

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

ПЕРЕНАПРУГИ ТА ЇХ ОБМЕЖЕННЯ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ КОМП'ЮТЕРНИЙ ПРАКТИКУМ

Навчальний посібник

Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра
за освітньою програмою «Електротехнічні пристрої та електротехнологічні комплекси»
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Укладачі: Є. О. Троценко, Ю. В. Перетятко

Електронне мережне навчальне видання

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2022

Рецензент

Нестерко А. Б., кандидат технічних наук, доцент

Відповідальний
редактор

Пушкар М. В., кандидат технічних наук, доцент

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
(протокол № 5 від 26.05.2022 р.)*

*за поданням Вченої ради факультету електроенерготехніки та автоматики
(протокол № 9 від 17.05.2022 р.)*

В даному електронному ресурсі викладено методи схемотехнічного моделювання перехідних процесів в електричних мережах, захисту від них, розрахунку напруги, яка відновлюється на контактах вимикачів. Розглянуто однофазні замикання на землю в мережі з ізольованою нейтраллю, мережі з дугогасним реактором та мережі з глухозаземленою нейтраллю. Розглянуто випадки відмови вимикача в одній з фаз в мережі з ізольованою нейтраллю, в мережі з глухозаземленою нейтраллю.

Основну увагу приділено питанням використання програми аналогового і цифрового моделювання електричних та електронних схем Micro-Cap для моделювання перехідних процесів в електричних мережах високої напруги.

Даний електронний ресурс призначений для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, які навчаються на факультеті електроенерготехніки та автоматики за освітньою програмою «Електротехнічні пристрої та електротехнологічні комплекси» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», може бути корисним інженерам, які зайняті проєктуванням та експлуатацією установок високої напруги.

Реєстр. № НП 21/22-455. Обсяг 2,27 авт. арк.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
проспект Перемоги, 37, м. Київ, 03056
<https://kpi.ua>

Свідectво про внесення до Державного реєстру видавців, виготовлювачів
і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 5354 від 25.05.2017 р.

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
Комп'ютерний практикум № 1. Однофазне замикання на землю в мережі з ізольованою нейтраллю.....	5
Комп'ютерний практикум № 2. Однофазне замикання на землю в мережі з дугогасним реактором.....	12
Комп'ютерний практикум № 3. Однофазне замикання на землю в мережі з глухозаземленою нейтраллю.....	15
Комп'ютерний практикум № 4. Обрив фази з заземленням провода в мережі з ізольованою нейтраллю.....	19
Комп'ютерний практикум № 5. Обрив фази з заземленням провода в мережі з дугогасним реактором.....	22
Комп'ютерний практикум № 6. Обрив фази з заземленням провода в мережі з глухозаземленою нейтраллю.....	25
Комп'ютерний практикум № 7. Відмова вимикача в одній з фаз в мережі з ізольованою нейтраллю.....	28
Комп'ютерний практикум № 8. Відмова вимикача в одній з фаз в мережі з дугогасним реактором.....	31
Комп'ютерний практикум № 9. Відмова вимикача в одній з фаз в мережі з глухозаземленою нейтраллю.....	34
ДОДАТОК 1.....	37
ДОДАТОК 2.....	38
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	39

ВСТУП

Дисципліна "Перенапруги та їх обмеження в електричних мережах" складається з одного кредитного модуля та вивчається на четвертому курсі студентами, які здобувають ступінь бакалавра за спеціальністю 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка" та освітньою програмою "Електротехнічні пристрої та електротехнологічні комплекси". Базовими для цієї дисципліни є дисципліни "Загальна фізика", "Теоретичні основи електротехніки", "Електричні системи та мережі", "Електрична частина станцій та підстанцій", "Релейний захист та автоматизація енергосистем".

Основною метою комп'ютерного практикуму до кредитного модуля "Перенапруги та їх обмеження в електричних мережах" є формування у студентів здатностей використовувати програми схемотехнічного моделювання для розрахунку на персональному комп'ютері перенапруг, які виникають в електричних мережах при однофазних замиканнях на землю, а також резонансних перенапруг, які виникають при неповнофазних режимах внаслідок відмови однієї з фаз автоматичного вимикача.

Для виконання завдань до комп'ютерного практикуму студентам необхідно завантажити з офіційного сайту програму Micro-Cap 12.2.0.5 за посиланням <http://www.spectrum-soft.com/download.shtm>. У 2019 році компанія-розробник Spectrum Software оголосила про закриття бізнесу та зробила на своєму сайті усі професійні версії Micro-Cap вільними для безкоштовного завантаження. Micro-Cap це SPICE-подібна програма для аналогового і цифрового моделювання електричних та електронних схем з інтегрованим візуальним редактором. Розроблялася компанією Spectrum Software з 1980 року. Використання програми Micro-Cap є цілком достатнім для створення у студентів ясного уявлення про комутаційні перенапруги, які виникають в електричних мережах.

Комп'ютерний практикум № 1

ОДНОФАЗНЕ ЗАМИКАННЯ НА ЗЕМЛЮ В МЕРЕЖІ З ІЗОЛЬОВАНОЮ НЕЙТРАЛЛЮ

Мета практикуму: схемотехнічне моделювання та аналіз перехідних процесів при однофазному замиканні на землю в мережі з ізолюованою нейтраллю.

Можливості програми Micro-Cap

Програма схемотехнічного моделювання Micro-Cap призначена для аналогового і цифрового моделювання електричних та електронних схем, тому може бути використана для моделювання перехідних процесів в електричних мережах високої напруги (рисунок 1.1).

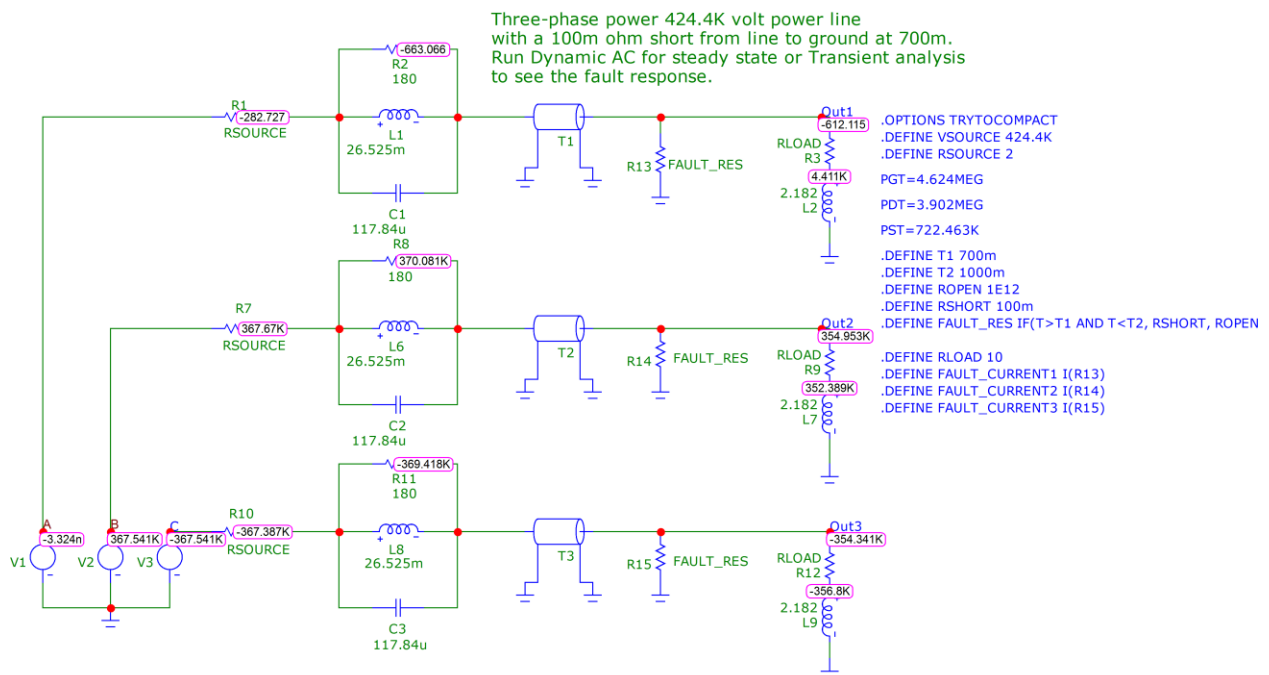


Рисунок 1.1. Моделювання в Micro-Cap короткого замикання на землю в електричній мережі з максимальною напругою 424,4 кВ.

Отримані в результаті моделювання криві перехідного процесу зображено на рисунку 1.2, рисунку 1.3, рисунку 1.4 та рисунку 1.5.

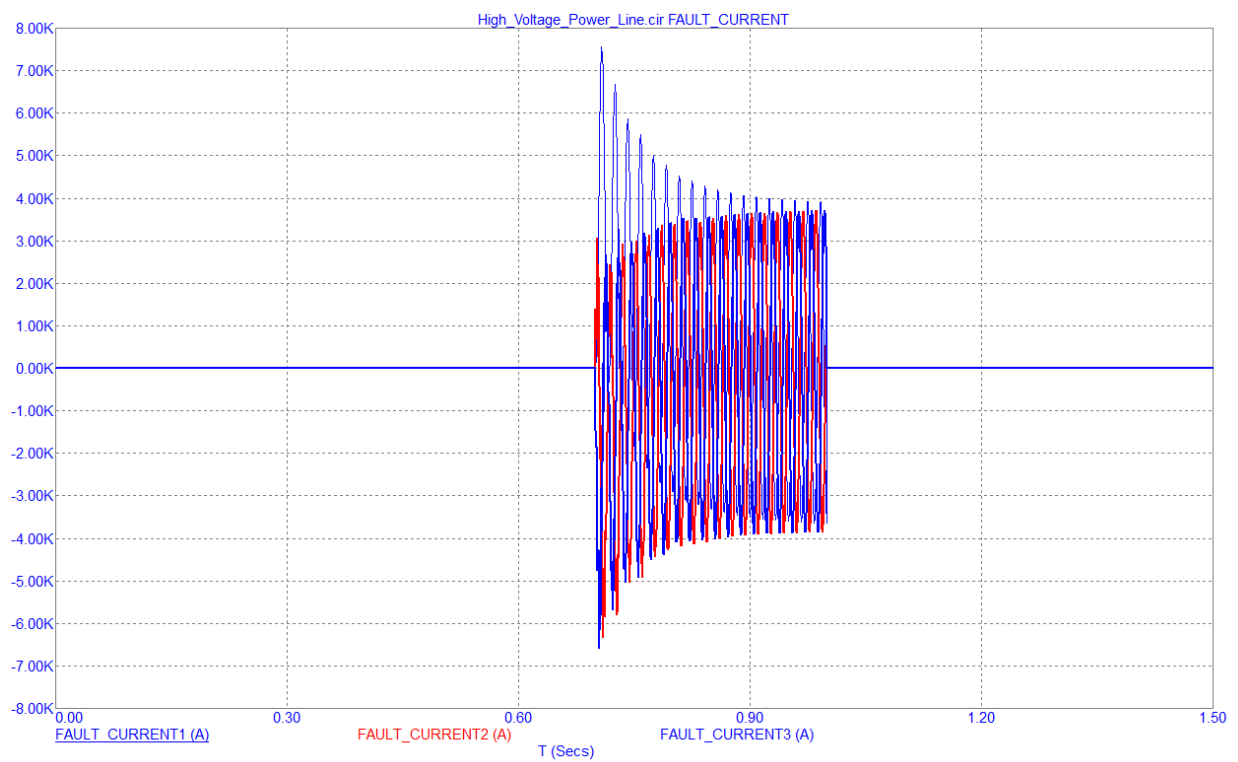


Рисунок 1.2. Струм короткого замикання.

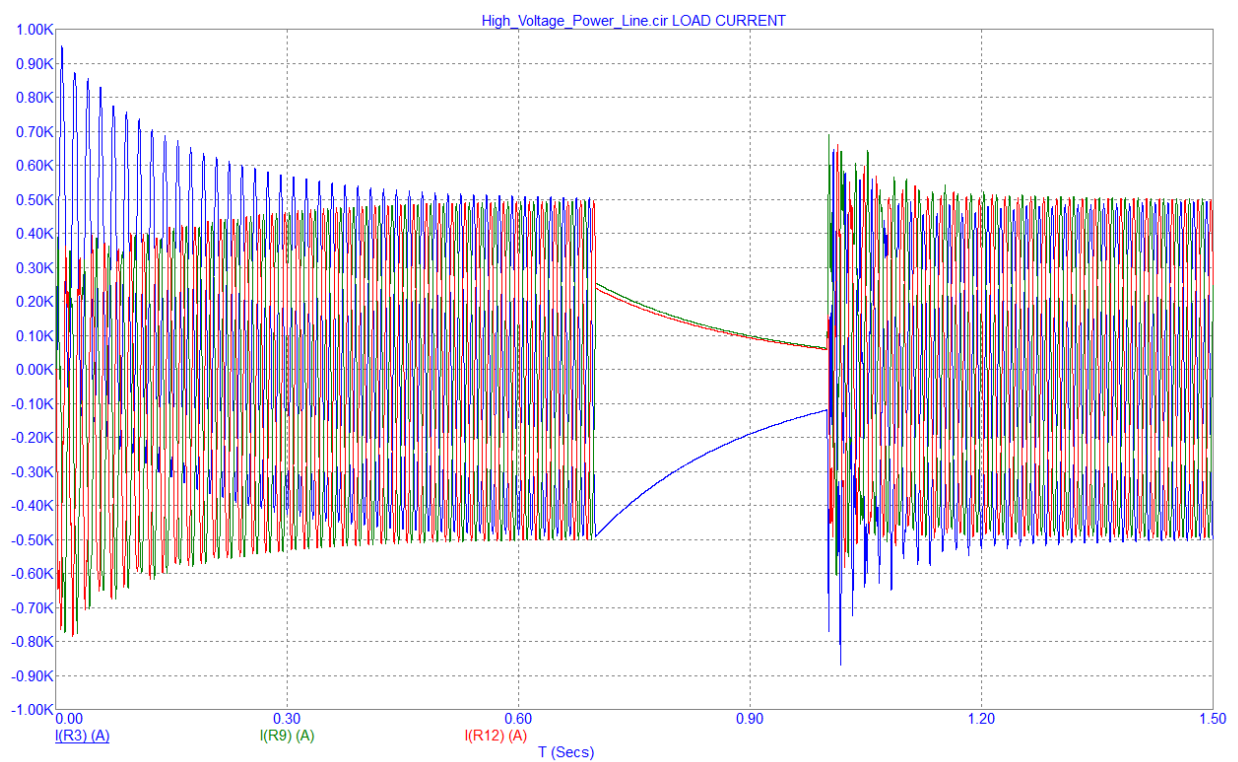


Рисунок 1.3. Струм в навантаженні.

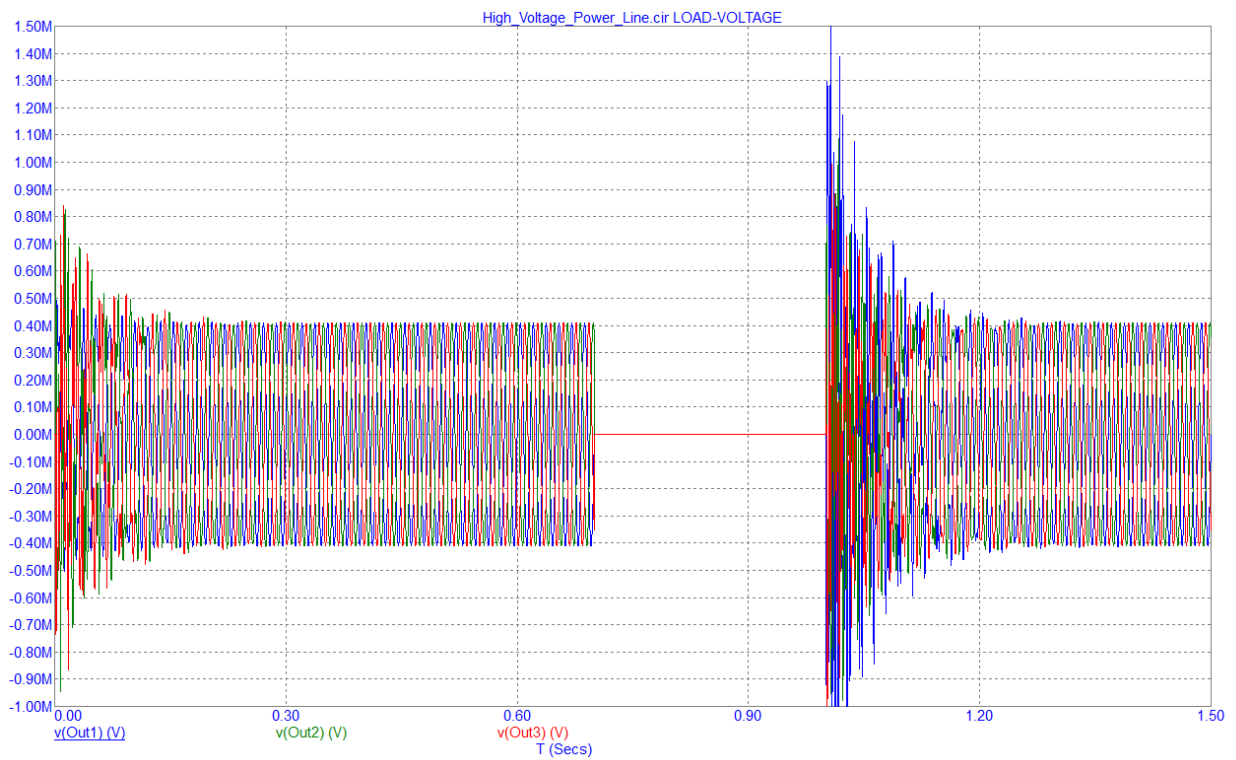


Рисунок 1.4. Напруга на навантаженні.

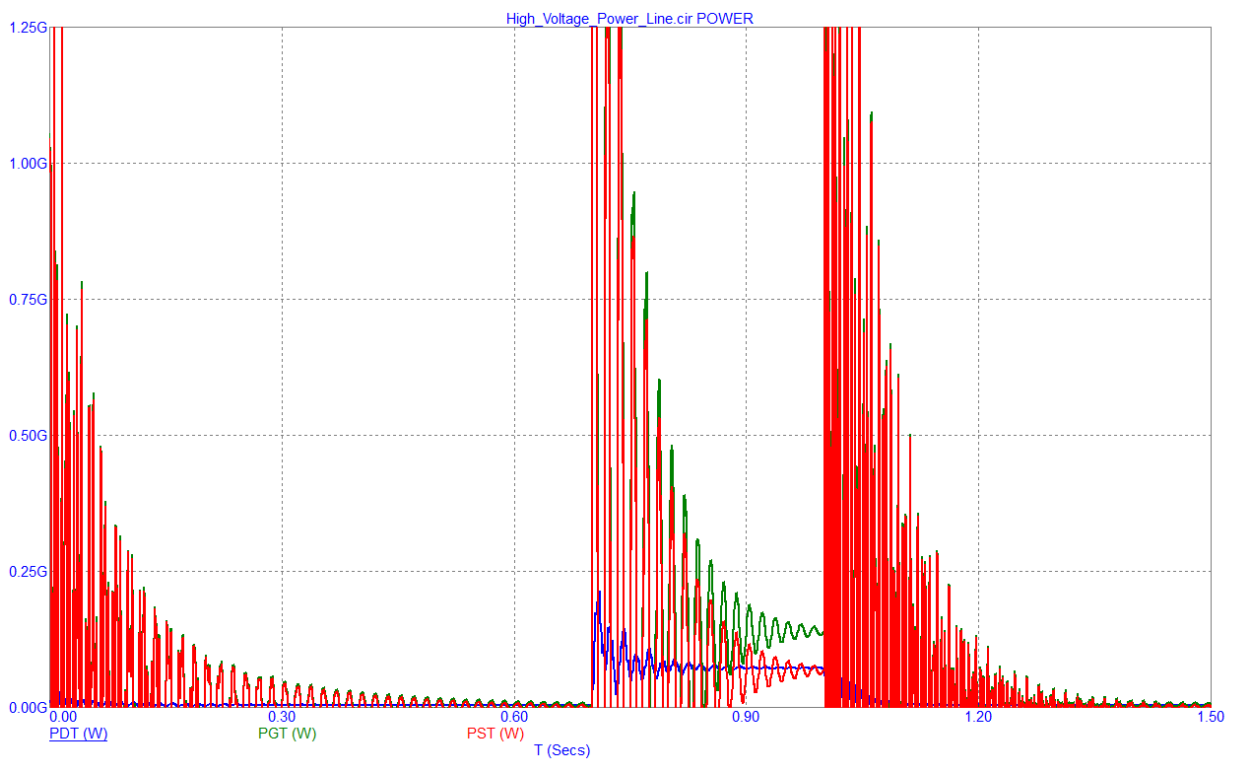


Рисунок 1.5. Потужність, що виділяється в схемі.

Графіки струмів, напруг та потужностей, наведено вище для демонстрації широких можливостей програми Micro-Cap для моделювання

різноманітних перехідних процесів та аварійних режимів у високовольтних електричних мережах. Програма дозволяє аналізувати не лише окремо аналогові або цифрові схеми, а й здійснювати змішане моделювання аналогово-цифрових пристроїв.

Основна схема завдання

Спрощена трифазна схема для моделювання в Мікро-Сар однофазного замикання на землю (без обриву проводу) в мережі з ізолюваною нейтраллю зображена на рисунку 1.6.

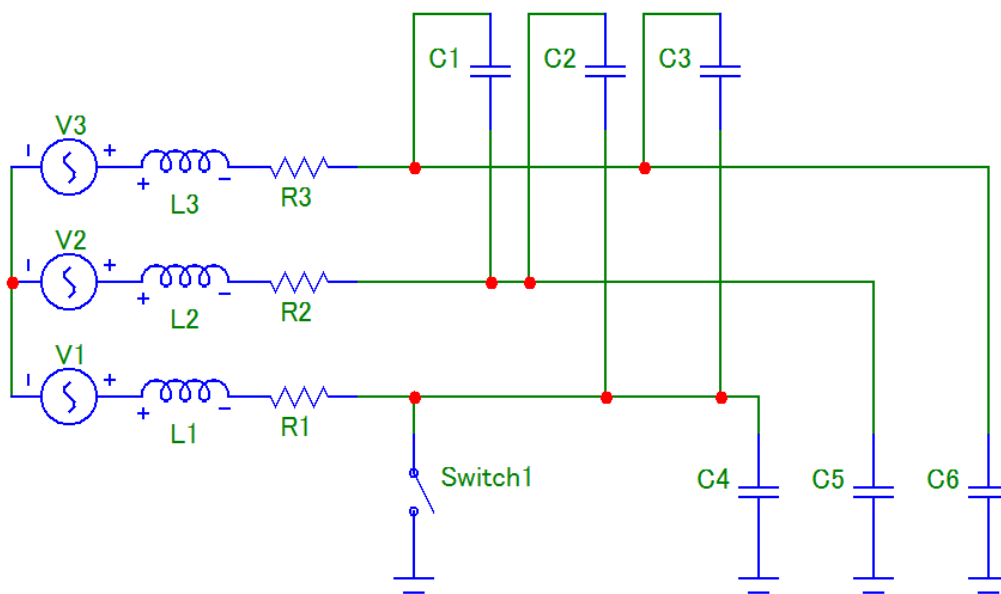


Рисунок 1.6. Моделювання в Мікро-Сар однофазного замикання на землю в мережі з ізолюваною нейтраллю.

На рисунку 1.1 V1, V2, V3 – джерело трифазної напруги; L1, L2, L3 – індуктивності джерела; R1, R2, R3 – активний опір джерела; C1, C2, C3 – міжфазні ємності; C4, C5, C6 – ємності фаз на землю; Switch1 – анімаційний ключ для моделювання замикання на землю.

Завдання до виконання комп'ютерного практикуму

1. Відповідно до свого варіанту завдання (таблиця 1.1) виконати моделювання трифазної схеми заміщення мережі з ізольованою нейтраллю при однофазному замиканні на землю (рисунок 1.6).
2. В режимі аналізу перехідних процесів ("Transient...") побудувати графіки напруг та струмів в трифазній схемі заміщення.
3. Самостійно визначити вигляд та розрахувати параметри еквівалентної однофазної схеми заміщення мережі з ізольованою нейтраллю при однофазному замиканні на землю та виконати її моделювання.
4. В режимі аналізу перехідних процесів ("Transient...") побудувати графіки напруг та струмів в однофазній схемі заміщення.
5. Порівняти між собою графіки напруг та струмів, отримані в пунктах 2 та 4 і зробити висновок про правильність параметрів еквівалентної однофазної схеми заміщення.
6. Результати, отримані після виконання кожного пункту завдання заносити в протокол комп'ютерного практикуму (знімок активного вікна за допомогою клавіші "Print Screen").
7. Зробити висновок про значення напруг та струмів при однофазному замиканні на землю (без обриву проводу) в мережі з ізольованою нейтраллю.

Таблиця 1.1

Варіанти завдань до комп'ютерного практикуму № 1

№	Номінальна напруга мережі, кВ	L1-L3, Гн	R1-R3, Ом	C1-C3, мкФ	C4-C6, мкФ
1	3	0,21	12	0,0106	0,31
2	3	0,22	12	0,0105	0,32
3	3	0,23	12	0,0104	0,33
4	3	0,24	14	0,0103	0,34
5	3	0,25	14	0,0102	0,35

Таблиця 1.1

(продовження)

№	Номінальна напруга мережі, кВ	L1-L3, Гн	R1-R3, Ом	C1-C3, мкФ	C4-C6, мкФ
6	3	0,26	14	0,0101	0,36
7	6	0,31	16	0,0108	0,46
8	6	0,32	16	0,0107	0,45
9	6	0,33	16	0,0106	0,44
10	6	0,34	18	0,0105	0,43
11	6	0,35	18	0,0104	0,42
12	6	0,36	18	0,0103	0,41
13	10	0,41	20	0,0120	0,23
14	10	0,42	20	0,0130	0,24
15	10	0,43	20	0,0140	0,25
16	10	0,44	21	0,0150	0,26
17	10	0,45	21	0,0162	0,27
18	10	0,46	21	0,0170	0,28
19	20	0,51	23	0,0180	0,32
20	20	0,52	23	0,0192	0,33
21	20	0,53	23	0,0208	0,34
22	20	0,54	24	0,0210	0,35
23	20	0,55	24	0,0220	0,36
24	20	0,56	24	0,0230	0,37
25	35	0,71	26	0,0201	0,52
26	35	0,72	26	0,0202	0,53
27	35	0,73	26	0,0203	0,54
28	35	0,74	28	0,0204	0,55
29	35	0,75	28	0,0205	0,56
30	35	0,76	28	0,0206	0,57

Контрольні запитання

1. Як використовуючи моделі ключів, що керуються часом (Component \ Analog Primitives \ Special Purpose \ Switch) виконати імітацію однофазного замикання на землю в певний момент часу?
2. Як використовуючи моделі ключів, що керуються часом (Component \ Analog Primitives \ Special Purpose \ Switch) виконати імітацію однофазного замикання на землю в певний момент часу з наступною його ліквідацією в інший момент часу?
3. Як використовуючи моделі ключів, що керуються часом (Component \ Analog Primitives \ Special Purpose \ Switch) виконати імітацію двохфазного замикання на землю в певний момент часу?
4. Дайте визначення таким поняттям, як режим роботи системи, параметри системи, параметри режима, усталений режим, перехідний процес, післяаварійний усталений режим.
5. Яка ймовірність коротких замикань в електричних мережах 6-20 кВ і які існують види коротких замикань?

Комп'ютерний практикум № 2

ОДНОФАЗНЕ ЗАМИКАННЯ НА ЗЕМЛЮ В МЕРЕЖІ З ДУГОГАСНИМ РЕАКТОРОМ

Мета практикуму: схемотехнічне моделювання та аналіз перехідних процесів при однофазному замиканні на землю в мережі з дугогасним реактором.

Основна схема завдання

Спрощена трифазна схема для моделювання в Мікро-Сар однофазного замикання на землю (без обриву проводу) в мережі з дугогасним реактором зображена на рисунку 2.1.

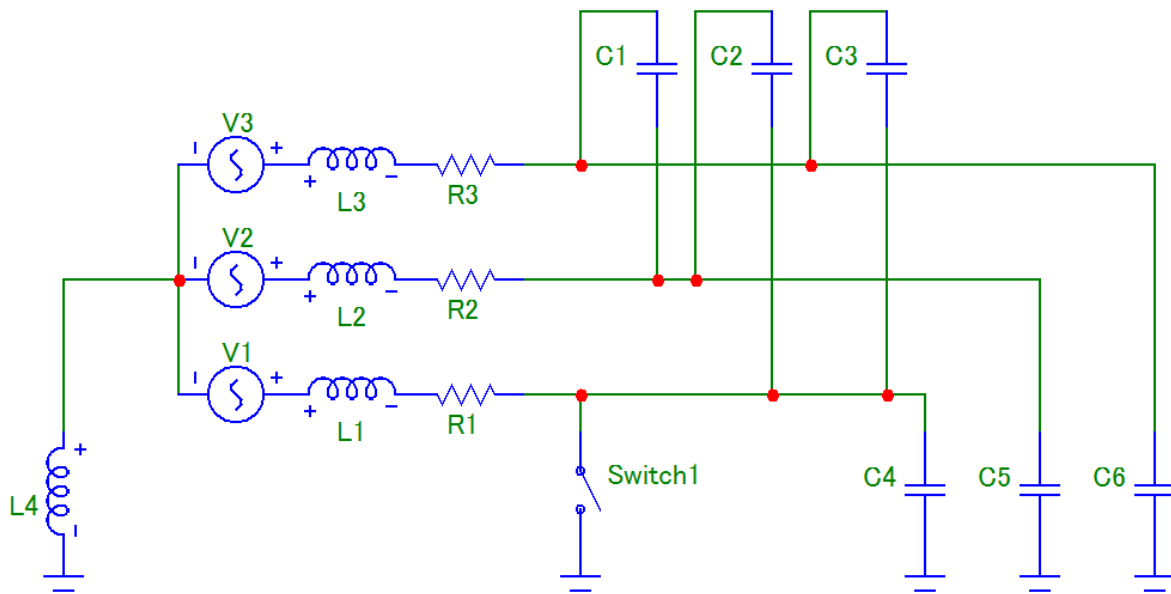


Рисунок 2.1. Моделювання в Мікро-Сар однофазного замикання на землю в мережі з з дугогасним реактором.

На рисунку 2.1 V1, V2, V3 – джерело трифазної напруги; L1, L2, L3 – індуктивності джерела; L4 – індуктивність дугогасного реактора; R1, R2, R3 – активний опір джерела; C1, C2, C3 – міжфазні ємності; C4, C5, C6 – ємності фаз на землю; Switch1 – анімаційний ключ для моделювання замикання на землю.

Завдання до виконання комп'ютерного практикуму

1. Відповідно до свого варіанту завдання (використати дані таблиці 1.1) виконати моделювання трифазної схеми заміщення мережі з дугогасним реактором при однофазному замиканні на землю (рисунок 2.1). Розрахувати значення індуктивності L_4 так, щоб вона забезпечувала компенсацію ємнісного струму короткого замикання.
2. В режимі аналізу перехідних процесів ("Transient...") побудувати графіки напруг та струмів в трифазній схемі заміщення.
3. Самостійно визначити вигляд та розрахувати параметри еквівалентної однофазної схеми заміщення мережі з дугогасним реактором при однофазному замиканні на землю та виконати її моделювання.
4. В режимі аналізу перехідних процесів ("Transient...") побудувати графіки напруг та струмів в однофазній схемі заміщення.
5. Порівняти між собою графіки напруг та струмів, отримані в пунктах 2 та 4 і зробити висновок про правильність параметрів еквівалентної однофазної схеми заміщення.
6. Результати, отримані після виконання кожного пункту завдання заносити в протокол комп'ютерного практикуму (знімок активного вікна за допомогою клавіші "Print Screen").
7. Зробити висновок про значення напруг та струмів при однофазному замиканні на землю (без обриву проводу) в мережі з дугогасним реактором.

Контрольні запитання

1. Чим відрізняються режими аналізу перехідних процесів "Transient..." та "Probe Transient..."?
2. Як використовуючи моделі ключів, що керуються часом (Component \ Analog Primitives \ Special Purpose \ Switch) виконати імітацію міжфазного замикання в певний момент часу?

3. Як використовуючи моделі ключів, що керуються часом (Component \ Analog Primitives \ Special Purpose \ Switch) виконати імітацію міжфазного замикання в певний момент часу з наступною його ліквідацією в інший момент часу?

4. Перерахуйте найбільш поширені причини виникнення коротких замикань.

5. Яка ймовірність коротких замикань в електричних мережах 35 кВ і які існують види коротких замикань?

Комп'ютерний практикум № 3

ОДНОФАЗНЕ ЗАМИКАННЯ НА ЗЕМЛЮ В МЕРЕЖІ З ГЛУХОЗАЗЕМЛЕНОЮ НЕЙТРАЛЛЮ

Мета практикуму: схемотехнічне моделювання та аналіз перехідних процесів при однофазному замиканні на землю в мережі з глухозаземленою нейтраллю.

Основна схема завдання

Спрощена трифазна схема для моделювання в Мікро-Сар однофазного замикання на землю (без обриву проводу) в мережі з глухозаземленою нейтраллю зображена на рисунку 3.1.

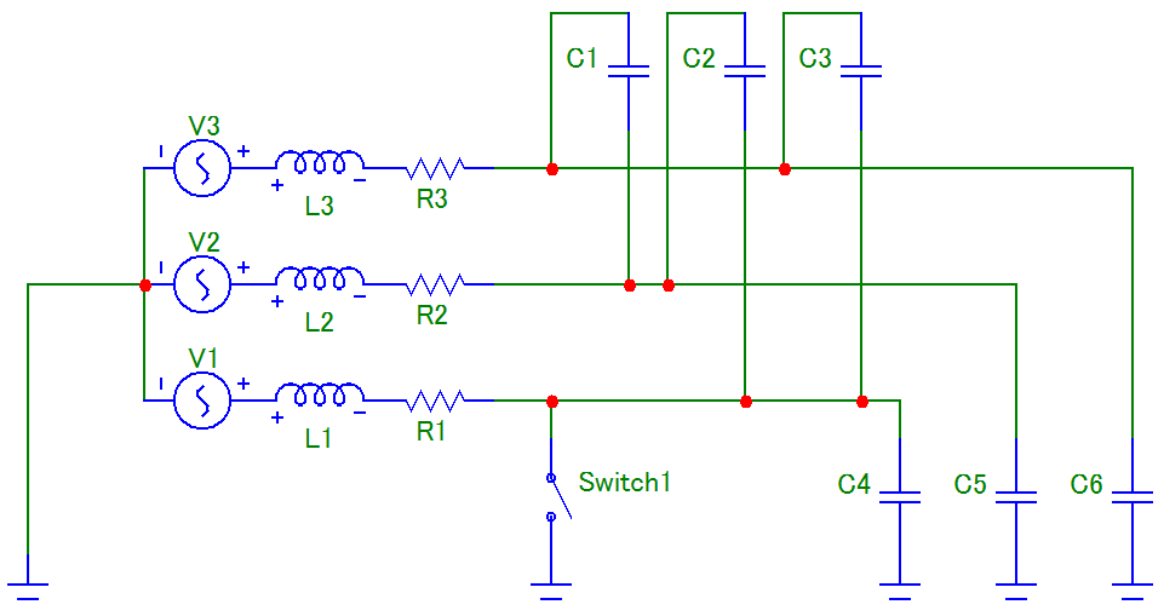


Рисунок 3.1. Моделювання в Мікро-Сар однофазного замикання на землю в мережі з глухозаземленою нейтраллю.

На рисунку 3.1 V1, V2, V3 – джерело трифазної напруги; L1, L2, L3 – індуктивності джерела; R1, R2, R3 – активний опір джерела; C1, C2, C3 – міжфазні ємності; C4, C5, C6 – ємності фаз на землю; Switch1 – анімаційний ключ для моделювання замикання на землю.

Завдання до виконання комп'ютерного практикуму

1. Відповідно до свого варіанту завдання (таблиця 3.1) виконати моделювання трифазної схеми заміщення мережі з глухозаземленою нейтраллю при однофазному замиканні на землю (рисунок 3.1).
2. В режимі аналізу перехідних процесів ("Transient...") побудувати графіки напруг та струмів в трифазній схемі заміщення.
3. Самостійно визначити вигляд та розрахувати параметри еквівалентної однофазної схеми заміщення мережі з глухозаземленою нейтраллю при однофазному замиканні на землю та виконати її моделювання.
4. В режимі аналізу перехідних процесів ("Transient...") побудувати графіки напруг та струмів в однофазній схемі заміщення.
5. Порівняти між собою графіки напруг та струмів, отримані в пунктах 2 та 4 і зробити висновок про правильність параметрів еквівалентної однофазної схеми заміщення.
6. Результати, отримані після виконання кожного пункту завдання заносити в протокол комп'ютерного практикуму (знімок активного вікна за допомогою клавіші "Print Screen").
7. Зробити висновок про значення напруг та струмів при однофазному замиканні на землю в мережі з глухозаземленою нейтраллю.

Таблиця 3.1

Варіанти завдань до комп'ютерного практикуму № 3

№	Номінальна напруга мережі, кВ	L1-L3, Гн	R1-R3, Ом	C1-C3, мкФ	C4-C6, мкФ
1	110	0,51	22	0,016	0,41
2	110	0,52	22	0,015	0,42
3	110	0,53	22	0,014	0,43
4	110	0,54	24	0,013	0,44
5	110	0,55	24	0,012	0,45

Таблиця 1.1

(продовження)

№	Номинальна напруга мережі, кВ	L1-L3, Гн	R1-R3, Ом	C1-C3, мкФ	C4-C6, мкФ
6	110	0,56	24	0,011	0,46
7	150	0,61	26	0,018	0,56
8	150	0,62	26	0,017	0,55
9	150	0,63	26	0,016	0,54
10	150	0,64	28	0,015	0,53
11	150	0,65	28	0,014	0,52
12	150	0,68	28	0,013	0,51
13	220	0,71	32	0,021	0,53
14	220	0,72	32	0,022	0,54
15	220	0,73	32	0,023	0,55
16	220	0,74	36	0,024	0,56
17	220	0,75	36	0,025	0,57
18	220	0,76	36	0,026	0,58
19	330	0,81	43	0,027	0,62
20	330	0,82	43	0,028	0,63
21	330	0,83	43	0,029	0,64
22	330	0,84	44	0,030	0,65
23	330	0,85	44	0,031	0,66
24	330	0,86	44	0,032	0,67
25	500	0,91	46	0,033	0,72
26	500	0,92	46	0,034	0,73
27	500	0,93	46	0,035	0,74
28	500	0,94	54	0,036	0,75
29	500	0,95	54	0,037	0,76
30	500	0,96	54	0,038	0,78

Контрольні запитання

1. Перерахуйте переваги та недоліки мереж з ізольованою нейтраллю.
2. Перерахуйте переваги та недоліки мереж з дугогасним реактором в нейтралі.
3. Перерахуйте переваги та недоліки мереж з глухозаземленою нейтраллю.
4. Перерахуйте переваги та недоліки мереж з заземленням нейтралі через резистор.
5. Яка ймовірність коротких замикань в електричних мережах 110, 220, 330, 500 та 750 кВ?

Комп'ютерний практикум № 4

ОБРИВ ФАЗИ З ЗАЗЕМЛЕННЯМ ПРОВОДА В МЕРЕЖІ З ІЗОЛЬОВАНОЮ НЕЙТРАЛЛЮ

Мета практикуму: схемотехнічне моделювання та аналіз перехідних процесів при обриві фази з заземленням провода в мережі з ізолюованою нейтраллю.

Основна схема завдання

Спрощена трифазна схема для моделювання в Мікро-Сар обриву фази з заземленням провода в мережі з ізолюованою нейтраллю зображена на рисунку 4.1.

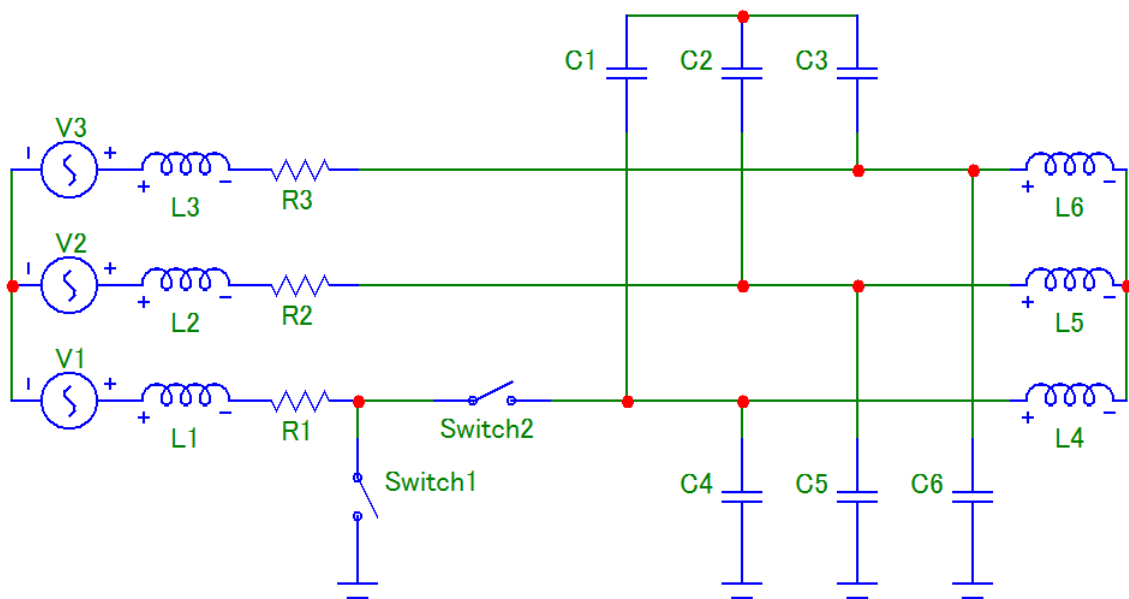


Рисунок 4.1. Моделювання в Мікро-Сар обриву фази з заземленням провода в мережі з ізолюованою нейтраллю.

На рисунку 4.1 V1, V2, V3 – джерело трифазної напруги; L1, L2, L3 – індуктивності джерела; R1, R2, R3 – активний опір джерела; C1, C2, C3 – "зірка" міжфазних ємностей; C4, C5, C6 – ємності фаз на землю; L4, L5, L6 – індуктивності трансформатора в кінці лінії; Switch1, Switch2 – анімаційні ключі для моделювання обриву фази з заземленням.

Завдання до виконання комп'ютерного практикуму

1. Відповідно до свого варіанту завдання (використати дані таблиці 1.1) виконати моделювання трифазної схеми заміщення мережі з ізольованою нейтраллю при обриві фази з заземленням провода (рисунок 4.1). Значення індуктивностей L_4 , L_5 , L_6 наведено в таблиці 4.1.
2. В режимі аналізу перехідних процесів ("Transient...") побудувати графіки напруг та струмів в трифазній схемі заміщення.
3. Самостійно визначити вигляд та розрахувати параметри еквівалентної однофазної схеми заміщення мережі з ізольованою нейтраллю при обриві фази з заземленням провода та виконати її моделювання.
4. В режимі аналізу перехідних процесів ("Transient...") побудувати графіки напруг та струмів в однофазній схемі заміщення.
5. Порівняти між собою графіки напруг та струмів, отримані в пунктах 2 та 4 і зробити висновок про правильність параметрів еквівалентної однофазної схеми заміщення.
6. Результати, отримані після виконання кожного пункту завдання заносити в протокол комп'ютерного практикуму (знімок активного вікна за допомогою клавіші "Print Screen").
7. Зробити висновок про значення напруг та струмів при обриві фази з заземленням провода в мережі з ізольованою нейтраллю.

Таблиця 4.1

Варіанти завдань до комп'ютерного практикуму № 4

№	L_4 - L_6 , Гн	№	L_4 - L_6 , Гн	№	L_4 - L_6 , Гн
1	0,42	6	0,43	11	0,47
2	0,42	7	0,45	12	0,47
3	0,42	8	0,45	13	0,49
4	0,43	9	0,45	14	0,49
5	0,43	10	0,47	15	0,49

Таблиця 4.1

(продовження)

№	L4-L6, Гн	№	L4-L6, Гн	№	L4-L6, Гн
16	0,52	21	0,56	26	0,58
17	0,52	22	0,57	27	0,58
18	0,52	23	0,57	28	0,63
19	0,56	24	0,57	29	0,63
20	0,56	25	0,58	30	0,63

Контрольні запитання

1. Як використовуючи моделі ключів, що керуються часом (Component \ Analog Primitives \ Special Purpose \ Switch) виконати імітацію обриву фази з заземленням провода в певний момент часу?
2. Як використовуючи моделі ключів, що керуються часом (Component \ Analog Primitives \ Special Purpose \ Switch) виконати імітацію обриву двох фаз з заземленням проводів в певний момент часу?
3. Як використовуючи модель трансформатора (Component \ Analog Primitives \ Passive Components \ Transformer) виконати моделювання в схемі на рисунку 4.1 трифазного трансформатора з вторинною обмоткою з'єднаною "трикутником"?
4. Як використовуючи модель трансформатора (Component \ Analog Primitives \ Passive Components \ Transformer) виконати моделювання в схемі на рисунку 4.1 трифазного трансформатора з вторинною обмоткою з'єднаною "зіркою"?
5. Що може викликати обрив фази з заземленням провода в реальних електричних мережах?

Комп'ютерний практикум № 5

ОБРИВ ФАЗИ З ЗАЗЕМЛЕННЯМ ПРОВОДА В МЕРЕЖІ З ДУГОГАСНИМ РЕАКТОРОМ

Мета практикуму: схемотехнічне моделювання та аналіз перехідних процесів при обриві фази з заземленням провода в мережі з дугогасним реактором.

Основна схема завдання

Спрощена трифазна схема для моделювання в Мікро-Сар обриву фази з заземленням провода в мережі з дугогасним реактором зображена на рисунку 5.1.

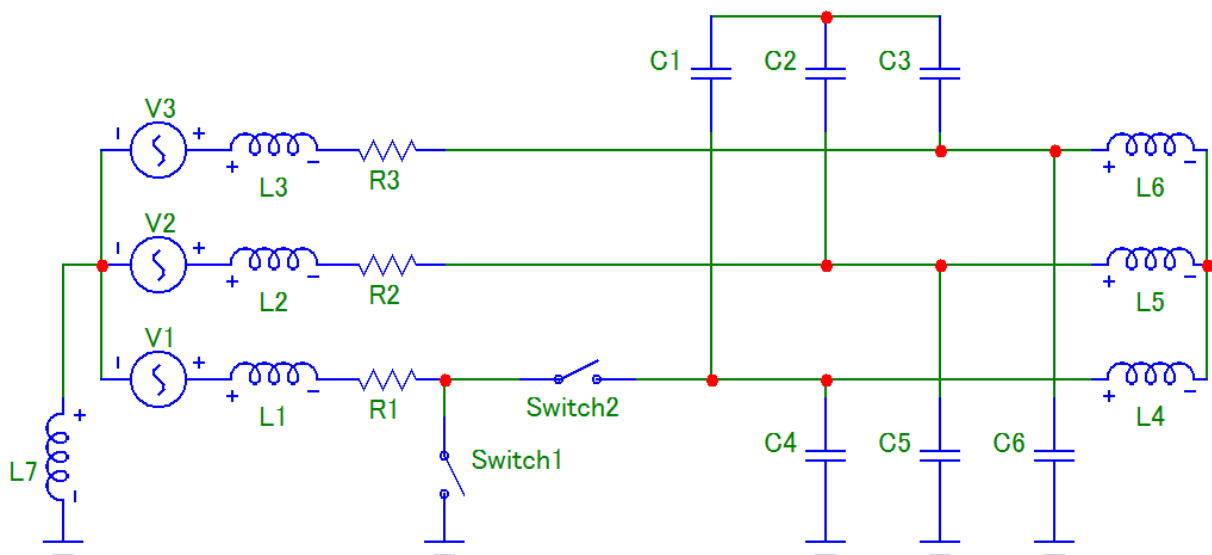


Рисунок 5.1. Моделювання в Мікро-Сар обриву фази з заземленням провода в мережі з дугогасним реактором.

На рисунку 5.1 V1, V2, V3 – джерело трифазної напруги; L1, L2, L3 – індуктивності джерела; R1, R2, R3 – активний опір джерела; C1, C2, C3 – "зірка" міжфазних ємностей; C4, C5, C6 – ємності фаз на землю; L4, L5, L6 – індуктивності трансформатора в кінці лінії; L7 – індуктивність дугогасного реактора; Switch1, Switch2 – анімаційні ключі для моделювання обриву фази з заземленням.

Завдання до виконання комп'ютерного практикуму

1. Відповідно до свого варіанту завдання (використати дані таблиці 1.1) виконати моделювання трифазної схеми заміщення мережі з дугогасним реактором в нейтралі при обриві фази з заземленням провода (рисунок 5.1). Значення індуктивностей L_4 , L_5 , L_6 наведено в таблиці 4.1. Розрахувати значення індуктивності L_7 так, щоб дугогасний реактор працював в режимі недокомпенсації для непарного варіанту і в режимі перекомпенсації для парного варіанту.
2. В режимі аналізу перехідних процесів ("Transient...") побудувати графіки напруг та струмів в трифазній схемі заміщення.
3. Самостійно визначити вигляд та розрахувати параметри еквівалентної однофазної схеми заміщення мережі з дугогасним реактором в нейтралі при обриві фази з заземленням провода та виконати її моделювання.
4. В режимі аналізу перехідних процесів ("Transient...") побудувати графіки напруг та струмів в однофазній схемі заміщення.
5. Порівняти між собою графіки напруг та струмів, отримані в пунктах 2 та 4 і зробити висновок про правильність параметрів еквівалентної однофазної схеми заміщення.
6. Результати, отримані після виконання кожного пункту завдання заносити в протокол комп'ютерного практикуму (знімок активного вікна за допомогою клавіші "Print Screen").
7. Зробити висновок про значення напруг та струмів при обриві фази з заземленням провода в мережі дугогасним реактором в нейтралі.

Контрольні запитання

1. Як використовуючи модель трансформатора (Component \ Analog Primitives \ Passive Components \ Transformer) виконати моделювання в схемі на рисунку 5.1 трифазного трансформатора з обмоткою високої напруги, з'єднаною "зіркою", обмоткою середньої напруги, з'єднаною "трикутником", обмоткою низької напруги, з'єднаною "зіркою"?

2. Як використовуючи модель трансформатора (Component \ Analog Primitives \ Passive Components \ Transformer) виконати моделювання в схемі на рисунку 5.1 трифазного трансформатора з обмоткою високої напруги, з'єднаною "трикутником", обмоткою середньої напруги, з'єднаною "зіркою", обмоткою низької напруги, з'єднаною "трикутником"?

3. Як використовуючи модель трансформатора (Component \ Analog Primitives \ Passive Components \ Transformer) виконати моделювання в схемі на рисунку 5.1 трифазного трансформатора з обмоткою високої напруги, з'єднаною "трикутником", обмоткою середньої напруги, з'єднаною "трикутником", обмоткою низької напруги, з'єднаною "зіркою"?

4. Як використовуючи моделі ключів, що керуються часом (Component \ Analog Primitives \ Special Purpose \ Switch) виконати імітацію втрати навантаження в певний момент часу?

5. Чому при аналізі комутаційних перенапруг доцільно використовувати еквівалентні однофазні схеми заміщення?

Комп'ютерний практикум № 6

ОБРИВ ФАЗИ З ЗАЗЕМЛЕННЯМ ПРОВОДА В МЕРЕЖІ З ГЛУХОЗАЗЕМЛЕНОЮ НЕЙТРАЛЛЮ

Мета практикуму: схемотехнічне моделювання та аналіз перехідних процесів при обриві фази з заземленням провода в мережі з глухозаземленою нейтраллю.

Основна схема завдання

Спрощена трифазна схема для моделювання в Мікро-Сар обриву фази з заземленням провода в мережі з глухозаземленою нейтраллю зображена на рисунку 6.1.

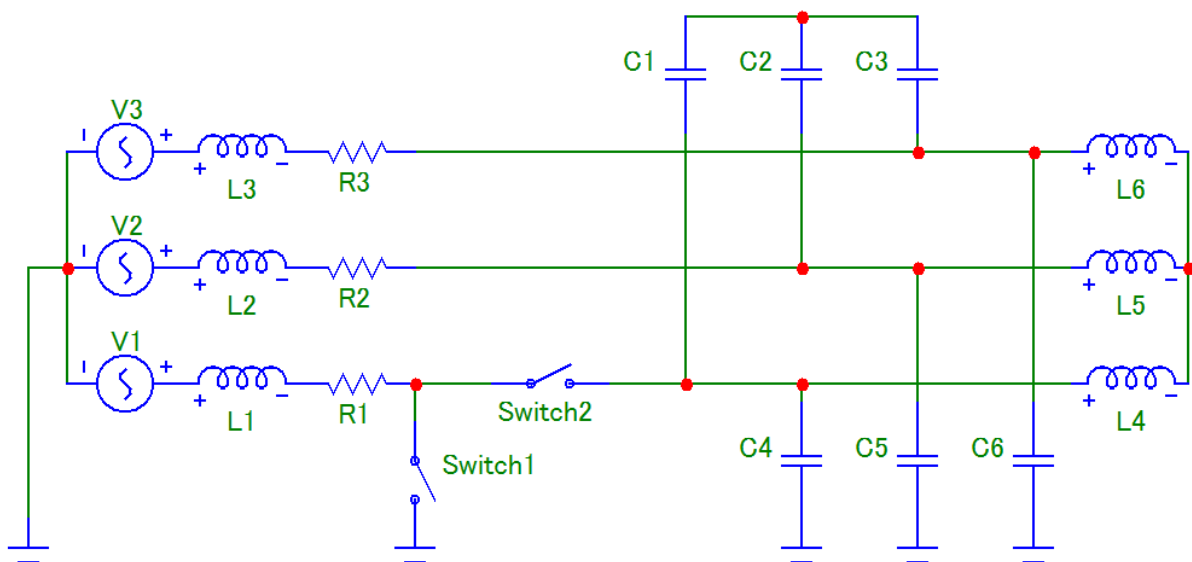


Рисунок 6.1. Моделювання в Мікро-Сар обриву фази з заземленням провода в мережі з глухозаземленою нейтраллю.

На рисунку 6.1 V1, V2, V3 – джерело трифазної напруги; L1, L2, L3 – індуктивності джерела; R1, R2, R3 – активний опір джерела; C1, C2, C3 – "зірка" міжфазних ємностей; C4, C5, C6 – ємності фаз на землю; L4, L5, L6 – індуктивності трансформатора в кінці лінії; Switch1, Switch2 – анімаційні ключі для моделювання обриву фази з заземленням.

Завдання до виконання комп'ютерного практикуму

1. Відповідно до свого варіанту завдання (використати дані таблиці 3.1) виконати моделювання трифазної схеми заміщення мережі з глухозаземленою нейтраллю при обриві фази з заземленням провода (рисунок 6.1). Значення індуктивностей L_4 , L_5 , L_6 наведено в таблиці 4.1.
2. В режимі аналізу перехідних процесів ("Transient...") побудувати графіки напруг та струмів в трифазній схемі заміщення.
3. Самостійно визначити вигляд та розрахувати параметри еквівалентної однофазної схеми заміщення мережі з глухозаземленою нейтраллю при обриві фази з заземленням провода та виконати її моделювання.
4. В режимі аналізу перехідних процесів ("Transient...") побудувати графіки напруг та струмів в однофазній схемі заміщення.
5. Порівняти між собою графіки напруг та струмів, отримані в пунктах 2 та 4 і зробити висновок про правильність параметрів еквівалентної однофазної схеми заміщення.
6. Результати, отримані після виконання кожного пункту завдання заносити в протокол комп'ютерного практикуму (знімок активного вікна за допомогою клавіші "Print Screen").
7. Зробити висновок про значення напруг та струмів при обриві фази з заземленням провода в мережі глухозаземленою нейтраллю.

Контрольні запитання

1. Як використовуючи модель трансформатора (Component \ Analog Primitives \ Macros \ Ideal_Trans3) виконати моделювання в схемі на рисунку 6.1 трифазного трансформатора з обмоткою високої напруги, з'єднаною "зіркою", обмоткою середньої напруги, з'єднаною "трикутником", обмоткою низької напруги, з'єднаною "зіркою"?

2. Як використовуючи модель трансформатора (Component \ Analog Primitives \ Macros \ Ideal_Trans3) виконати моделювання в схемі на рисунку 6.1 трифазного трансформатора з обмоткою високої напруги, з'єднаною "трикутником", обмоткою середньої напруги, з'єднаною "зіркою", обмоткою низької напруги, з'єднаною "трикутником"?

3. Як використовуючи модель трансформатора (Component \ Analog Primitives \ Macros \ Ideal_Trans3) виконати моделювання в схемі на рисунку 5.1 трифазного трансформатора з обмоткою високої напруги, з'єднаною "трикутником", обмоткою середньої напруги, з'єднаною "трикутником", обмоткою низької напруги, з'єднаною "зіркою"?

4. Як використовуючи моделі ключів, що керуються часом (Component \ Analog Primitives \ Special Purpose \ Switch) виконати імітацію обриву нейтралі в схемі на рисунку 6.1 в певний момент часу?

5. Як використовуючи джерело струму (Component \ Analog Primitives \ Function Sources \ NFI) замінити в однофазній схемі заміщення з даного комп'ютерного практикуму джерело напруги еквівалентним джерелом струму?

Комп'ютерний практикум № 7
ВІДМОВА ВИМИКАЧА В ОДНІЙ З ФАЗ В МЕРЕЖІ З
ІЗОЛЬОВАНОЮ НЕЙТРАЛЛЮ

Мета практикуму: схемотехнічне моделювання та аналіз перехідних процесів при відмові вимикача в одній з фаз в мережі з ізолюованою нейтраллю.

Основна схема завдання

Спрощена трифазна схема для моделювання в Мікро-Сар відмови вимикача в одній з фаз в мережі з ізолюованою нейтраллю зображена на рисунку 7.1.

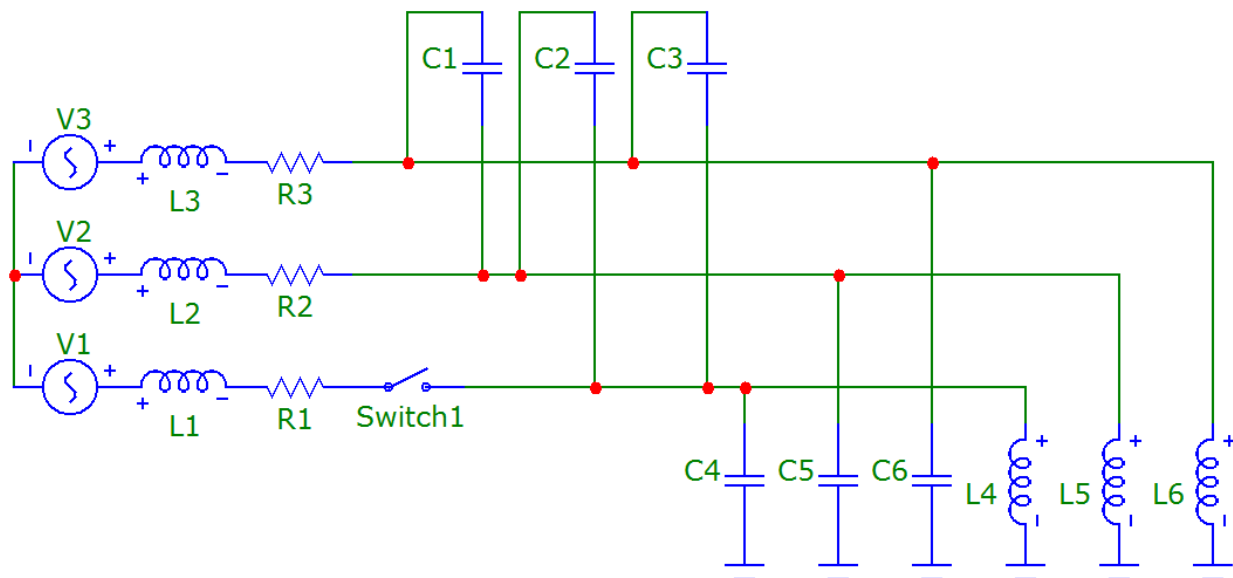


Рисунок 7.1. Моделювання в Мікро-Сар відмови вимикача в одній з фаз в мережі з ізолюованою нейтраллю.

На рисунку 7.1 V1, V2, V3 – джерело трифазної напруги; L1, L2, L3 – індуктивності джерела; R1, R2, R3 – активний опір джерела; C1, C2, C3 – міжфазні ємності; C4, C5, C6 – ємності фаз на землю; L4, L5, L6 – індуктивності реактора в кінці лінії; Switch1 – анімаційний ключ для моделювання відмови вимикача в одній з фаз.

Завдання до виконання комп'ютерного практикуму

1. Відповідно до свого варіанту завдання (використати дані таблиці 1.1) виконати моделювання трифазної схеми заміщення мережі з ізольованою нейтраллю при відмові вимикача в одній з фаз (рисунок 6.1). Значення індуктивностей L_4 , L_5 , L_6 наведено в таблиці 4.1.
2. В режимі аналізу перехідних процесів ("Transient...") побудувати графіки напруг та струмів в трифазній схемі заміщення.
3. Самостійно визначити вигляд та розрахувати параметри еквівалентної однофазної схеми заміщення мережі з ізольованою нейтраллю при відмові вимикача в одній з фаз та виконати її моделювання.
4. В режимі аналізу перехідних процесів ("Transient...") побудувати графіки напруг та струмів в однофазній схемі заміщення.
5. Порівняти між собою графіки напруг та струмів, отримані в пунктах 2 та 4 і зробити висновок про правильність параметрів еквівалентної однофазної схеми заміщення.
6. Результати, отримані після виконання кожного пункту завдання заносити в протокол комп'ютерного практикуму (знімок активного вікна за допомогою клавіші "Print Screen").
7. Зробити висновок про значення напруг та струмів при відмові вимикача в одній з фаз в мережі з ізольованою нейтраллю.

Контрольні запитання

1. Як використовуючи моделі ключа, що керуються часом (Component \ Analog Primitives \ Special Purpose \ Switch) виконати імітацію відмови вимикача в одній з фаз в мережі з ізольованою нейтраллю в певний момент часу?
2. Як використовуючи замість ключа резистор, що задається таблицею своїх значень (tabled resistor) виконати імітацію відмови вимикача в одній з фаз в мережі з ізольованою нейтраллю в певний момент часу?

3. Як використовуючи моделі ключів, що керуються часом (Component \ Analog Primitives \ Special Purpose \ Switch) виконати імітацію послідовної відмови вимикачів в двох фазах в мережі з ізолюваною нейтраллю через певний проміжок часу?

4. Як використовуючи замість ключів резистори, що задаються таблицею своїх значень (tabled resistor) виконати імітацію послідовної відмови вимикачів в двох фазах в мережі з ізолюваною нейтраллю через певний проміжок часу?

5. Чи можливі в схемі на рисунку 7.1 резонансні перенапруги (якщо можливі, то при яких значеннях параметрів схеми)?

Комп'ютерний практикум № 8

ВІДМОВА ВИМИКАЧА В ОДНІЙ З ФАЗ В МЕРЕЖІ З ДУГОГАСНИМ РЕАКТОРОМ

Мета практикуму: схемотехнічне моделювання та аналіз перехідних процесів при відмові вимикача в одній з фаз в мережі з дугогасним реактором.

Основна схема завдання

Спрощена трифазна схема для моделювання в Мікро-Сар відмови вимикача в одній з фаз в мережі з дугогасним реактором зображена на рисунку 8.1.

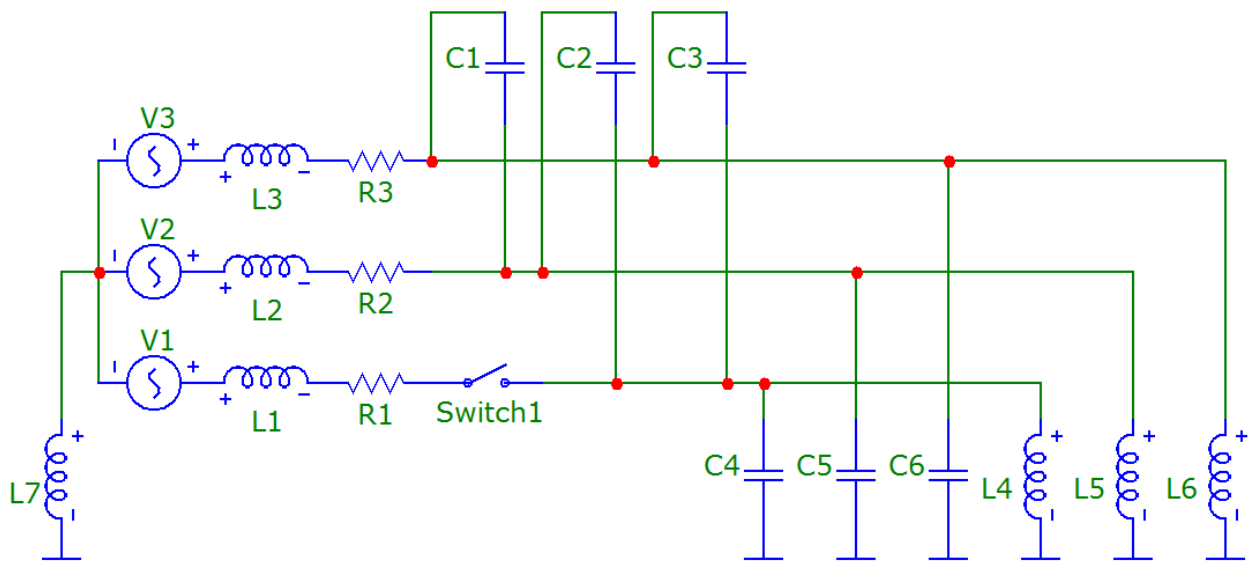


Рисунок 8.1. Моделювання в Мікро-Сар відмови вимикача в одній з фаз в мережі з ізолюваною нейтраллю.

На рисунку 8.1 V1, V2, V3 – джерело трифазної напруги; L1, L2, L3 – індуктивності джерела; R1, R2, R3 – активний опір джерела; C1, C2, C3 – міжфазні ємності; C4, C5, C6 – ємності фаз на землю; L4, L5, L6 – індуктивності реактора в кінці лінії; L7 – індуктивність дугогасного реактора; Switch1 – анімаційний ключ для моделювання відмови вимикача в одній з фаз.

Завдання до виконання комп'ютерного практикуму

1. Відповідно до свого варіанту завдання (використати дані таблиці 1.1) виконати моделювання трифазної схеми заміщення мережі з дугогасним реактором в нейтралі при відмові вимикача в одній з фаз (рисунок 8.1). Значення індуктивностей L_4 , L_5 , L_6 наведено в таблиці 4.1. Розрахувати значення індуктивності L_7 так, щоб дугогасний реактор працював в режимі недокомпенсації для парного варіанту і в режимі перекомпенсації для непарного варіанту.

2. В режимі аналізу перехідних процесів ("Transient...") побудувати графіки напруг та струмів в трифазній схемі заміщення.

3. Самостійно визначити вигляд та розрахувати параметри еквівалентної однофазної схеми заміщення мережі з дугогасним реактором в нейтралі при відмові вимикача в одній з фаз та виконати її моделювання.

4. В режимі аналізу перехідних процесів ("Transient...") побудувати графіки напруг та струмів в однофазній схемі заміщення.

5. Порівняти між собою графіки напруг та струмів, отримані в пунктах 2 та 4 і зробити висновок про правильність параметрів еквівалентної однофазної схеми заміщення.

6. Результати, отримані після виконання кожного пункту завдання заносити в протокол комп'ютерного практикуму (знімок активного вікна за допомогою клавіші "Print Screen").

7. Зробити висновок про значення напруг та струмів при відмові вимикача в одній з фаз в мережі з дугогасним реактором в нейтралі.

Контрольні запитання

1. Як використовуючи схему на рисунку Д.1.1, наведену в Додатку 1 визначити падіння напруги на кожному з ізоляторів гірлянди при нормальному режимі роботи схеми, зображеної на рисунку 8.1?

2. Як використовуючи схему на рисунку Д.2.1, наведену в Додатку 2 визначити падіння напруги на кожному з ізоляторів гірлянди при нормальному

режимі роботи схеми, зображеної на рисунку 8.1, за умови ушкодження одного з ізоляторів гірлянди?

3. Як використовуючи схему на рисунку Д.2.1, наведену в Додатку 2 визначити падіння напруги на кожному з ізоляторів гірлянди при нормальному режимі роботи схеми, зображеної на рисунку 8.1, за умови забруднення частини ізоляторів гірлянди?

4. Який вигляд має повна схема заміщення дугогасного реактора?

5. Чи можливі в схемі на рисунку 8.1 резонансні перенапруги (якщо можливі, то при яких значеннях параметрів схеми)?

Комп'ютерний практикум № 9
ВІДМОВА ВИМИКАЧА В ОДНІЙ З ФАЗ В МЕРЕЖІ З
ГЛУХОЗАЗЕМЛЕНОЮ НЕЙТРАЛЛЮ

Мета практикуму: схемотехнічне моделювання та аналіз перехідних процесів при відмові вимикача в одній з фаз в мережі з глухозаземленою нейтраллю.

Основна схема завдання

Спрощена трифазна схема для моделювання в Micro-Cap відмови вимикача в одній з фаз в мережі з глухозаземленою нейтраллю зображена на рисунку 8.1.

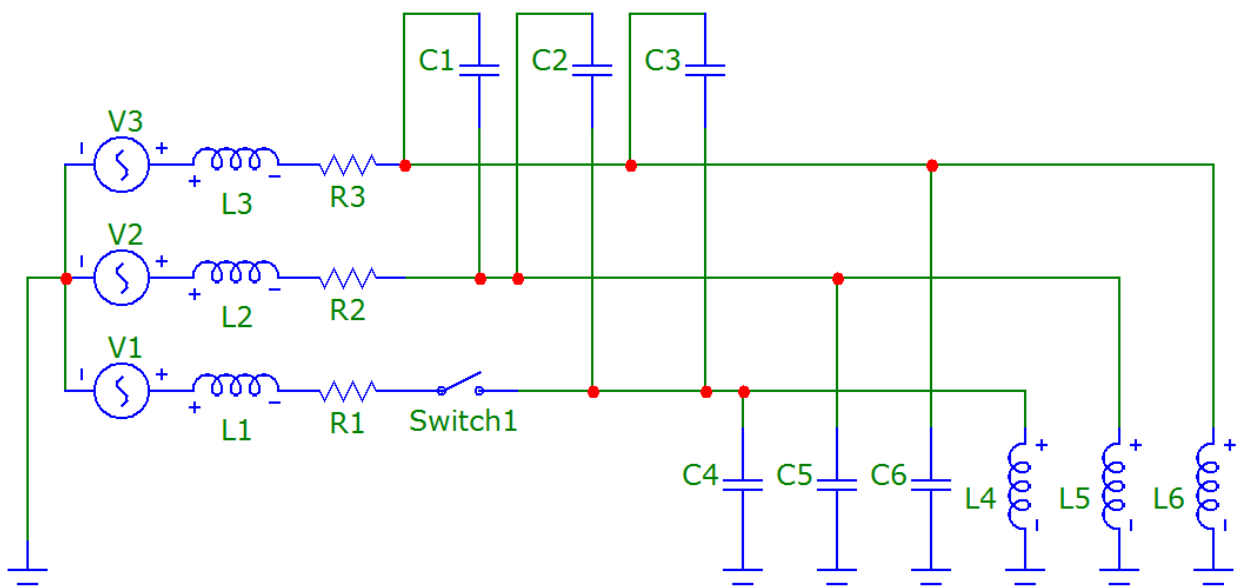


Рисунок 9.1. Моделювання в Micro-Cap відмови вимикача в одній з фаз в мережі з глухозаземленою нейтраллю.

На рисунку 9.1 V1, V2, V3 – джерело трифазної напруги; L1, L2, L3 – індуктивності джерела; R1, R2, R3 – активний опір джерела; C1, C2, C3 – міжфазні ємності; C4, C5, C6 – ємності фаз на землю; L4, L5, L6 – індуктивності реактора в кінці лінії; Switch1 – анімаційний ключ для моделювання відмови вимикача в одній з фаз.

Завдання до виконання комп'ютерного практикуму

1. Відповідно до свого варіанту завдання (використати дані таблиці 3.1) виконати моделювання трифазної схеми заміщення мережі з глухозаземленою нейтраллю при відмові вимикача в одній з фаз (рисунок 9.1). Значення індуктивностей L_4 , L_5 , L_6 наведено в таблиці 4.1.
2. В режимі аналізу перехідних процесів ("Transient...") побудувати графіки напруг та струмів в трифазній схемі заміщення.
3. Самостійно визначити вигляд та розрахувати параметри еквівалентної однофазної схеми заміщення мережі з глухозаземленою нейтраллю при відмові вимикача в одній з фаз та виконати її моделювання.
4. В режимі аналізу перехідних процесів ("Transient...") побудувати графіки напруг та струмів в однофазній схемі заміщення.
5. Порівняти між собою графіки напруг та струмів, отримані в пунктах 2 та 4 і зробити висновок про правильність параметрів еквівалентної однофазної схеми заміщення.
6. Результати, отримані після виконання кожного пункту завдання заносити в протокол комп'ютерного практикуму (знімок активного вікна за допомогою клавіші "Print Screen").
7. Зробити висновок про значення напруг та струмів при відмові вимикача в одній з фаз в мережі з глухозаземленою нейтраллю.

Контрольні запитання

1. Як виконати моделювання джерела несинусоїдальної напруги, яке містить крім основної ще вищі гармоніки?
2. Як виконати моделювання нелінійного резистора, що задається своєю вольт-амперною характеристикою?
3. Як використовуючи моделі ключів, що керуються часом (Component \ Analog Primitives \ Special Purpose \ Switch) виконати імітацію вмикання ненавантаженої лінії в певний момент часу?

4. Як використовуючи замість ключів резистори, що задаються таблицею своїх значень (tabled resistor) виконати імітацію вмикання ненавантаженої лінії в певний момент часу?

5. Чи можливі в схемі на рисунку 9.1 резонансні перенапруги (якщо можливі, то при яких значеннях параметрів схеми)?

ДОДАТОК 1

СХЕМА ЗАМІЩЕННЯ ГІРЛЯНДИ НЕУШКОДЖЕНИХ ІЗОЛЯТОРІВ

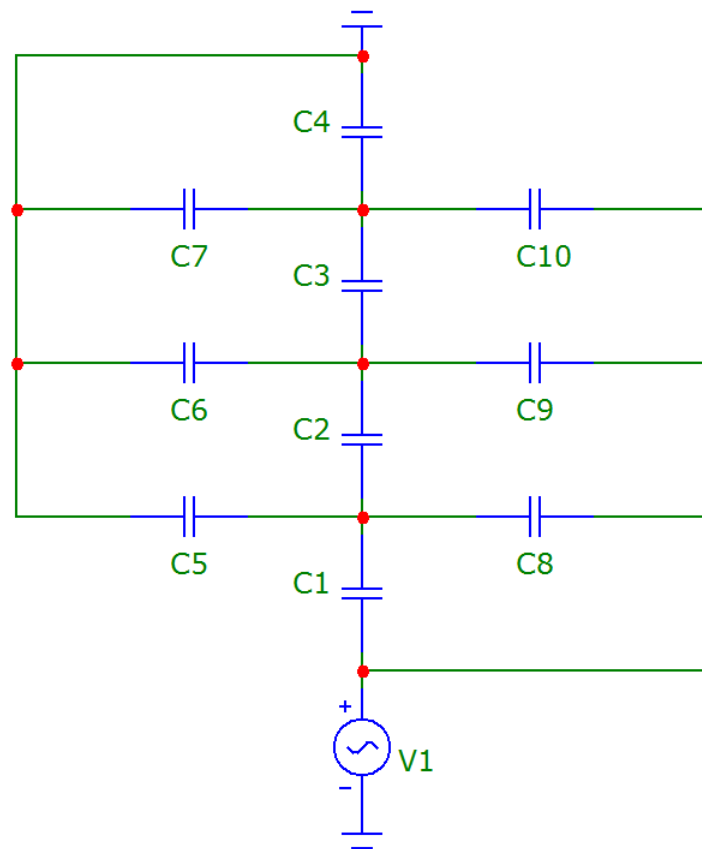


Рисунок Д.1.1. Моделювання в Micro-Cap схеми заміщення гірлянди ізоляторів для дослідження розподілення напруги вздовж неушкоджених ізоляторів гірлянди.

C1-C4 – власні ємності ізоляторів гірлянди (50-70 пФ); C5-C6 – ємності ізоляторів по відношенню до заземлених елементів конструкції опори (4-5 пФ); C8-C10 – ємності ізоляторів по відношенню до фазного проводу (0,5-1 пФ); V1 – напруга між фазним проводом та землею. При виконання комп'ютерних практикумів прийняти, що кількість ізоляторів в гірляндах ліній 6-10 кВ становить 1-2 шт., 20 кВ – 3 шт., 35 кВ – 3-4 шт.

ДОДАТОК 2

СХЕМА ЗАМІЩЕННЯ ГІРЛЯНДИ З УШКОДЖЕНИМИ АБО ЗАБРУДНЕНИМИ ІЗОЛЯТОРАМИ

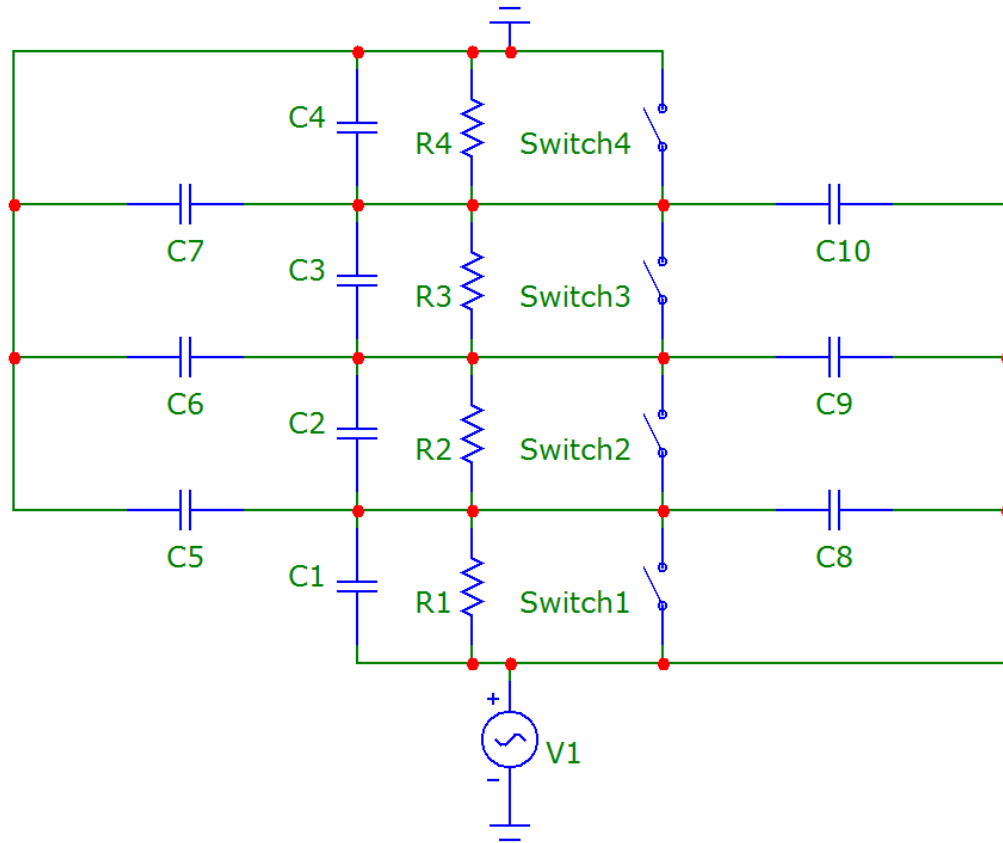


Рисунок Д.2.1. Моделювання в Micro-Cap схеми заміщення гірлянди ізоляторів для дослідження розподілення напруги вздовж неушкоджених ізоляторів гірлянди.

C1-C4 – власні ємності ізоляторів гірлянди; R1-R4 – власні опори ізоляторів гірлянди; C5-C6 – ємності ізоляторів по відношенню до заземлених елементів конструкції опори; C8-C10 – ємності ізоляторів по відношенню до фазного проводу; Switch1-Switch4 – анімаційні ключі для моделювання ушкодження ізолятора; V1 – напруга між фазним проводом та землею. При виконання комп’ютерних практикумів прийняти, R1-R4 для чистих ізоляторів дорівнює 100 МОм, для забруднених – 5-10 МОм.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бржезицький В.О., Ісакова А.В., Рудаков В.В. та ін.. Техніка і електрофізика високих напруг: Навч. посібник / За ред. В.О. Бржезицького та В.М. Михайлова. – Харків: НТУ "ХПІ" – Торнадо, 2005. – 930 с. ISBN 966-635-561-2.
2. Перенапруги та їх обмеження в електричних мережах. Ч. 2: Внутрішні перенапруги і їх обмеження [Електронний ресурс] : методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів напряму підготовки 6.050701 «Електротехніка та електротехнології» / НТУУ «КПІ» ; уклад. В. О. Бржезицький, С. А. Соколовський. – Електронні текстові дані (1 файл: 7,76 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2011. – Назва з екрана.
3. Перенапруги та їх обмеження в дальніх передачах [Електронний ресурс] : методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів напряму підготовки 6.050701 «Електротехніка та електротехнології» / НТУУ «КПІ» ; уклад. В. О. Бржезицький, С. А. Соколовський. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,13 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2011. – Назва з екрана.
4. Micro-Cap 12. Electronic Circuit Analysis Program. Reference Manual (2018). Sunnyvale: Spectrum Software, pp. 1-1098. Available at: <http://www.spectrum-soft.com/download/rm12.pdf>.