягового двигуна і дослідження характеру протікання процесу їх нагрівання.

Програма роботи:

1. Заміряти температуру охолоджуючого повітря.
2. Зібрати схему і потенціометром виміряти опір обмоток машини в холодному стані.
3. Провести пуск стенда і встановити годинний режим роботи тягового двигуна з ослабленням поля збудження 50%.
4. Зробити 4–6 вимірів опорів обмоток двигуна через кожні 10–15 хвилин роботи.
5. Дані розрахунків занести в табл. 7.1.
6. Для кожного виміру обчислити опір обмоток і температуру їх перегріву. Побудувати графіки $T(t)$ для всіх обмоток.

Зміст звіту:

1. Назва, мета і план роботи.
2. Накреслити схему виміру опорів обмоток тягового двигуна.
3. Дані вимірів і розрахунків занести в таблицю.
4. Накреслити на форматі А4 графіки перегріву обмоток якоря, додаткових і головних полюсів двигуна.
5. Порівняння отриманих перегрівів з тими, що допускаються для даного типу машини згідно ГОСТ 2582-81 і зробити висновки.

Опис проведення роботи:

Перевірка тягових двигунів на нагрівання згідно з ГОСТ 2582-81 проводиться при кваліфікаційних приймально-здавальних, типових і періодичних випробуваннях.

Основною метою випробування тягових машин на нагрівання є визначення перегріву обмоток, колектора, підшипникових вузлів над температурою довілля при номінальному режимі роботи.

Методи визначення температури обмоток ГОСТ І828-75 встановлює такі: а) термометра; б) опори; у) закладених або вбудовуваних температурних індикаторів.

Перевищення температури обмоток при роботі машини не повинне перевищувати величини, визначеної класом нагрівостійкості ізоляції.

Точність отриманих результатів при використанні вищевказаних методів виміру температури різна. Найпростішим є метод вимірювання температури

Таблиця 7.1

№ п/п	Час вимір У, хв.	Дані вимірів					Дані розрахунків					
		$\Delta U_{я}$ тВ	$\Delta I_{я}$ тА	ΔU_{g} тВ	ΔI_{g} тА	$\Delta U_{в}$ тВ	$\Delta I_{в}$ тА	$R_{я}$ Ом	R_{g} Ом	$R_{в}$ Ом	$t_{я}$ °С	t_{g} °С
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												

вузлів двигуна за допомогою термометра. Порівняно з іншими методами він дає занижене значення температури обмоток. Найбільш точним методом виміру дійсних значень температури в певних являється метод термопар, що полягає в тому, що в досліджувані місця двигуна встановлюються термопари, до яких підключається прилад. Із зміною температури двигуна змінюється величина

ТЕРМО-ЕРС, по якій можна судити про температуру вузла двигуна, на якому проводяться вимірювання. Даний метод, хоча і точніший, але застосовується рідко через складність його виконання.

У деповських умовах найбільше широке вживання знайшов метод виміру опору. Відомо, що із зміною температури провідника змінюється величина його опору, що може бути визначена за формулою:

$$r_v = r_{15}(1 + \alpha(V - 15)), \quad (7.1)$$

де r_v – опір при температурі $V, ^\circ\text{C}$,

r_{15} – опір при температурі 15°C ,

α – температурний коефіцієнт матеріалу провідника, рівний збільшенню його опору при підвищенні температури на 1°C ;

для міді $\alpha = 0.004 = 1/250$,

для алюмінія $\alpha = 0.00385 = 1/260$.

Отже,

$$r_{\text{хол}} = r_{15}(1 + \alpha(V_{\text{хол}} - 15)), \quad (7.2)$$

$$r_{\text{гор}} = r_{15}(1 + \alpha(V_{\text{гор}} - 15)). \quad (7.3)$$

Розділивши (7.3) на (7.2) і перетворивши, отримаємо

$$V_{\text{гор}} = \frac{r_{\text{гор}}}{r_{\text{хол}}}(235 + V_{\text{хол}}) - 235.$$

Вирішення рівняння (7.4) може бути недостатньо точним, зважаючи на близькість значень $r_{\text{гор}}$ і $r_{\text{хол}} = r_{15}$. Точність можна визначити, якщо до чисельника правої частини (7.4) додати і відняти від нього $r_{\text{хол}}$

$$\begin{aligned} V_{\text{гор}} &= \frac{r_{\text{гор}} + r_{\text{хол}} - r_{\text{гор}}}{r_{\text{хол}}}(235 + V_{\text{хол}}) - 235 \\ &= \frac{r_{\text{гор}} - r_{\text{хол}}}{r_{\text{хол}}}(235 + V_{\text{хол}}) + V_{\text{хол}}. \end{aligned} \quad (7.4)$$

Таким чином, перегрів над температурою що охолоджує середовище V_0 буде

$$\tau = V_{\text{гор}} - V_{\text{хол}} = \frac{r_{\text{гор}} - r_{\text{хол}}}{r_{\text{хол}}}(235 + V_{\text{хол}}) + V_{\text{хол}} - V_0. \quad (7.5)$$

Для машин загальнопромислового використання за опір обмотки в холодному стані приймається його значення, приведенного до 15°C ; тоді

$$V_{\text{гор}} = 250 \frac{r_{\text{гор}} - r_{15}}{r_{15}} + 15. \quad (7.6)$$

$$\tau = 250 \frac{r_{\text{гор}} - r_{15}}{r_{15}} + 15 - V_0. \quad (7.7)$$

При користуванні цими формулами для алюмінієвих обмоток слід підставляти 245 замість 235 і 260 замість 250.

ГОСТ 2582-81 виміряти значення опору обмоток ненагрітої електричної машини приводити до 20°C, для чого можна скористатися наступною формулою:

$$r_{20} = r_{\text{хол}} \left(1 + \frac{20 - V_{\text{хол}}}{235 + V_{\text{хол}}} \right). \quad (7.8)$$

З формули (7.8) виходить, що при приведенні до необхідно зменшити перше значення на 2 %.

Для проведення випробувань спеціально готують тягові двигун або електровоз, що встановлюється в приміщенні практично постійною температурою довкілля на термін не менше 8 діб. У цьому випадку вважають, що обмотки двигунів і колектор мають температуру, що не відрізняється від довкілля більш ніж на 3°C. Дослідження починають з виміру температури навколишнього повітря за допомогою трьох термометрів, що встановлюються на рівні вала випробовуваного двигуна і розташованих від нього на відстані, приблизно рівному 1–1,5 м. При цьому термометри необхідно поставити так, щоб на них не потрапляло повітря, що виходить з двигуна. За розрахункову береться середньо арифметична величина свідчень термометрів.

Величину опору обмоток двигуна в холодному достатку визначають за методом вольтметра і амперметра. З метою зменшення погрішності величину падіння напруги на обмотках визначають за допомогою потенціометра ПП-1. Отриману після виміру середньоарифметичну величину початкового опору доводять до температури 20°C за формулою (7.8).

Схема приладів при вимірі опорів приводиться на рис. 7.1.

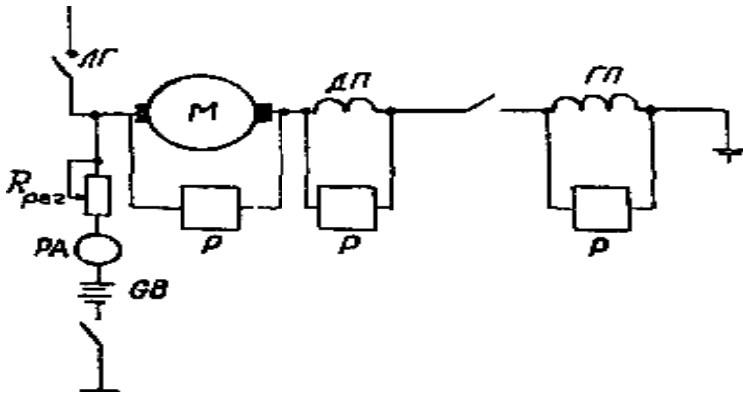


Рис. 7.1

Як видно на схемі, до випробовуваного тягового двигуна через регульований резистор . підключається джерело живлення. Для виміру величини струму, що проходить по обмотці двигуна, в ланцюг включається міліамперметр.

Від обмоток головних додаткових полюсів і колекторних пластин на пульту керування виведені мірні дроти, до яких під'єднує потенціометр ПП-1. Опір мірних дротів і сполучних контактів перед виміром компенсується потенціометром. Збільшення точності виміру опору обмотки якоря досягається установкою спеціальних потенціометричних щіточок.

Під час виміру по ланцюгу тягового двигуна пропускається струм від батареї, а на обмотках заміряється падіння напруги. За законом Ома визначають величину опору. Після закінчення виміру опорів обмоток двигуна розбирають вимірвальну схему, закривають камеру апаратів управління і включають випробовувані двигуни в роботу при годинному режимі. Подібні виміри проводяться протягом години через кожних 10-15 хвилин з дотриманням запобіжних засобів.

Виміри можна проводити лише при повністю зупинених машинах, що входять в схему стенда взаємного навантаження. Порушення цієї умови може привести до травм і псування устаткування.

З огляду на те, що випробовувані машини неможливо зупинити миттєво, а лише після деякого часу, необхідного на зупинку, двигуни охолоджуються; для побудови кривих нагрівання тягового двигуна вводиться розрахункова величина «температура перегріву у момент виключення», яка визначається в результаті екстраполяції кривої охолодження тягового двигуна, що відбувається з моменту відключення машини до закінчення вимірів.

Згідно з ГОСТ 2582-81 перший вимір опору обмоток необхідно почати не пізніше 45 сек. після відключення машини і продовжувати протягом 5 хв. Причому протягом перших 3 хв. проміжок часу між послідовними вимірами не повинен перевищувати 20, а потім 30 сек.

За початок відключення двигуна слід приймати момент, коли розривається ланцюг якоря і обмотки збудження. Для визначення температури перегріву двигуна у момент відключення $\tau_{нач}$ необхідно згідно з ГОСТ 11828-75 за даними проведених вимірів побудувати криву $\lg\tau(t)$ і шляхом екстраполяції знайти $\lg \tau_{нач}$ у точці пересічення кривої з віссю ординат (рис. 7.2).

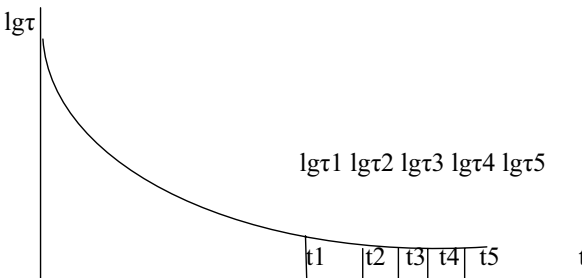


Рис. 7.2

Тут t_1 – час, що пройшов з моменту відключення до моменту вимірювання опору обмотки;

$\lg t_1$ – десятковий логарифм температури перегріву, розрахованої по формулі (7.7).

За набутими значеннями температури перегріву обмоток у момент виключення будуються криві нагрівання тягового двигуна.

Лабораторна робота № 10

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОТЕНЦІЙНИХ УМОВ НА КОЛЕКТОРІ ТЯГОВОГО ДВИГУНА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Мета роботи:

Дослідити розподіли напруги між колекторними пластинами і з'ясувати причини, що викликають погіршення потенційного перебування на колекторі.

Програма роботи:

1. Вивчити принципову схему випробувального стенда.
2. Зняти осцилограми розподілу індукції у повітряному проміжку:
 - а) якоря і головних полюсів;
 - б) якоря і додаткових полюсів;
 - в) якоря і компенсаційної обмотки.

Зміст звіту:

1. Назва, мета і план роботи.
2. Принципова схема випробувального стенда.
3. Паспортні дані випробовуваних машин, представлені формою табл. 8.1.

Таблиця 8.1

№ п/п	Електрична машина та її призначення	Тип	Р	U	I	n
			кВт	В	А	об/хв.
1						
2						
3						
4						

4. Результати обробки отриманих осцилограм є визначенням значення $V_{\sigma_{\max}}$ при обмотках, вказаних у п. 2 програми роботи.

5. Висновки.

Опис роботи:

Для забезпечення стійкості тягових двигунів проти дугоутворення на колекторі необхідно підтримувати напругу між сусідніми колекторними пластинами в певних межах. Відомо, що величина цієї напруги прямо пропорційна індукції у повітряному проміжку машини.

Розподіл індукції, у свою чергу визначається спотворюючою дією реакції якоря, яка зростає з навантаженням і глибиною збудження.

При цьому під час обертання машини під збігаючим краєм полюса виникає максимальне значення індукції B , що може призвести до того, що в секції, що пересікає магнітні силові лінії на краю полюса, буде наведена ЕРС, що перевищує по величині максимально допустиме значення, рівне 36–38 Ст

У сукупності з іншими несприятливими умовами роботи машини (іскріння, задири на колекторі, сколи щіток й ін.) це може призвести до виникнення колового вогню і виходу машини із ладу.

Для зменшення спотворюючої дії поперечної реакції якоря в тягових двигунах встановлюють компенсаційні обмотки (КО). В ідеальному випадку результуюче поле в повітряному проміжку за наявності КО відповідатиме розподілу індукції під головним полюсом при холостому ході.

Для дослідження розподілу індукції в повітряному проміжку є спеціальний стенд, що складається з двох однотипних компенсуючих машин V/ВМ-38, вали яких між собою з'єднані. В одного з двигунів (випробовуваного) для зручності проведення досліджень встановлений розподільчий щит, на який виведені кінці його обмоток. Схема його показано на рис. 8.1. Як видно рисунка, до рубильника № 1 підведені кінці обмоток якоря двигуна, до рубильника № 2 – кінці компенсаційної обмотки, до рубильника № 3 – кінці обмотки додаткових полюсів, до реверсуючого рубильника № 4–5 – кінці обмотки збудження.

Порядок підключення обмоток випробовуваного двигуна при осцилографуванні приведений у табл. 82.

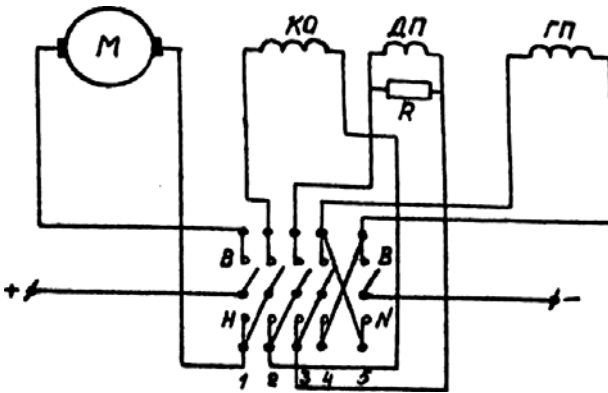


Рис. 8.1

Таблиця 8.2

№ п/п	Режими роботи	Рубильники				
		1	2	3	4	5
1	Я+ КО+ ДП + ГП	В	В	В	В	В
2	Я	В	Н	Н	В	Н
3	КО	Н	В	Н	В	Н

Продовження таблиці 8.2.

4	ГП	Н	Н	Н	В	В
5	Я + ГП	В	Н	Н	В	В

Для картини розподілу індукції в повітряному проміжку на якорі випробовуваного двигуна укладена спеціальна обмотка, кінці якої через знімальні кільця приєднані до осцилографа. За допомогою допоміжної машини випробовуваний двигун приводиться в обертання. На обмотку головного полюса подається напруга від стороннього джерела постійного струму. Останні обмотки машини відключені. В переміщенні витків котушки якоря під головним полюсом (ГП) в них наводиться ЕРС. Картина виміру ЕРС по полюсному діленню на осцилографі в певному масштабі, показує розподіл індукції в повітряному проміжку. Якщо знеструмити обмотку ГП, а до джерела живлення під'єднати компенсаційну обмотку, то при обертанні якоря в них індукватиметься ЕРС, характер зміни якої по полюсному діленню відповідатиме характеру розподілу індукції.

У разі подачі живлення лише на якірну обмотку при якорі, що обертається з мірних витків знімається ЕРС, відповідна розподілу індукції якоря.

Таким чином, осцилографування зміни індукції по довжині полюсної дуги дає уявлення про розподіл потенціалу по колектору залежно від роботи тієї або іншої обмотки двигуна.

При підключенні до мережі всіх обмоток двигуна на екрані осцилографа буде зафіксована картина розподілу результуючого поля.

Контрольні запитання:

1. Існуючі способи індукції в повітряному проміжку.
2. Як розподіляється індукція в повітряному проміжку при холостому ході електричної машини постійного струму?
3. Що таке реакція якоря?
4. Як розподіляється індукція в повітряному зазорі навантаженого двигуна при повному і ослабленому збудженні?
5. Як залежить реактивна ЕРС від струму якоря?
6. Призначення додаткових полюсів та їх вплив на розподіл індукції в повітряному зазорі?
7. Вимоги до магнітного ланцюга додаткового полюса; крива намагнічування полюса.
8. Призначення компенсаційної обмотки.
9. Як розраховується і укладається компенсаційна обмотка?
10. Середня і максимальна міжлAMEЛЬНА напруга і його залежність від величини і форми повітряного зазору.
11. Способи зменшення реактивної ЕРС.
12. Схема з'єднання обмоток випробовуваного двигуна.
13. Позначення виводів в електричних машин, що мають компенсаційну обмотку.

СПИСОК ОСНОВНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Безрученко В.М., Варченко В.К., Чумак В.В.* Тягові електричні машини електрорухомого складу. – Дніпропетровськ: ДПТ, 2003. – 252 с.
2. *Проектирование тяговых электрических машин* / Под ред. М.Д. Находкина). – М.: Транспорт, 1976. – 326 с.
3. *Сергеев П.С. и др.* Проектирование электрических машин. – М.: Энергия, 1969. – 259 с.
4. *Захарченко Д.Д. Ротанов Н.А.* Тяговые электрические машины. – М.: Транспорт, 199. – 343 с.
5. ГОСТ 2582-81. Машини електричні тягові, що обертаються. Технічні умови.

ДОДАТКОВА ЛІТЕРАТУРА

1. *Волдек А.И.* Электрические машины. – М.: Энергия, 1979.
2. *Міліх В.К., Шаволкін К.Н.* Електротехніка, електроніка та перетворювальна техніка. – 2006. – 465 с.
3. *Дубинець Л.В., Момот О.І., Маренич О.Л.* Електричні машини. Трансформатори. Асинхронні машини. – Дніпропетровськ: Дніпропетровський національний ун-т заліз. тр-ту, 2004. – 207с.
4. *Дубинець Л.В., Момот О.І., Маренич О.Л.* Електричні машини. Синхронні машини. Машини постійного струму. – Дніпропетровськ: Дніпропетровський національний ун-т зал. тр-ту, 2007. – 200 с.
6. *Данку А., Фаркаш А., Надь Л.* Электрические машины: Сборник задач и упражнений. – М., 1984. – 360 с.
7. *Набиев Ф.М.* Электрические машины. – М.: Радио Софт, 2008. – 291 с.
8. *Методичні вказівки до курсового проекту «Розрахунок тягового двигуна»* УкрДАЗТ, 1999 № 3546.
9. *Винокуров В.Л.* Электрические машины железнодорожного транспорта.
10. *Копылов И.П.* и др. Проектирование электрических машин. – М.: Энергия, 1980. – 420 с.

Навчально-методичне видання

Данилевський Володимир Ілліч

ТЯГОВІ ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт

для студентів спеціальності

7.092202 «Електричний транспорт»

для всіх форм навчання

Авторська редакція

Відповідальний за випуск: Данилевський В. І.

Підписано до друку. 25.03.2010

Формат 60x84/16. Папір офсетний.

Спосіб друку – ризографія.

Замовлення 28- 2/10. Тираж 60 прим.

Надруковано у Редакційно-видавничому центрі
Державного економіко-технологічного університету транспорту
Свідоцтво про реєстрацію ДК № 3079 від 27.12.2007 р.
03049, м. Київ-49, вул. Миколи Лукашевича, 19.