

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
З ІГРОВОГО КУРСОВОГО ПРОЕКТУВАННЯ
СИНХРОННИХ МАШИН

для студентів спеціальності
050702 «Електричні машини та апарати»

Харків 2014

Методичні вказівки з ігрового курсового проектування синхронних машин для студентів спеціальності 050702 «Електричні машини та апарати»/ уклад. Юр'єва О.Ю., Шилкова Л.В., Потоцький Д.В. – Харків: НТУ «ХПІ», 2013. – 16 с.

Укладачі О. Ю. Юр'єва
 Л.В. Шилкова
 Д.В. Потоцький

Рецензент В.Ф. Болюх

Кафедра електричних машин

1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Ці методичні вказівки призначені для студентів кафедри електричних машин, які беруть участь в ігровому курсовому проектуванні. Їх мета – надання методичної допомоги в організації і проведенні практичних занять з розрахунку і конструювання синхронних електричних машин у формі ігрового проектування.

Реальне оптимальне проектування електричної машини – це досить складне, громіздке, багатоваріантне завдання, вирішення якого вимагає великих витрат часу і знань в області розрахунків (електромагнітних, теплових, вентиляційних, механічних), конструювання та технології виготовлення машин. Тому розробка нової конструкції електричної машини проводиться зусиллями багатьох фахівців колективу підприємства або проектної організації. Колективність розробки дозволяє не тільки скоротити строки випуску технічної документації на виріб, але й уникнути рішень і помилок, традиційних для однієї людини. При колективній розробці йде обговорення ідеї і результатів розробки на окремих етапах, йде безперервний обмін думками та корекція прийнятих рішень.

Ігрове проектування є моделлю, що імітує реальне проектування електричних машин. Застосування такого виду проектування дозволяє значно підвищити активність студентів на практичних заняттях, внести елементи змагання в їх роботу, розвинути навички самостійного творчого підходу до вирішення завдань щодо організації колективної праці. Ігрове проектування також дозволяє об'єднати студентів у процесі навчання, посилити відповідальність за свій етап роботи і навчити давати оцінку прийнятим інженерним рішенням і конструкторським розробкам шляхом взаємного рецензування. Нарешті, правильне застосування системи стимулювання своєчасного і якісного виконання студентами робіт на окремих етапах і їх участь у публічному захисті підвищує також техніко-економічний рівень курсових проектів і приносить значну користь практичного освоєння студентами методів розрахунку та проектування електричних машин [1].

2. МЕТОДИКА ГРИ, СКЛАД ТА ОБОВ'ЯЗКИ ЇЇ УЧАСНИКІВ

Основною метою ігрового курсового проектування є закріплення та поглиблення знань, отриманих студентами при вивченні загальних і спеціальних курсів: "Електричні машини", "Конструювання електричних машин", "Технологія виробництва електричних машин", "Проектування електромеханічних пристроїв" та ін.

Згідно з завданням на курсове проектування студентам необхідно спроектувати трифазну явнополюсну синхронну машину з високими техніко-економічними показниками. Таку синхронну машину можна отримати в процесі проектування при розробці багатьох варіантів машин, що відрізняються габаритами, матеріалами, що застосовуються, розмірами активних та конструктивних елементів та ін.

Методика проведення ігрового проектування полягає у такому. Завдання на курсове проектування видається студентам викладачем-керівником курсового проектування, який виступає у якості головного конструктора. Навчальні групи студентів розбиваються на проектні групи по 4 виконавця з урахуванням побажань учасників гри. Кожна проектна група обирає зі свого складу студента, який грає роль ведучого конструктора. Проектні групи повинні мати наскрізну нумерацію для всього потоку. Обсяг розрахункових і конструкторських робіт у всіх групах повинен бути приблизно однаковим. Для проектної групи зменшеного (збільшеного) складу пропорційно зменшується (збільшується) обсяг конструкторської документації.

Виконавці проектують синхронну машину на однакові номінальні дані, але з різним конструктивним виконанням. Проектування машини здійснюється згідно з графіком виконання проекту (табл. А.1).

Ведучий конструктор займається розподілом обов'язків в проектній групі, представляє та захищає її інтереси під час проектування, веде облік роботи виконавців та оцінює роботу при завершенні етапів на нараді проектної групи. При закінченні виконавцями чергового етапу ведучий конструктор доповідає про це головному конструктору. Останній, за відсутності зауважень, приймає етап, відзначаючи дату виконання і кількість балів, набраних членами проектної групи.

Заохочення і стягнення оцінюють балами згідно з розробленою системою стимулювання (див. розд. 3).

Головний конструктор заохочує виконавців за проявлену ініціативу, цікаві рішення, дострокове виконання етапу, вмілу організацію роботи проектної групи, оформлення пояснювальної записки і графічної частини відповідно до вимог нормативних документів, а також штрафує тих, хто працює неорганізовано, не проявляє достатньої ініціативи, допускає в процесі роботи грубі помилки, недбало оформляє документацію до курсового проекту.

Кращі проекти визначаються на засіданні експертної комісії разом з ведучими конструкторами після взаємного рецензування, захисту всіх проектів і під-

рахунку отриманих балів.

До складу експертної комісії входять: голова – завідувач кафедри та викладачі – керівники гри.

Експертна комісія вносить свої пропозиції кафедрі по заохоченню авторів кращих проектів [1].

3. СИСТЕМА СТИМУЛЮВАННЯ УЧАСНИКІВ ГРИ

Для активізації гри та оцінки діяльності кожного з її учасників застосовується система преміювання і штрафів, заснована на стимулюванні виконавців за своєчасне або дострокове закінчення робіт, обґрунтованість прийнятих на певних етапах проектування технічних рішень, якість оформлення та ін.

Весь обсяг курсового проекту розбивається на етапи і складається графік їх виконання по тижнях зі вказівкою трудомісткості кожного етапу (табл. А.1). Кожна година самостійної роботи оцінюється десятьма балами.

Після закінчення чергового етапу до відомості обліку балів на нараді головного та ведучих конструкторів заноситься кількість преміальних або штрафних балів. Відомість обліку кількості балів заповнюється за зразком, наведеним в табл. А.2.

Зменшення (збільшення) термінів проектування преміюють (штрафується) балами C . Кількість преміальних (штрафних) балів

$$C = 10(T_{ni} - T_{fi}),$$

де T_{ni} та T_{fi} – нормативний і фактичний час i -того етапу проектування, виражений в годинах самостійної роботи студента, відповідно.

Своєчасність виконання окремих етапів роботи оцінюється в ході проектування, а якість проекту – під час його перевірки, обговорення і захисту.

Стимулювання проводиться згідно з табл. А.3.

Виконавці кожної проектної групи рецензують проект іншої проектної групи. Об'єктивні позитивні або негативні рецензії преміюються. Позитивна рецензія за наявності невідмічених помилок і негативна рецензія за їх відсутності штрафуються.

Також в балах оцінюється якість, активність і аргументація при захисті проектів, участь у захисті проектів інших проектних груп.

Загальна кількість цих балів проектної групи є сумою балів, отриманих кожним виконавцем на всіх етапах.

Якщо виконавець переходить до іншої проектної групи з принципових міркувань, то всі отримані ним бали перераховуються на рахунок нової проектної групи. Сума балів в проектній групі, з якої вийшов виконавець, зменшується на таку саму кількість балів.

Несвоєчасна постановка питання про зміну складу проектної групи розцінюється, як невміла організація роботи в проектній групі.

Одним з головних підстав для визначення підсумкової оцінки роботи учасників ігрового проектування є поетапні доповіді ведучого конструктора про особисту участь виконавців проектної групи у виконанні комплексного завдання [1].

4. АЛГОРИТМ ІГРОВОГО МЕТОДУ ПРОЕКТУВАННЯ

4.1 Підготовчий період

Головний конструктор видає виконавцям завдання на проект, роз'яснює правила гри, видає список рекомендованих методичних, довідкових та інших інформаційних матеріалів, знайомить з графіком виконання окремих етапів проектування і системою стимулювання [1].

4.2 Визначення головних розмірів та електромагнітних навантажень

Головний конструктор дає загальні рекомендації щодо розрахунку.

Проектна група приступає до виконання досить важливого першого етапу проектування. Кожна проектна група здійснює розрахунок декількох варіантів машини, які розрізняються попередніми варіантами головних розмірів машини та електромагнітного навантаження, які повинні перебувати в межах рекомендованих [2–5].

Кількість варіантів відповідає кількості виконавців у проектній групі. Після затвердження цих варіантів на консультації у головного конструктора проектна група приступає до проектування статора.

4.3 Проектування статора

Головний конструктор проводить консультацію з виконання цього етапу проектування.

Проектування статора синхронної машини включає в себе вибір типу обмотки, розрахунок кількості пазів на полюс і фазу, сегментування осердя статора, розрахунок номінального струму обмотки статора, побудову схеми обмотки статора, розрахунок розмірів паза статора та його заповнення, розрахунок активного та індуктивного опорів та ін.

Кожен виконавець проектної групи продовжує розрахунок свого варіанту син-

хронної машини, що відрізняються геометричними розмірами.

Після закінчення етапу виконавці однієї проектної групи проводять взаємну перевірку результатів розрахунку статора. Отримані величини повинні перебувати в межах, рекомендованих методикою розрахунку [2–5].

4.4 Проектування ротора

Головний конструктор проводить загальну консультацію, загострюючи увагу виконавців на особливостях проектування ротора синхронної машини.

Виконавці розробляють ротор, а саме, визначають величину повітряного проміжку, розмірів полюсів та параметрів пускової обмотки. Вибір варіантів виконання ротора і взаємна перевірка правильності проведених розрахунків здійснюються аналогічно проектуванню статора [2–5].

4.5 Магнітний розрахунок

Головний конструктор проводить загальну консультацію для всіх проектних груп, зупиняючись на методиці виконання магнітного розрахунку синхронної машини.

Метою такого розрахунку є розрахунок магнітного кола, характеристики неробочого ходу, відношення короткого замикання та МРС обмотки збудження при номінальному навантаженні [2–5].

4.6 Проектування обмотки збудження

Головний конструктор проводить загальну консультацію для всіх проектних груп, загострюючи увагу на меті цього етапу проектування синхронної машини.

Виконавці визначають розміри полюса, виконують розрахунок параметрів обмотки збудження [2–5].

4.7 Розрахунок втрат потужності та ККД при номінальному навантаженні

Головний конструктор дає консультацію з визначення втрат потужності синхронної машини.

Виконавці повинні визначити втрати потужності, ККД та вихідну потужність в номінальному режимі [2–5].

4.8 Тепловий розрахунок

Головний конструктор загострює увагу на важливості цього етапу проектування і дає загальну консультацію.

Виконавці повинні розрахувати перевищення температури пазової та лобової частини обмотки статора над температурою охолоджуючого повітря та порівняти її з допустимим [2–5].

4.9 Визначення індуктивних опорів обмоток

Головний конструктор дає загальну консультацію щодо цього етапу розрахунку.

Виконавці повинні розрахувати індуктивні опори розсіювання, а також індуктивні перехідні і понадперехідні опори по поздовжній та поперечній осям [2–5].

4.10 Визначення сталих часу

Головний конструктор дає загальну консультацію щодо цього етапу розрахунку.

Виконавці повинні розрахувати сталі часу, які є важливими експлуатаційними параметрами [2–5].

4.11 Визначення значень величин у системі відносних одиниць

Головний конструктор дає консультацію щодо величин, що розраховуються на цьому етапі.

Виконавці повинні розрахувати базисні та поточні значення величин, які необхідні для розрахунку експлуатаційних характеристик синхронної машини [2–5].

4.12 Визначення характеристик синхронної машини

4.12.1 Визначення характеристик синхронного генератора при автономному навантаженні

Головний конструктор на цьому етапі роз'яснює, що цей етап проектування виконується тільки тими проектними групами, які розраховують синхронний генератор на автономне навантаження, та дає загальну консультацію щодо розрахунку його характеристик.

Виконавці розраховують характеристики неробочого ходу, короткого замикання, регульовальну, навантажувальну та зовнішню характеристики [2–5].

4.12.2 Визначення характеристик синхронного генератора при паралельній роботі з мережею нескінченної потужності

Головний конструктор на цьому етапі роз'яснює, що цей етап проектування виконується тільки тими проектними групами, які розраховують синхронний генератор, призначений для роботи з мережею нескінченної потужності, та дає загальну консультацію щодо розрахунку його характеристик.

Виконавці розраховують кутову та U-подібну характеристики [2–5].

4.12.3 Визначення характеристик синхронного двигуна

Головний конструктор на цьому етапі роз'яснює, що цей етап проектування виконується тільки тими проектними групами, які розраховують синхронний дви-

гун, та дає загальну консультацію щодо його розрахунку.

Виконавці розраховують кутову, U-подібні та робочі характеристики двигуна [2–5].

4.13 Розробка конструкції, механічні розрахунки і виконання креслень

Перед початком цього етапу викладачем проводиться загальна консультація щодо конструювання синхронної машини.

Результати проведених розрахунків варіантів синхронної машини зводяться в таблицю результатів розрахунку (табл. А.4) [1].

Проектна група на нараді перевіряє розрахунки, здійснює обґрунтований вибір оптимального варіанту синхронної машини для подальшої конструкторської розробки.

З одного боку, машину бажано виконати з мінімальною витратою активних і конструктивних матеріалів, а з іншого – всі вузли повинні бути достатньо міцними і надійними у всіх заданих режимах роботи.

Кращим слід вважати такий варіант машини, який при мінімальних розмірах і масі забезпечує кращі експлуатаційні характеристики [2–5].

Ведучий конструктор вирішує питання, пов'язані із загальним компонованням складальних одиниць і складального кресленика машини. Виконавці проектної групи займаються конструюванням кращого варіанта і виготовленням креслеників вузлів і деталей статора та ротора того ж варіанта машини або складальних креслеників машини в іншому конструктивному виконанні. Обсяг графічної частини – кількість аркушів формату А1 – відповідає кількості виконавців у проектній групі [6–10].

4.14 Складання й оформлення розрахунково-пояснювальної записки

Кожен виконавець проектної групи складає розрахунково-пояснювальну записку для свого варіанту синхронної машини. У розділі "Висновки" наводить результати порівняльного аналізу варіантів синхронної машини, які розраховані всіма виконавцями проектної групи, і особливо зупиняється на перевагах і недоліках свого варіанту розрахунку машини.

4.15 Рецензування проекту

Готові проекти передаються на рецензію в паралельну проектну групу.

При рецензуванні курсового проекту необхідно:

– встановити актуальність виконаного проекту з урахуванням сучасних тенденцій розвитку і вдосконалення електричних машин спеціального та загального призначення;

– оцінити правильність розрахунку, а також відповідність технічному завданню отриманих характеристик синхронної машини;

– дати загальну характеристику конструюванню електричної машини, відзначити оригінальність конструкторських розробок, перевірити правильність розрахунків міцності;

– оцінити відповідність текстової та конструкторської документації вимогам нормативних документів.

Рецензії та курсові проекти передаються головному конструктору для остаточної перевірки.

Якщо проект прийнятий і не вимагає доопрацювання, головний конструктор нараховує преміальні бали за своєчасне або дострокове закінчення проекту. Якщо до кінця встановленого терміну готовий проект не надано головному конструктору, то проектна група штрафується (табл. А.2) [1].

4.16 Захист курсових проектів

Захист проектів проводиться перед експертною комісією. Форма захисту – колегіальна. Спочатку ведучий конструктор повідомляє про результати проведених розрахунково-конструкторських робіт, а потім всі виконавці відповідають на запитання комісії. Оголошується зміст рецензії.

При підведенні підсумків ігрового проектування оцінюється не тільки колективна, але й індивідуальна робота кожного виконавця.

Експертна комісія всебічно оцінює якість виконання та захист проектів і визначає місця всіх проектних груп і окремих виконавців згідно з підсумками змагання. Згідно з кількістю балів (табл. А2) виконавцям виставляються оцінки за трибальною системою – "відмінно" (570–770 балів), "добре" (480–569 балів), "задовільно" (350–479 балів).

Проекти, відправлені на виправлення або доопрацювання, захищаються на повторному засіданні експертної комісії.

На закінчення на загальних зборах проектних груп голова експертної комісії підводить підсумки гри: відзначає кращі проекти, вдалі і невдалі конструкторські розробки і рішення, організовує колективне обговорення всіма виконавцями процесу проектування і результатів гри [1].

СПИСОК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ

1. Горелый А.В. Активизация обучения проектированию: учебное пособие / А.В.Горелый, А.П. Бодрунов, В.А. Бубнов; под ред. А.В.Горелого. – К.: УМК ВО, 1991.– 264 с.
2. Юр'єва О. Ю. Проектування синхронних явнополюсних машин: навч. посібник/ О.Ю. Юр'єва, Л.В. Шилкова, Д.В. Потоцький. – Х: НТУ «ХП», 2013.– 76 с.
3. Гольдберг О.Д. Проектирование электрических машин / О.Д. Гольдберг, Я.С. Гурин, И.С. Свириденко. - М.: Высшая школа, 1984. – 431 с.
4. Кацман М. М. Расчет и конструирование электрических машин : учеб. пособие для техникумов / М.М. Кацман. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 360 с.
5. Проектирование электрических машин / под ред. И.П. Копылова - М.: Энергия, 1980. – 496 с.
6. Літерні позначення величин та параметрів електричних машин: методичні вказівки до використання в навчальному процесі кафедри «Електричні машини» для студентів і викладачів електротехнічних спеціальностей / Укладач В.І.Міліх. – Х: НТУ «ХП», 2007.
7. Общие требования к текстовым документам. ГОСТ 2.105–95. – (Чинний з 27.06.1996).
8. Конструкторські документи у сфері навчального процесу. Загальні положення. СТВУЗ–ХП–3.03–2002. – (Чинний з 03.12.2002).
9. Конструкторські документи. Формати. Основні написи. Вимоги до виконання. СТВУЗ–ХП–3.04–2002. – (Чинний з 03.12.2002).
10. Конструкторські документи. Креслення. Вимоги до виконання. СТВУЗ–ХП–3.05–2002. – (Чинний з 03.12.2002).

ДОДАТОК А

Таблиця А.1 – Графік виконання курсового проекту

Номер та зміст етапу проектування	Час закінчення етапу (номер учбового тижня)	Трудомісткість i -того етапу T_i , виражена в годинах самостійної роботи
1. Підготовчий період	1	1
2. Визначення головних розмірів та електромагнітних навантажень	1	2
3. Проектування статора	2	3
4. Проектування ротора	3	3
5. Магнітний розрахунок	4	3
6. Проектування обмотки збудження	5	3
7. Розрахунок втрат потужності та ККД при номінальному навантаженні	6	3
8. Тепловий розрахунок	7	3
9. Визначення індуктивних опорів обмоток	8	1
10. Визначення сталих часу	8	1
11. Визначення значень величин у системі відносних одиниць	8	1
12. Визначення характеристик синхронної машини	9	3
13. Розробка конструкції, механічні розрахунки і виконання креслеників	11	9
14. Складання й оформлення розрахунково-пояснювальної записки	12	6
15. Рецензування проекту	15	3
16. Захист курсових проектів	16	3

Таблиця А.2 – Відомість обліку кількості балів проектної групи

Посада в проектній групі	Ведучий конструктор проектної групи	Виконавець № 1	Виконавець № 2	Виконавець № 3
Прізвище, ініціали				
Найменування кресленика скла- дальної одиниці				
Номер етапу проектування	Кількість балів за завершений етап			
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
Загальна кількість балів проектної групи				

Таблиця А.3 – Стимулювання успішної роботи

Статті стимулювання	Кількість балів	
	премія	штраф
Скорочення термінів проектування	$10(T_{hi} - T_{fi})$	
Збільшення термінів проектування		$10(T_{hi} - T_{fi})$
Помилка через неувагу		5
Помилка професійна		10–20
Організація роботи в проектній групі (чітка або нечітка)	20–30	20–30
Заохочення за додатковий варіант розрахунку, конструкторської розробки	50–100	
Оригінальність технічного рішення	20–50	
Естетичність оформлення проекту	20–30	20–30
Рецензія позитивна за наявністю невідмічених помилок на проект паралельної проектної групи		10
Рецензія позитивна за відсутністю помилок на проект паралельної проектної групи	10	
Рецензія негативна за наявністю відмічених помилок на проект паралельної проектної групи	10–20	
Рецензія негативна за відсутністю помилок на проект паралельної проектної групи		10–20
Недотримання вимог нормативних документів		20–40
Активність та грамотність доповіді під час захисту проекту	20–40	
Активна і грамотна участь під час захисту проектів інших проектних груп	10–20	

Таблиця А.4 – Дані для порівняння спроектованої та серійної машин

Тип машини	Варіанти	$S_N, \text{кВ}\cdot\text{А}$	$n_N, \text{об/хв}$	$\eta_N, \%$	α_e	$A_s, \text{А/см}$	$B_\delta, \text{Тл}$	λ	$d_{se}, \text{мм}$
Спроектowana	1								
	2								
	3								
	4								
Серійна									

Продовження табл. А.4

Тип машини	Варіанти	q_s	$J_s, \text{А/мм}^2$	$\tau_s, \text{мм}$	$S_{\Theta s}, \text{см}^2/\text{Вт}$	$B_{ts1/3}, \text{Тл}$	$B_{yss}, \text{Тл}$	R_s^*	X_{GS}^*
Спроектowana	1								
	2								
	3								
	4								
Серійна									

Закінчення табл. А.4

Тип машини	Варіанти	K_k	$B_p, \text{Тл}$	N_{dm}	$d_{dm}, \text{мм}$	$\tau_r, \text{мм}$	$J_E, \text{А/мм}^2$	$b_E, \text{мм}$	$S_{\Theta E}, \text{см}^2/\text{Вт}$
Спроектowana	1								
	2								
	3								
	4								
Серійна									

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
З ІГРОВОГО КУРСОВОГО ПРОЕКТУВАННЯ
СИНХРОННИХ МАШИН

для студентів спеціальності
050702 «Електричні машини та апарати»

Укладачі ЮР'ЄВА Олена Юріївна
ШИЛКОВА Лариса Василівна
ПОТОЦЬКИЙ Дмитро Васильович

Відповідальний за випуск В.І.Мілих
Роботу до видання рекомендував В.Т.Долбня
В авторській редакції

План 2013 р., п. 141

Підписано до друку 25.06.13. Формат 60x84^{1/16}. Папір офсетний.
Друк – ризографія. Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. .
Наклад – 50 прим. Зам. № . Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ «ХП»

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 3657 від 24.12.2009 р.
61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

Друкарня НТУ "ХП", 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21