

КРАСНОЛИМАНСЬКИЙ ЗАОЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра автоматики та комп'ютерних систем

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до виконання лабораторних робіт
з дисципліни**

***«ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ У СИСТЕМАХ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ»***

Харків – 2014

Методичні вказівки розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри автоматики та комп'ютерних систем 29 листопада 2012 р., протокол № 4.

Рекомендуються для студентів спеціальності «Електричні системи та комплекси транспортних засобів» заочної форми навчання.

Укладачі:

проф. А.М. Борисенко,
доц. О.Ф. Єнікєєв,
старш. викл. Р.О. Яровий

Рецензент

доц. О.І. Семененко

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт
з дисципліни

*«ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ У СИСТЕМАХ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ»*

Відповідальний за випуск Єнікєєв О.Ф.

Редактор Решетилова В.В.

Підписано до друку 25.12.12 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 1,00. Тираж 50. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Українська державна академія залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха, 7.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.

**УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО
ТРАНСПОРТУ**

КРАСНОЛИМАНСЬКИЙ ЗАОЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра автоматики та комп'ютерних систем

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт з дисципліни
„Інформаційні технології у системах електропостачання”

Харків - 2014

Методичні вказівки розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри „Автоматика та комп'ютерні системи” 29 листопада 2012 р., протокол № 4.

Рекомендуються для студентів спеціальності „Електричні системи та комплекси транспортних засобів” заочної форми навчання.

Укладачі:

проф. А.М. Борисенко,
доц. О.Ф. Єнікєєв,
старш. викл. Р.О. Яровий

Рецензент

доц. О.І. Семененко

Зміст

Вступ	4
Загальні методичні вказівки до виконання робіт	4
Особливості пакета прикладних програм SimPowerSystem	5
Лабораторна робота 1. Моделювання ліній електропередачі із зосередженими та розподіленими параметрами	10
Лабораторна робота 2. Дослідження однофазного випрямляча	15
Лабораторна робота 3. Дослідження трифазного керованого випрямляча	20
Лабораторна робота 4. Моделювання режимів запуску машини постійного струму	24
Список літератури	26

Вступ

Предметом вивчення дисципліни „Інформаційні технології у системах електропостачання” є методи інформаційного забезпечення систем енергозабезпечення підприємств залізничного транспорту, технічні засоби для отримання первинної інформації, методи математичного моделювання окремих модулів систем енергозабезпечення та побудова імітаційних моделей для досліджень їхніх динамічних і статичних характеристик.

Загальні методичні вказівки до виконання робіт

Методичні вказівки розраховано на виконання чотирьох двогодинних лабораторних робіт. Вони присвячені дослідженню математичних моделей лінії передачі електричного сигналу, некерованого та керованого випрямляча, а також двигуна постійного струму. Під час виконання лабораторних робіт студенти засвоюють навички роботи з операційною системою Matlab.

Для виконання лабораторних робіт академічна група розбивається на підгрупи з двох-трьох студентів, які працюють на закріпленому комп'ютері. Для виконання лабораторної роботи студенти вивчають необхідні розділи конспекту лекцій. Керівник занять виконує перевірку готовності студентів до виконання лабораторної роботи та дає дозвіл на її виконання. Варіанти індивідуальних завдань для підгрупи видає викладач. Результати виконання лабораторної роботи затверджує керівник. До складу звіту про виконання лабораторної роботи входять такі обов'язкові пункти:

- назва та мета лабораторної роботи;
- результати теоретичних розрахунків;
- графіки, які отримано за допомогою віртуальних установок;
- аналіз отриманих результатів;
- висновки.

Особливості пакета прикладних програм SimPowerSystem

Пакет прикладних програм SimPowerSystem є додатковою бібліотекою Simulink, яку орієнтовано на моделювання пристроїв силової електроніки. До її складу входять моделі пасивних та активних електротехнічних елементів, джерел енергії, електродвигунів, трансформаторів, ліній електропередачі та інше обладнання. Є також розділ, який містить блоки моделювання напівпровідникових пристроїв та системи управління ними. Використовуючи спеціальні можливості SimPowerSystem, користувач може не тільки імітувати роботу пристроїв, але й виконувати різні види аналізу таких пристроїв.

За допомогою пакета прикладних програм SimPowerSystem можна моделювати складні електротехнічні системи, поєднуючи при цьому методи віртуального та структурного моделювання. Такий підхід, на відміну від пакетів схемотехнічного моделювання, дозволяє значно спростити модель та відповідно до цього підвищити її надійність та швидкодію роботи. Окрім того, у моделях на основі SimPowerSystem можна використовувати блоки інших бібліотек Simulink, а також функції Matlab, що дає практично необмежені можливості для моделювання електротехнічних систем.

Бібліотека прикладних програм SimPowerSystem досить обширна. У випадку відсутності потрібного блоку в бібліотеці користувач має можливість створити свій власний блок як за допомогою вже наявних в бібліотеці блоків (реалізуючи можливості Simulink зі створення підсистем), так і на основі блоків основної бібліотеки Simulink та керованих джерел струму або напруги.

Методика створення моделі в SimPowerSystem нічим принципово не відрізняється від методики створення моделі на основі базової бібліотеки Simulink. Так само, як і для звичайної Simulink-моделі, необхідно виконати розстановку блоків на схемі, задати їхні параметри, з'єднати блоки та встановити параметри розрахунку. Для моделей пакета розширення SimPowerSystem доступний прискорений режим розрахунку та всі можливості Simulink. Ці можливості включають набір інструментів Simulink Performance Tools, лінійний аналіз, налаштовувач та т. п. Відмінності пакета SimPowerSystem такі:

1. Входи та виходи блоків не є спрямованими, оскільки вони фактично є еквівалентами електричних контактів. Електричний струм може через вхід або вихід блоку протікати в двох напрямках - як усередину блоку, так і назовні. Зображення порту на піктограмі блоку являє собою невеликий квадрат. Ці порти не є спрямованими.

2. Лінії зв'язку між блоками є моделями електричних проводів, по яких струм може протікати в двох напрямках. У Simulink-моделях інформаційний сигнал поширюється тільки в одному напрямку - від виходу одного блоку до входу іншого.

3. Simulink-блоки та SimPowerSystem-блоки не можуть бути безпосередньо з'єднані один з одним, оскільки мають сигнали різної природи. Сигнал від S-блоку можна передати до SPS-блоку через керовані джерела струму або напруги, а навпаки - за допомогою вимірювачів струму або напруги.

4. Кілька ліній зв'язку (проводів) можуть бути з'єднані між собою. Для виконання такого з'єднання в SimPowerSystem є спеціальні блоки (з'єднувачі).

5. При розрахунку схеми, що містить нелінійні блоки, слід використовувати методи:

- ode 15s - багатокроковий метод змінного порядку;
- ode23tb - неявний метод Рунге-Кутта.

При спостереженні змінних блоком Scope слід мати на увазі, що блок показує миттєві значення змінних.

При моделюванні ключових пристроїв слід уникати невиправдано великих відмінностей в параметрах для увімкненого та вимкненого стану. Так, користувач для Ideal Switch може задавати опір в увімкненому стані $R_{on} = 10^{-6}$ Ом, а активний опір іскропоглинаючого ланцюга $R_s = 10^6$ Ом. При цьому вважаємо, що такі параметри забезпечать найкраще наближення до ідеальної моделі. Різниця в опорі ключа для увімкненого та вимкненого стану складе 12 порядків і модель виявиться жорсткою. Це змусить Simulink істотно знизити крок розрахунку та, відповідно до цього, загальний час розрахунку моделі значно зросте. У той час як для досягнення цілком хороших результатів відмінність між R_{on} і R_s може становити всього 2-3 порядки.

Моделювання напівпровідникових перетворювачів енергії може займати достатньо великий час. Якщо при розрахунках

потрібні повторні обчислення, починаючи з деякого моменту часу, то можна заощадити машинний час, зі збереженням вектора станів моделі для цього моменту в робочій області Matlab. Всі повторні розрахунки можна буде проводити, починаючи з цього стану. Для реалізації такого механізму необхідно виконати відповідні налаштування на вкладці Workspace вікна Configuration parameters.

Найбільш суттєвим з точки зору швидкодії обчислень може виявитися правильний вибір рівня деталізації моделі. Наприклад, якщо виконується моделювання системи електропостачання міста, навряд чи варто моделювати кожен споживач електричної енергії: електричний двигун, чайник, зварювальний апарат і т. п. Цілком достатнім буде створення узагальнених моделей електричних споживачів на рівні заводського цеху, житлового будинку, трамвайного парку і т. п.

Щоб перевірити, чи достатньо точно виконується моделювання, слід провести порівняльні розрахунки з різними значеннями параметра Relative tolerance (відносна похибка). Для прикладу можна провести розрахунок з заданими «за замовчуванням» значеннями цього параметра: $1e-3$ та з меншим ($1e-4$) значенням. Якщо результати розрахунків відрізняються незначно, то можна вважати, що знайдене рішення є правильним. Якщо рішення значно відрізняється на початковій стадії, то слід задати в явному вигляді досить малий крок розрахунку (Initial step size).

Якщо рішення виявляється нестійким, то це може бути викликано такими причинами:

- система, яку моделюємо, є нестійкою;
- використовується метод ode 15 s. Слід обмежити порядок величиною 2 або використовувати метод ode 23 t.

Якщо рішення здається неточним, то слід задати в явному вигляді параметр Absolute tolerance (абсолютна похибка) і виконати ряд розрахунків, зменшуючи величину цього параметра. *Якщо при зменшенні абсолютної похибки точність розрахунків не покращується, то слід зменшити відносну похибку (це призведе до зменшення кроку розрахунку) або в явному вигляді задавати досить малу величину максимального кроку розрахунку.*

Бібліотека прикладних програм SimPowerSystems має вісім основних розділів:

1. Electrical Sources - джерела електричної енергії. До неї входять джерела постійної та змінної напруги і струму, керовані джерела напруги та струму, а також трифазні джерела змінної напруги. У полях вікна налаштування параметрів кожного блоку встановлюються значення амплітуди напруги, початкової фази і частоти. Блоки керованих джерел дозволяють зв'язати структурні або функціональні схеми основних бібліотек «Simulink Blok Library» з елементами бібліотеки Sim Power System.

2. Measurements - вимірювальні та контрольні пристрої. Бібліотека містить датчики струму та напруги, блок виміру для трифазних систем, мультиметр та вимірювач повного опору кола. Поле "Measurements" дозволяє підключати блок Multimeter для вимірювання та спостереження вихідних параметрів джерела.

3. Elements - електротехнічні елементи. У бібліотеці знаходиться набір моделей електротехнічних елементів: одно- та трифазні RLC-ланцюги, трансформатори, взаємоіндуктивність, запобіжний розрядник та ін. Послідовні й паралельні, однофазні та трифазні пасивні елементи R, L, C задаються в параметрах цих елементів (Ом, Генрі, Фарада «RLC Branch»), а також значеннями активної, реактивної індуктивної або реактивної ємнісної потужностей («RLC Load»). Однофазні та трифазні ланцюги зі взаємною індукцією (Mutual Inductance, Three-phase Mutual Inductance). Лінійні однофазні та трифазні трансформатори (Linear Transformer, *ThrPhase* Transformer) і трансформатор з реальним магнітним осердям, яке враховує його насичення (Saturable Transformer). Нелінійний елемент (грозозахисту), що дозволяє сформуванню необхідну нелінійну залежність між вхідним і вихідним сигналами. Однофазний та трифазний ключ (вимикач), параметри (опір, індуктивність) якого у відкритому стані задаються в полях налаштування. Там же задається стан ключа (відкритий, закритий) при нульовому вхідному сигналі. Трифазні трансформатори (дві або три обмотки). Блоки, які реалізують параметри однофазної і трифазної лінії електропередачі (PI лінії розрізу, розподіленими параметрами лінії).

4. Power Electronics - пристрої силової електроніки. До бібліотеки включені моделі силових напівпровідникових елементів, діоди, тиристори, IGBT-транзистори тощо, їхні елементи. Окрім того, у бібліотеці знаходяться модель універсального моста та модель трирівневого моста. Кожен одиничний напівпровідниковий елемент містить вихід, на якому за допомогою вимірювальних приладів можна подивитися форму напруги та струму на елементі і виміряти їхнє значення. Всі блоки мають керуючі входи.

5. Machines - електричні машини. До бібліотеки входять різні моделі машин постійного та змінного струму, парової та водяної турбін із регуляторами.

6. Phasor Elements - моделі пристроїв для розрахунку векторним методом.

7. Extra Library - додаткові електротехнічні пристрої. В даній бібліотеці знаходяться моделі дискретних та аналогових елементів управління, зокрема блоки управління напівпровідниковими випрямлячами та інверторами, різні фільтри, генератори, таймери і тому подібні пристрої. Окрім того, у бібліотеці знаходяться різні пристрої для вимірювання, зокрема блоки обчислення діючого та середнього значення сигналу, блок обчислення гармонійних складових, блок обчислення активної та реактивної потужності та інше. В бібліотеці також є розділ, де зведено всі моделі трифазних елементів.

8. Libraries Application - прикладна бібліотека. Вона включає моделі елементів для конкретних галузей електротехніки, зокрема моделі електроприводів постійного та змінного струму. Використовуючи блоки з цих розділів, користувач у змозі за короткий час створити повноцінну модель досить складної електротехнічної системи.

Лабораторна робота 1

МОДЕЛЮВАННЯ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ ІЗ ЗОСЕРЕДЖЕНИМИ ТА РОЗПОДІЛЕНИМИ ПАРАМЕТРАМИ

Мета: набутти практичних навичок у моделюванні ліній передачі електричної енергії з зосередженими та розподіленими параметрами

1.1 Короткі теоретичні відомості

Для моделювання ліній електропередач у пакеті прикладних програм *SimPowerSystem* використовують такі блоки:

1) *Pi Section Line* - моделює однофазну лінію електропередачі із зосередженими параметрами;

2) *Three-Phase PI Section Line* - моделює трифазну лінію електропередачі з зосередженими параметрами з урахуванням взаємної індуктивності фаз лінії. Модель складається з однієї секції. Для створення моделі з декількох секцій необхідно послідовно включити потрібну кількість блоків;

3) *Distributed Parameters Line* - моделює багатофазну лінію електропередачі із розподіленими параметрами.

У реальній лінії передачі електричної енергії опір (R), індуктивність (L) та ємність (C) рівномірно розподілені вздовж лінії. Наближена модель високовольтної лінії передачі електричної енергії містить у собі декілька ідентичних секцій із зосередженими параметрами (див. рисунок 1.1). Наближено кількість секцій можна визначити за допомогою такого виразу

$$f_{max} = \frac{N}{vl},$$

де f_{max} – максимальна частота сигналу; $v = (LC)^{-0.5}$ – швидкість розповсюдження, км/с, при вимірі індуктивності, Гн/км, й ємності, Ф/км; l – довжина лінії, км; N – кількість секцій залежить від частотного діапазону вхідного сигналу, який необхідно охопити при моделюванні.

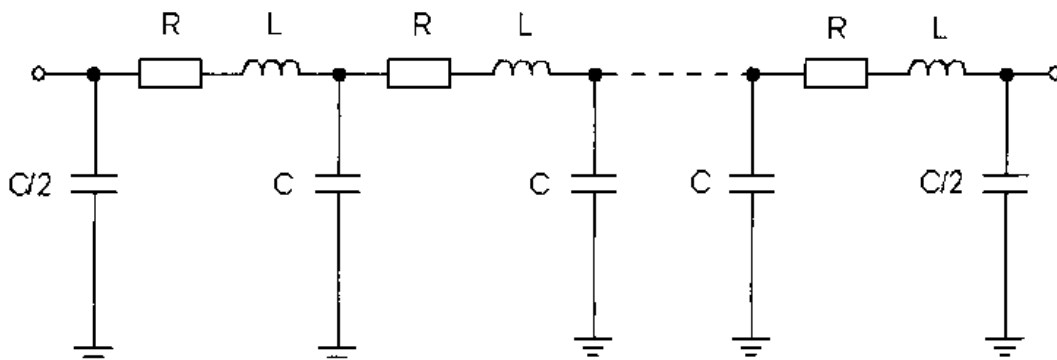


Рисунок 1.1 – Модель лінії електропередачі

Імітаційна модель у середовищі *SimPowerSystem* лінії передачі електричної енергії подана на рисунку 1.2.

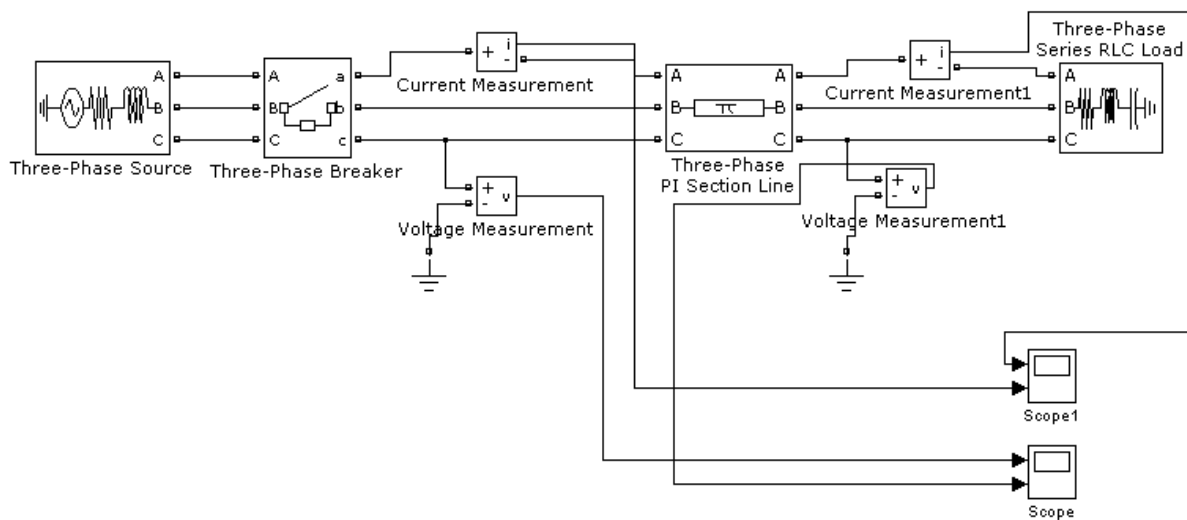


Рисунок 1.2 – Імітаційна модель лінії електропередачі

1.2 Розрахунок параметрів імітаційної моделі лінії

Виконаємо розрахунок параметрів імітаційної моделі. Вихідні дані для виконання розрахунків подано у таблицях 1.1 та 1.2 (варіант вказує номер бригади студентів).

Активний опір лінії визначається за формулою

$$R_{\lambda} = r_0 l ,$$

де r_0 – питомий опір визначається за таблицями залежно від поперечного перерізу провідника, Ом/км.

Таблиця 1.1 – Параметри ліній передачі електричної енергії

Варіант	1	2	3	4	5	6
Марка проводу АС	240/32	300/39	400/51	500/64	300/39	400/51
r_0 , Ом/км	0,121	0,098	0,075	0,060	0,098	0,075
x_0 , Ом/км	0,435	0,429	0,420	0,413	0,429	0,420
$b_0 \cdot 10^{-6}$, См/км	2,60	2,64	2,70	2,74	2,64	2,70
Довжина лінії, км	200	190	180	210	180	170

Таблиця 1.2 – Параметри навантаження

Варіант	1	2	3	4	5	6
$P_{\text{нагр}}$, МВт	190	240	280	330	220	300
$\cos \varphi_{\text{нагр}}$	0,92	0,91	0,93	0,94	0,92	0,93
$\alpha_n = P_{\text{нм}} / P_{\text{нб}}$	0,5	0,4	0,45	0,5	0,4	0,45
$U_{\text{эс}}$, кВ	242	230	242	230	242	230

Реактивний опір визначається таким чином:

$$X_n = x_0 l,$$

де x_0 – питомий реактивний опір, Ом / км.

Питомі індуктивні опори фаз повітряної лінії в загальному випадку різні. Тому при розрахунках симетричних режимів високовольтних ПЛ використовують середні значення x_0 .

$$x_0 = 0.1441 l g \frac{D_{cp}}{r_{np}} + 0.0157,$$

де r_{np} – радіус проводу, см; D_{cp} – середня геометрична відстань між фазами

$$D_{cp} = \sqrt[3]{D_{AB} D_{BC} D_{CA}},$$

де D_{AB} , D_{BC} , D_{CA} – відстані між проводами відповідно фаз a , b та c , см.

При розміщенні паралельних ланцюгів на двоколових опорах потокозчеплення кожного фазного дроту визначається

струмами обох ланцюгів. Зміна x_0 через вплив іншого ланцюга в першу чергу залежить від відстані між ланцюгами. Відмінність x_0 одного ланцюга від іншого у межах 5-6 % не враховується при практичних розрахунках. При розрахунку сталих режимів електричних мереж напругою до 220 кВ активна провідність практично не враховується. У мережах з $U_{ном} \geq 330$ кВ при визначенні втрат потужності й при розрахунку оптимальних режимів необхідно враховувати втрати на корону

$$\Delta P_{\kappa} = \Delta P_{\kappa 0} l = U^2 g_0 l,$$

де $\Delta P_{\kappa 0}$ – питомі втрати активної потужності на корону,
 g_0 – питома активна провідність.

Ємнісна провідність лінії С обумовлена ємностями між проводами різних фаз та ємністю нульового проводу. Визначається таким чином:

$$C = b_0 l,$$

де b_0 – питома ємнісна провідність, См/км, яка може бути визначена за довідковими таблицями або для повітряної лінії при частоті струму 50 Гц за такою формулою:

$$b_0 = \frac{\beta}{\lg \frac{D_{cp}}{r_{np}}} 10^{-6},$$

де β – частотний коефіцієнт, при 50 Гц $\beta = 7.58$,
 при 60 Гц $\beta = 9.08$

Результати розрахунків параметрів математичної моделі лінії передачі електричної енергії занести до таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Результати розрахунку

	Параметр	Розрахунок	Дослід
1	$R_{л1}$		
2	$R_{л2}$		

3	$X_{л1}$		
4	$X_{л2}$		
5	$C_{л1}$		
6	$C_{л2}$		
7	ΔU_1		
8	ΔU_2		
9	ΔU_3		
10	$\Delta P_{к1}$		
11	$\Delta P_{к2}$		

1.3 Порядок виконання роботи

1 Виконати розрахунок параметрів математичної моделі лінії передачі електричної енергії.

2 Скласти імітаційну модель лінії електропередач за допомогою Matlab.

3 Ввести коефіцієнти імітаційної моделі.

4 Дослідити імітаційну модель.

5 Зробити висновки.

Лабораторна робота 2

ДОСЛІДЖЕННЯ ОДНОФАЗНОГО ВИПРЯМЛЯЧА

Мета роботи: дослідження однофазного двопівперіодного випрямляча при роботі на активно-індуктивне навантаження із зворотним зв'язком за допомогою діода без урахування комутації.

2.1 Опис віртуальної лабораторної установки

Віртуальна лабораторна установка для досліджень (рисунок 2.1) містить такі функціональні модулі:

- джерело синусоїдальної напруги (220 В, 50 Гц);
- однофазний трансформатор (Transformer);
- однофазний діодний міст (Universal Bridge);
- активно-індуктивне навантаження (R, L);
- зворотний діод (Diode);
- вимірювач миттєвих струмів в джерелі живлення (I) та навантаженні (I Load);
- вимірювач миттєвої напруги на навантаженні (U Load);
- блок для вимірювання гармонійних складових струму живлення (Fourier I);
- блок для вимірювання гармонійних складових струму навантаження (Fourier I0) та аналогічний блок для вимірювання гармонійних складових напруги на навантаженні (Fourier U0);
- блок для спостереження (вимірювання) миттєвих значень струму в колі живлення, струму навантаження і напруги на навантаженні (Scope);
- блок для спостереження та вимірювань миттєвих значень величин, які обрані в полі Measurement відповідних блоків (Multimeter);
- блок для вимірювань амплітудного значення струму першої гармоніки та її фази в колі живлення (Display 1);
- блок для вимірювань середніх значень струму та напруги на навантаженні (Display 2). Вікно налаштування параметрів джерела живлення.

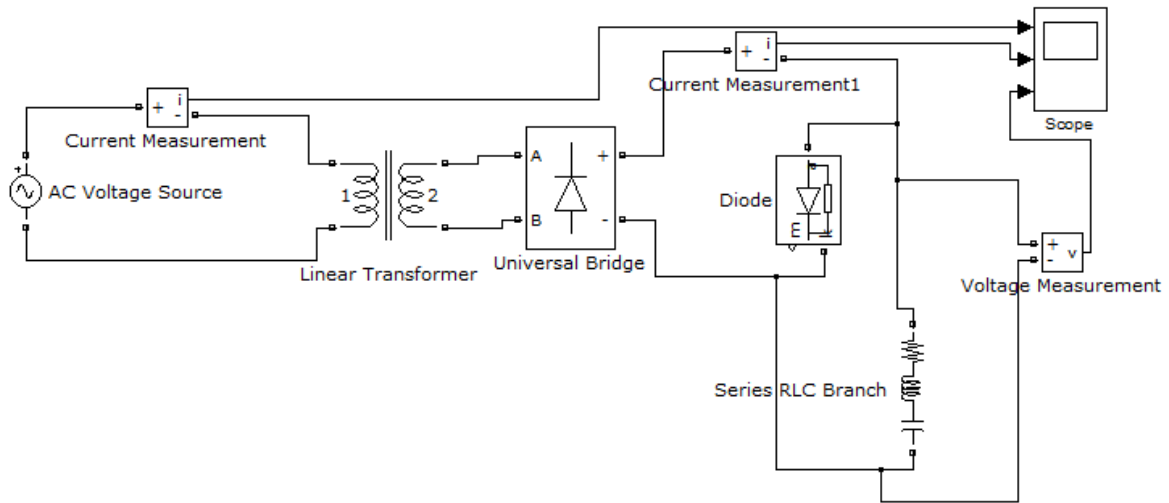


Рисунок 2.1 – Віртуальна лабораторна установка для досліджень

У полях налаштувань джерела синусоїдальної напруги задаються:

- амплітуда напруги у вольтах (Peak amplitude, В);
- початкова фаза напруги в градусах (Phase, deg);
- частота напруги в герцах (Frequency, Гц).

Параметр Sample time визначає період дискретності задання синусоїдальної напруги.

Вікно налаштувань параметрів трансформатора задає номінальну потужність та частоту трансформатора (Nominal power and frequency), параметри первинної та вторинної обмоток (Winding 1 parameters, Winding 2 parameters), а також параметри гілки намагнічування (Magnetization resistance and reactance). Параметри схеми заміщення трансформатора подаються у відносних величинах за такою схемою заміщення (рисунок 2.2).

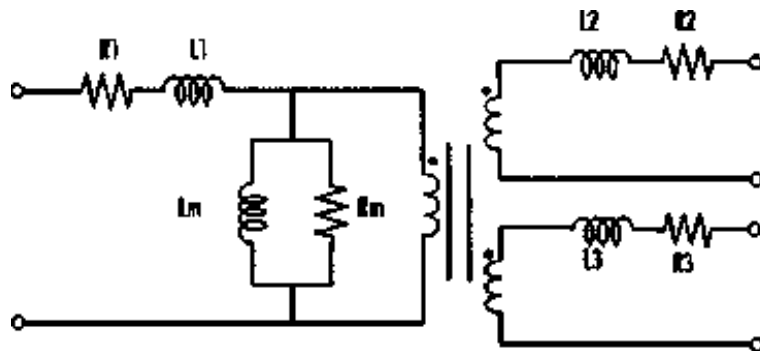


Рисунок 2.2 – Узагальнена схема заміщення трансформатора

При налаштуванні параметрів випрямляча задаються:

- кількість гілок моста (2) (Number of bridge arms);
- конфігурація входних і вихідних портів (Port configuration);
- параметри демпфуючих ланцюгів (Snubber resistance, Snubber capacitance);
- тип напівпровідникових приладів в універсальному мосту (Power Electronic device);
- динамічний опір діодів у відкритому стані в омах (ROD, Ом);
- індуктивність діода у відкритому стані в генрі (L_{on}, Гн);
- порогова напруга на діоді у відкритому стані в вольтах (Forward voltage, В).

У полі Measurement ці величини вимірюються блоком Multimetr.

Вікно налаштувань параметрів активно-індуктивного навантаження полягає у такому. В двох перших полях (Resistance R, Ом; Inductance L, Гн) встановлюється значення активного опору в омах й індуктивності в генрі (Гн), а в третьому полі (Capacitance C, ф) встановлюється – нескінченність (inf).

У вікні налаштування параметрів блоку Fourier II встановлюється частота, рівна частоті живильної напруги, й номер першої гармоніки.

Блоки Fourier 10, Fourier UO вимірюють постійні складові вихідного струму і напруги. При двопівперіодному спрямленні основна частота вихідної напруги (або струму) дорівнює подвоєній частоті джерела живлення ($f = 100$).

У полі (Harmonic n) задається номер гармоніки. У даному випадку вимірюється постійна складова ($n = 0$).

Вікно приладів Display призначене для вимірювання значень досліджуваних. У першому полі задається формат подання вимірюваних значень.

Друге поле (Decimation) визначає періодичність виведення значень у вікні Display.

Параметр Sample time задасть дискретність виведення вимірюваних значень. Цей параметр повинен бути узгоджений з часом дискретизації при заданні параметрів моделювання. При

моделюванні аналогових систем його можна встановити рівним нулю.

Вікно налаштування блоку Multimeter

У лівому полі (Available) висвічуються всі напруги і струми універсального моста, так як вони задані у вікні налаштування блоку.

У правому полі (Selected) відображені ті змінні, які вимірює блок (ці значення перенесені з лівого поля в праве кнопкою Select).

Змінні правого поля можна виміряти на виході блоку зовнішніми приладами. При увімкненому прапорці Display signals at simulation stop миттєві значення цих величин відображаються в графічному вікні блока по закінченні чергового моделювання.

2.2 Методика дослідження випрямляча за допомогою пакета прикладних програм SimPowerSystem

Дослідження однофазного двопівперіодного випрямляча при роботі на активно-індуктивне навантаження із зворотним діодом проводиться на віртуальній установці. Параметри джерела живлення, трансформатора, навантаження та діодного мосту задаються викладачем.

Параметри моделювання задаються на вкладці Simulation Parameters / Solver. У полі Stop time задається час в секундах, рівний 10 ... 20 періодів напруги джерела. У полі Type задається змінний крок (Variable-step) та метод розв'язання диференціальних рівнянь - ode 23 tb (stiff/TR-BDF2). У полі Max step size встановлюється значення кроку моделювання, це ж значення заноситься в поле Sample time усіх блоків, які це поле мають. У решті полів можна залишити те, що комп'ютер встановлює за замовчуванням.

Змінюють опір навантаження від 10 до 300 Ом із кроком 10 Ом та індуктивність навантаження таким чином, щоб постійна часу не змінювалась. При цьому моделювання проводиться для кожного опору навантаження. Результати моделювання заносяться до таблиці 2.1.

Амплітуда першої гармоніки струму в джерелі живлення та початкова фаза цього струму визначаються за показами Display 1,

струм та напруга на навантаженні визначаються за показами Display 2. Миттєві значення цих величин можна спостерігати на екрані осцилоскопа.

Таблиця 2.1 – Результати моделювання

Дані				Вимірювання						Обчислення		
U	f	L	R	In	Un	I	φ	Ud	Id	S(i)	P(i)	P _н
B	Гц	Гн	Ом	A	B	A	град	B	A	ВА	Вт	Вт

Обчислення повної та активної потужності, споживаної випрямлячем від джерела живлення по першій гармоніці, а також потужності в навантаженні здійснюються за виразами

$$S = UI, \quad P_n = U_n I_n \cos \varphi.$$

Після завершення чергового моделювання дані отримуємо за допомогою графічного вікна блоку Multimeter на підставі дослідження кривих миттєвих значень напруги та струму діода. У цьому вікні подаються максимальні значення цих величин. За результатами моделювання будуються:

- зовнішня (навантажувальна) характеристика випрямляча;
- енергетичні характеристики випрямляча.

2.3 Порядок виконання роботи

1 Скласти модель двопівперіодного випрямляча при роботі на активно-індуктивне навантаження із зворотним діодом.

2 Задати параметри елементів імітаційної моделі.

3 Дослідити однофазний випрямляч.

4 За результатами моделювання будуються:

- зовнішня (навантажувальна) характеристика випрямляча,
- енергетичні характеристики випрямляча.

5 Зробити висновки

Лабораторна робота № 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИФАЗНОГО КЕРОВАНОГО ВИПРЯМЛЯЧА

Мета роботи: дослідження трифазного двопівперіодного керованого випрямляча при роботі на активно-індуктивне навантаження.

3.1 Зміст роботи

Дослідити зовнішні, енергетичні та регулювальні характеристики трифазного керованого випрямляча при роботі на активно-індуктивне навантаження з урахуванням впливу протиЕРС та зворотного діода.

3.2 Опис віртуальної установки для досліджень керованого випрямляча

Віртуальна лабораторна установка для досліджень показана на рисунку 3.1. Вона містить:

- джерело трифазної синусоїдальної напруги (Inductive source with neutral);
- активно-індуктивне навантаження з протиЕРС (R, L), (E);
- зворотний діод (Diode);
- вимірники миттєвих струмів в джерелі живлення (I) і навантаженні (I Load);
- вимірювач миттєвої напруги на навантаженні (U Load);
- блок для вимірювання гармонійних складових струму живлення (Fourier I1) та струму тиристора (Fourier TO);
- блок для вимірювання гармонійних складових струму навантаження (Fourier I0) й аналогічний блок для вимірювання гармонійних складових напруги на навантаженні (Fourier U0);
- блок для вимірювання діючого струму в тиристорі (RMS T);
- блок для вимірювань миттєвих значень струму в колі живлення, струму навантаження і напруги на навантаженні (Score);

- блок для вимірювань миттєвих значень величин, які обрані в полі Measurement відповідних блоків Multimeter;
- блок для вимірювань амплітудного значення струму та його фази в колі живлення (Display);
- блок для вимірювань середніх значень струму і напруги на навантаженні (Display);
- блок для вимірювань середнього та діючого значення струму тиристора (Display2);
- блок Te Workspace, який призначено для передачі сигналів у робочий простір MatLab з подальшою їхньою обробкою за допомогою пакета Signal Processing Toolbox при дослідженнях гармонійного спектра струму споживання;
- трифазний тиристорний міст (Universal Bridge);
- бібліотечний блок керування трифазним випрямлячем (Synchronized 6-Pulse Generator).

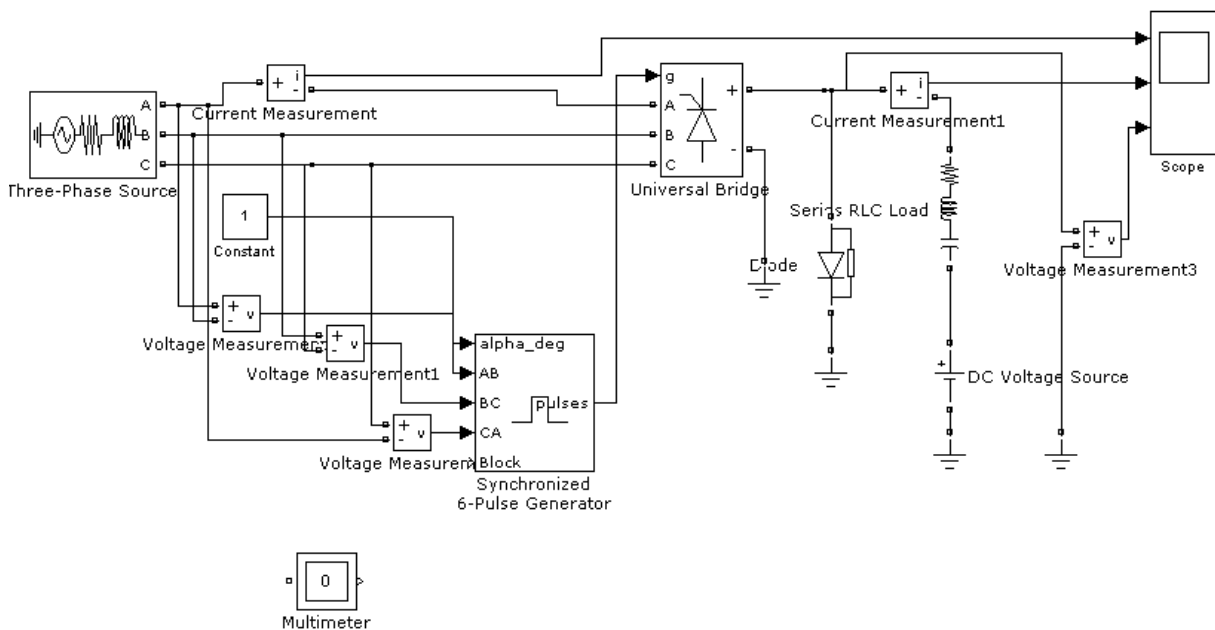


Рисунок 3.1 – Імітаційна модель трифазного керованого випрямляча при роботі на активно-індуктивне навантаження

3.3 Підготовка параметрів імітаційної моделі для досліджень

Підготовка до досліджень полягає у заданні параметрів імітаційної моделі трифазного керованого випрямляча. Це

виконується наступним чином. У поля вікна вводиться частота сигналу джерела живлення та тривалість імпульсу управління (градус). Останню величину слід погодити з сигналом управління (вхід `alpha_deg` в блоці `Sinchronized 6-Pulse Generator`) таким чином, щоб сума цих кутів не перевищувала 120° . На вхід блоку надходять синхронізуючі сигнали від мережі та сигнал задання кута керування.

У перше поле вікна налаштування блоку `Te Workspace` введемо назву змінної, під якою виміряний вектор буде знаходитись в робочому просторі. У другому полі визначаємо довжину вектора (кількість значень змінної, яку досліджуємо). Довжина вектора повинна бути пов'язаною як з частотою (періодом) сигналу, так і з часом поля `Sample time`. Частота сигналу дорівнює 50 Гц (період 0,02 с). При такому часі зчитування сигналу $2e-4$ на одному періоді маємо 100 точок. З цього випливає, що в робочу область при довжині вектора 200 будуть записані два останні періоди сигналу. Слід підкреслити, що для отримання спектра необхідно записувати в робочу область не менше двох періодів. Слід також підкреслити, що час в полі `Sample Time` має бути узгоджений з кроком моделювання у вікні параметрів моделювання. Формат вектора встановлюється в нижньому полі вікна.

Параметри джерела живлення, навантаження та тиристорного моста задаються викладачем. Параметри моделювання задаються на вкладці `Simulation/parameters` таким чином. У полі `Stop time` задається час в секундах. У полі `Max step size` встановлюється значення кроку моделювання, це ж значення заноситься в поле `Sample time` всіх блоків, які таке поле мають. У решті полів можна залишити те, що комп'ютер встановлює за замовчуванням.

При знятті зовнішніх характеристик керованого випрямляча параметри навантаження (R , L) лишаються без змін. Змінюється протиЕРС навантаження у межах від 100 В до 0 В з кроком 20 В. Зовнішні характеристики знімаються за допомогою віртуальної установки для трьох значень кута керування випрямлячем ($\alpha = 0^{\circ}$, 40° , 60°). При цьому виконуються моделювання для кожного значення протиЕРС та кута керування. Результати моделювання заносяться до таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати моделювання

Дані		Вимірювання								Обчислення			
E	α	I_n	U_n	$I_1(I)_{\max}$	φ	I_{r0}	I_r	U_d	I_d	$S_1(i)$	$P_1(i)$	P_n	P_T
B	град	A	B	A	гра	A	A	B	A	ВА	BT	BT	BT

Амплітуда першої гармоніки в джерелі живлення і початкова фаза цього струму визначаються за показами Display 1, струм та напруга на навантаженні визначаються за показами Display. Миттєві значення цих величин можна спостерігати на екрані осцилоскопа. У графічному вікні блоку Multimeter спостерігаються та визначаються максимальні значення напруги і струму тиристора керованого випрямляча. Повна та активна потужність по першій гармоніці, яка споживається випрямлячем з мережі, розраховуються за виразами

$$S_1(I) = \frac{3U_{1\max}(I)I_{1\max}(I)}{2} \text{ (ВА)},$$

$$P_1(I) = \frac{3U_{1\max}(I)I_{1\max}(I)\cos\varphi_1}{2} \text{ (BT)}.$$

Потужність у навантаженні визначається за виразом

$$P_n = U_n I_n \text{ (BT)}.$$

Втрати в тиристорі визначаються за виразом

$$P_T = U_1 I_{r0} + I_T^2 R_{об}.$$

3.4 Порядок проведення лабораторної роботи

- 1 Скласти модель віртуальної лабораторної установки.
- 2 Задати параметри елементів імітаційної моделі.
- 3 Дослідити трифазний керований випрямляч.
- 4 Результати моделювання заносяться до таблиці 3.1.
- 5 За результатами моделювання будуються:
 - зовнішня характеристика керованого випрямляча $U_n=f(I_n)$;
 - регульовальна характеристика $U_n=f(\alpha)$ при зміні кута керування тиристорів α від 0 до 120° з кроком 20° .
- 6 Зробити висновки з роботи.

Лабораторна робота 4

МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ ЗАПУСКУ МАШИНИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Мета: набути практичних навичок моделювання режимів роботи машини постійного струму.

4.1 Стислі теоретичні відомості

Блок DC Machine пакета SimPowerSystem моделює електричну машину постійного струму. Порти моделі $A + i A$ є виводами обмотки якоря машини, а порти $F + i F$ є виводами обмотки збудження. Порт TL призначений для подачі моменту опору руху. На вихідному порту m формується векторний сигнал, що складається з чотирьох елементів: частота обертання, струм якоря, струм збудження та електромагнітний момент машини. Схема блока DC Machine подано на рисунку 4.1.

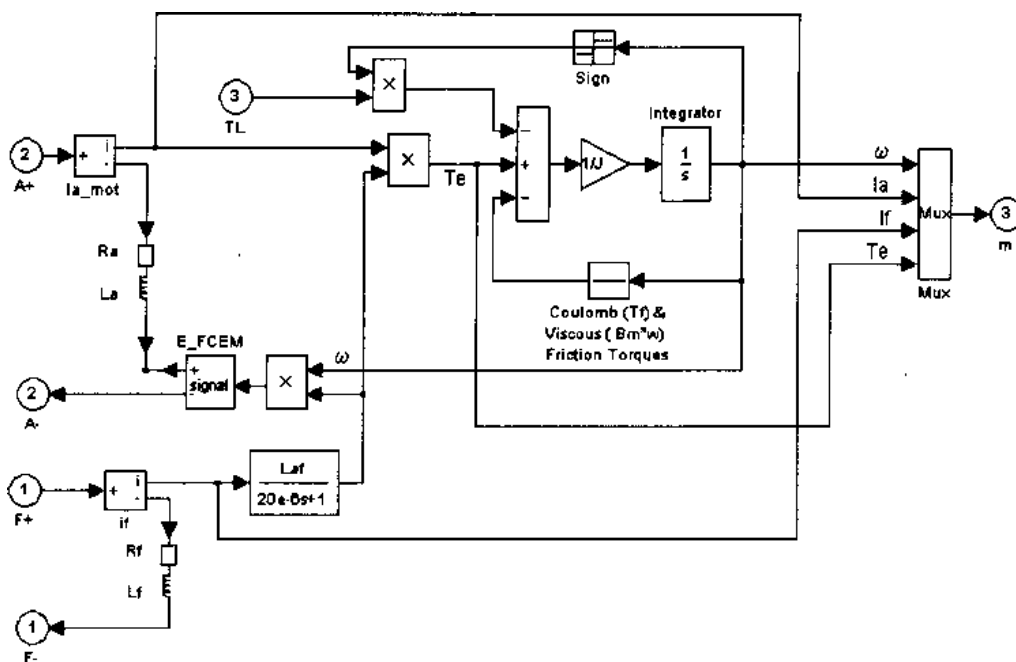


Рисунок 4.1 – Імітаційна модель машини постійного струму

На рисунку 4.2 показана схема віртуальної лабораторної установки, яка забезпечує пуск двигуна постійного струму за допомогою триступінчатого пускового пристрою (блок Motor Starter). На цьому рисунку також показано графіки зміни кутової частоти обертання та електромагнітного моменту двигуна

постійного струму у функції часу, а також динамічна механічна характеристика машини, яку побудовано за допомогою блоку XY-Graph. У прикладі, який розглядаємо, момент опору руху ротора двигуна постійного струму залежить від кутової частоти його обертання та задається коефіцієнтом підсилення підсилювача Gain.

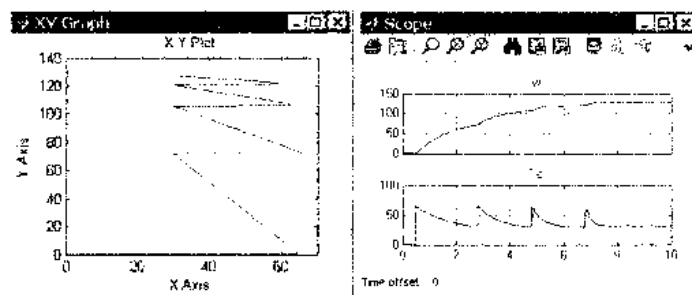
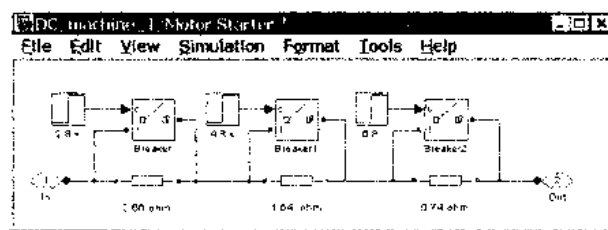
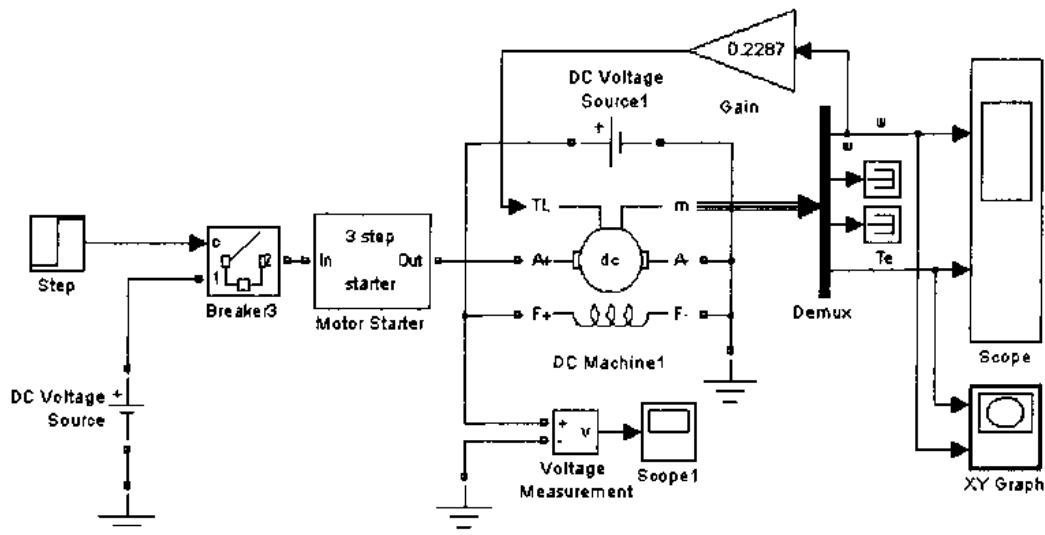


Рисунок 4.2 – Віртуальна лабораторна установка для досліджень машини постійного струму

4.2 Підготовка параметрів імітаційної моделі

Параметри машини постійного струму задаються викладачем для окремої бригади студентів. При підготовці віртуальної лабораторної установки параметри моделювання задаються на вкладці Simulation Parameters/Solver. У полі Stop

time задається час в секундах, який дорівнює 10 ... 20 періодам напруги джерела живлення машини. У полі Type задається змінний крок інтегрування (Variable-step) та метод розв'язування диференціальних рівнянь - ode 23 tb (stiff/TR-BDF2). У полі Max step size встановлюється значення кроку моделювання, це ж значення заноситься у поле Sample time всіх блоків, які це поле мають. У решті полів віртуальної лабораторної установки можна залишити те, що комп'ютер встановлює за замовчуванням. Результати моделювання заносяться до таблиці 4.1. За результатами моделювання будуються пускові та механічні характеристики машини постійного струму.

Таблиця 4.1 – Результати моделювання

Тип збудження	R1	R2	R3	T1	T2	T3	M	n
	Om	Om	Om	c	c	c		

4.3 Порядок проведення лабораторної роботи

- 1 Скласти модель віртуальної лабораторної установки.
- 2 Задати параметри елементів імітаційної моделі двигуна постійного струму.
- 3 Дослідити процес пуску двигуна з допомогою триступінчатого пускового пристрою.
- 4 Результати моделювання занести до таблиці 4.1.
- 5 Побудувати пускові та механічні характеристики машини постійного струму.
- 6 Зробити висновки.

Список літератури

- 1 Расчет электрических цепей и электромагнитных полей на ЭВМ// Под ред. Л.В. Данилова и Е.С.Филиппова. – М.: Радио и связь, 1983. – 344 с.
- 2 Сигорский В.П., Петренко А.И. Алгоритмы анализа электронных схем. – М.: Сов. радио, 1976. – 608 с.

З Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в Matlab, SimPowerSystems и Simulink. – С.Пб.: Питер, 2008. – 288 с.