ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

федеральное государственное бюджетное образовательное

учреждение высшего образования

«ОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ»

(ОмГУПС (ОмИИТ))

Кафедра «Телекоммуникационные, радиотехнические системы и сети»

РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК

ДВУХПОЛЮСНИКОВ И ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНИКОВ

Пояснительная записка к курсовому проекту

по дисциплине «Теория линейных электрических цепей»

Студент группы 22а

\_\_\_\_\_\_Р.Р.Джойс

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ (подпись)

Руководитель –

ст.преподаватель кафедры ТРСиС

\_\_\_\_\_Д.А. Федотов

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ (подпись)

Омск 2024

Реферат

УДК 621.372

Курсовой проект содержит 29 страниц, 18 рисунков, 4 таблицы, использовано 8 источников.

Двухполюсник, четырёхполюсник, холостой ход, короткое замыкание, обратный холостой ход, обратное короткое замыкание, рабочие параметры.

В данном курсовом проекте выполняется синтез схем реактивных двухполюсников (ДП), входящих в состав исследуемого четырехполюсника(ЧП), расчет входных сопротивлений четырехполюсника в режимах холостого хода (ХХ) и короткого замыкания (КЗ), нахождение основной матрицы типа А исследуемого четырехполюсника, расчет характеристических, повторных и рабочих параметров четырехполюсника.

Содержание

Введение ..................................................................................................................... 4

1 Синтез схем реактивных двухполюсников .......................................................... 5

2 Расчёт входных сопротивлений четырёхполюсника в режимах холостого хода и короткого замыкания............................................................................................. 11

2.1 Режим холостого хода......................................................................................... 11

2.2 Режим короткого замыкания.............................................................................. 12

2.3 Режим холостого хода в обратном направлении............................................. 13

2.4 Режим короткого замыкания в обратном направлении.................................. 14

3 Нахождение матрицы А исследуемого четырехполюсника ............................. 16

4 Расчет характеристических, повторных и рабочих параметров четырехполюсника.................................................................................................... 18

4.1 Характеристические параметры ............... ........................................................ 18

4.1.1 Характеристическое сопротивление ............................................................. 18

4.1.2 Характеристическая постоянная передачи ................................................... 20

4.2 Повторные параметры четырёхполюсника ..................................................... 22

4.3 Рабочие параметры четырёхполюсника .......................................................... 23

4.3.1 Расчет входных сопротивлений...................................................................... 23

4.3.2 Расчет сопротивлений передачи .................................................................... 23

4.3.3 Расчет приведённых сопротивлений ............................................................. 23

5 Расчет элементов эквивалентного ЧП .................................................................. 25

Заключение................................................................................................................ 27

Библиографический список..........…………………………………………………28

Введение

Системы связи на железнодорожном транспорте представляют собой технические средства управления перевозочным процессом, способствующие повышению эффективности работы дорог и безопасности движения поездов. Новые системы связи и управления основываются на последних достижениях науки и техники, все в большей степени здесь находят применение микроэлектроника и элементы вычислительной техники, составляющих ее устройств требует точных методов расчета, которые в значительной мере основываются на теории линейных электрических цепей (ТЛЭЦ).

Методы ТЛЭЦ широко применяются в инженерных расчетах элементов самых разнообразных устройств, состоящих из электронных, механических и других приборов, так как только представление разнообразных приборов эквивалентными схемами ТЛЭЦ позволяет рассматривать взаимодействие систем единым образом. Этим объясняется всевозрастающее использование методов ТЛЭЦ во всех отраслях связи.

1. Синтез схем реактивных двухполюсников, входящих в состав исследуемого четырехполюсника

Схема исследуемого четырехполюсника в обобщенном виде показана на рисунке 1.1.

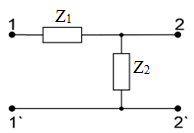


Рисунок 1.1. – Схема замещения исследуемого ЧП

Определим элементы образующие данный четырехполюсник. Формулы операторных сопротивлений согласно заданию имеют следующий вид:

|  |
| --- |
| (1.1) |

|  |
| --- |
| (1.2) |

Электрические цепи с двумя зажимами, состоящие из катушек индуктивности и конденсаторов, потери в которых не учитывают, называют реактивными двухполюсниками.

* Сопротивления и проводимости реактивных двухполюсников содержат только реактивные составляющие;
* Все коэффициенты при операторе р только вещественные и положительные числа;
* Высшая степень оператора р равна числу реактивных элементов в схеме;
* Высшие и низшие степени многочленов числителя и знаменателя функции Z(p) отличаются не более чем на единицу;
* Нули и полюсы функции Z(p) чередуются и расположены на положительных вещественных частотах;
* В реактивном двухполюснике формула сопротивления содержит в числителе только четные степени, а в знаменателе - только нечетные степени оператора р и наоборот, формула сопротивления в числителе содержит только нечетные степени, а в знаменателе – только четные степени оператора р;
* Все корни функции сопротивления Z(p) расположены в левой полуплоскости комплексного переменного, кратных корней не бывает.

Двухполюсник класса 0-∝ имеет резонансы тока и напряжения.

Приравнивая числитель (1.1) нулю, определим нули функции:

Приравнивая знаменатель (1.1) нулю, определим полюсы функции:

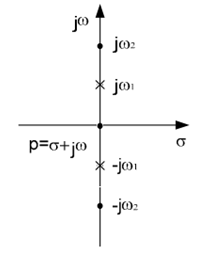


Рисунок 1.2 – Полюсно-нулевое изображение

Для синтеза двухполюсника запишем его общую формулу:

|  |
| --- |
| (1.3) |

или

где частота резонанса токов

,

а частота резонанса напряжений

.

Схема синтезируемого двухполюсника соответствует схеме Фостера первого рода и приведена на рисунке 1.3.

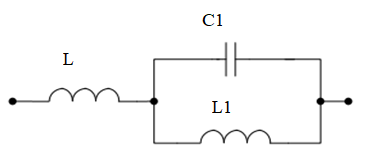


Рисунок 1.3 — Элементная схема операторного сопротивления (p)   
(1-го рода)

Сравнивая коэффициенты при в (1.1) и (1.3) заключаем, что

Для того, чтобы разложить функцию входного сопротивления на простые дроби, разделим числитель дроби на её знаменатель. В результате получим:

|  |
| --- |
| (1.4) |

Общее выражение для входного сопротивления рассматриваемого двухполюсника, отражающее его структуру, имеет вид

|  |
| --- |
| (1.5) |

Сравнивая выражения (1.5) и (1.4), получаем значение емкости =94.69 нФ.

Значение индуктивности найдем из условия наличия полюса на частоте

|  |
| --- |
| (1.6) |

В результате получили следующее:

Сопротивление представляет собой последовательное соединение катушки L с индуктивностью 33 мГн с параллельно включенными конденсатором ёмкостью 94,7 нФ и катушкой с индуктивностью 58,6 мГн.

Расчет на контрольной частоте = 5000 рад/с проведём по формуле (1.5):

Ом.

Двухполюсник класса ∝-0 состоит из одного реактивного элемента и не имеет резонансов.



Рисунок 1.4 — Полюсно-нулевое изображение (jω)

Приравнивая знаменатель (1.1) нулю, определим полюсы функции:

Общая формула двухполюсника

|  |
| --- |
| (1.7) |

Отсюда следует, что С=3.3 Ф, или 330 нФ.

Схема синтезируемого ДП соответствует схеме приведенной на   
рисунке 1.5.



Рисунок 1.5 – Элементная схема операторного сопротивления (р)

Расчет 𝑍2(р) на контрольной частоте *ω* = 5000 рад/с :

Частотная зависимость сопротивлений ДП приведена в таблице 1.1.

Графики частотной зависимости сопротивлений ДП представлены на рисунке 1.6.

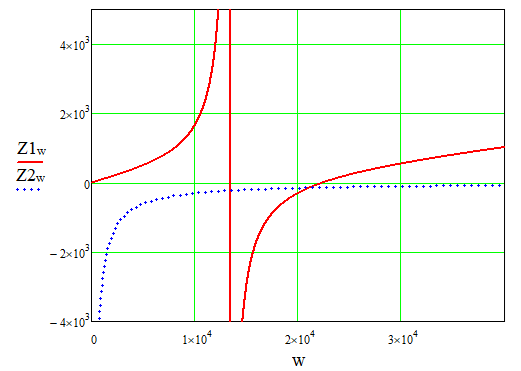


Рисунок 1.6 – График частотной зависимости .

Таблица 1.1 – Частотная зависимость сопротивлений двухполюсников, входящих в состав исследуемого четырехполюсника

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ω, рад/c | f, Гц | , Ом |  |
| 0 | 0 | 0 | -j∝ |
| 2000 | 318.31 | j185.861 | -j1515 |
| 5000 | 795.775 | j505.203 | -j606.061 |
| 7000 | 1114 | j794.423 | -j432.9 |
| 9000 | 1432 | j1255 | -j336.7 |
| 10000 | 1592 | j1647 | -j303.03 |
| *13410* | 2134 | ∝ | -j225.973 |
| 15000 | 2387 | -j3039 | -j202.02 |
| 20000 | 3183 | -j300.658 | -j151.515 |
| *22400* | 3565 | 0 | -j135.281 |
| 30000 | 4775 | j549.949 | -j101.01 |
| 40000 | 6366 | j1023 | -j75.758 |
| ∝ | ∝ | ∝ | 0 |

1. Расчет входных сопротивлений четырехполюсника в режимах холостого хода и короткого замыкания

Элементная схема исследуемого ЧП, после проведенных расчетов, имеет вид, представленный на рисунке 2.1.

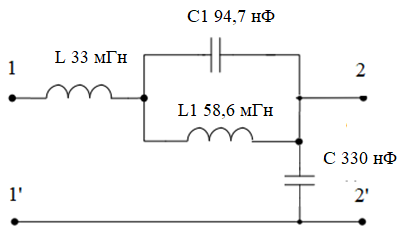


Рисунок 2.1 – Элементная схема ЧП

2.1 Режим холостого хода

Произведём расчет для прямой передачи входного сопротивления при холостом ходе. Схема включения четырехполюсника для нахождения входного сопротивления представлена на рисунке 2.2.



Рисунок 2.2 – Схема ЧП для нахождения Zвх в режиме ХХ

|  |
| --- |
| (2.1) |

Двухполюсник класса ∝-∝ имеет резонансы тока и напряжения. Приравнивая числитель нулю, определим нули функции:

Приравнивая знаменатель нулю, определим полюсы функции:

Нули:

Полюсы:

Это ДП класса ∝-∝.

Расчет (j*ω*) на контрольной частоте *ω* = 5000 рад/с:

Проверим правильность преобразований:

Незначительные расхождения в значениях объясняются погрешностью округления и высокой добротностью резонансных контуров.

Значения сопротивления Z°(j*ω*) приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Частотная зависимость входных сопротивлений при ХХ и КЗ на выходе

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ω, рад/c | f, Гц | , Ом |  |
| 0 | 0 | -j∝ | 0 |
| 2000 | 318.31 | -j1329 | j185.861 |
| 5000 | 795.775 | -j100.415 | j505.203 |
| 5441 | 865.962 | 0 | j561.083 |
| 7000 | 1114 | j362.374 | j794.423 |
| 9000 | 1432 | j920.3 | j1255 |
| 10000 | 1592 | j1647 | j1647 |
| 13410 | 2134 | ∝ | ∝ |
| 15000 | 2387 | -j3227 | -j3039 |
| 20000 | 3183 | -j451.515 | -j300.658 |
| 22400 | 3565 | -j131.551 | 0 |
| 23710 | 3774 | 0 | j127.052 |
| 30000 | 4775 | j448.99 | j549.949 |
| 40000 | 6366 | j946.778 | j1023 |
| ∝ | ∝ | ∝ | ∝ |

2.2 Режим короткого замыкания

Произведен расчет для прямой передачи входного сопротивления при КЗ. Схема включения четырехполюсника для нахождения входного сопротивления представлена на рисунке 2.3.



Рисунок 2.3 – Схема ЧП для нахождения Zвх в режиме КЗ

При коротком замыкании выходных зажимов 2-2’ сопротивление двухполюсника не влияет на входное сопротивление со стороны зажимов 1-1’ и определяется только двухполюсником =. Его входное сопротивление, нули и полюса определены ранее. Частотные зависимости входного сопротивления в режимах КЗ и ХХ для прямого включения четырехполюcника представлены в таблице 2.1 и на рисунке 2.4.

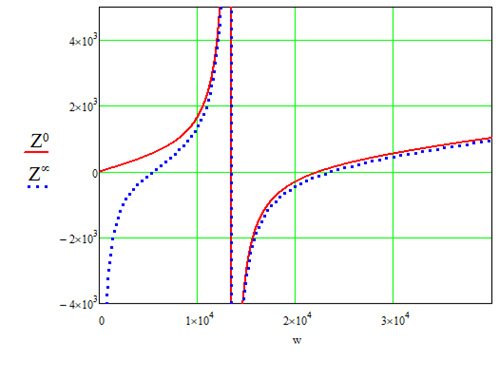


Рисунок 2.4 – График частотной зависимости и

2.3 Режим холостого хода в обратном направлении

Входное сопротивление в обратном направлении измеряется со стороны зажимов 2-2’. В режиме ХХ зажимы 1-1’ при разомкнуты и входное сопротивление четырехполюсника равно сопротивлению Его схема приведена на рисунке 2.5.

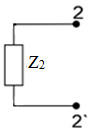


Рисунок 2.5 − Схема ЧП для нахождения Zвх в режиме ХХ в обратном направлении

Этот двухполюсник рассмотрен выше и имеет единственный полюс на нулевой частоте.

2.4 Режим короткого замыкания в обратном направлении

В режиме КЗ зажимы 1-1’ замкнуты и входное сопротивление четырехполюсника равно параллельному соединению сопротивлений Его схема приведена на рисунке 2.6.

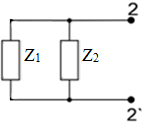


Рисунок 2.6 − Схема ЧП для нахождения Zвх в режиме КЗ в обратном направлении

Двухполюсник класса 0-0 имеет резонансы тока и напряжения.

Приравнивая числитель нулю, определим нули функции:

Приравнивая знаменатель нулю, определим полюсы функции:

Нули:

Полюсы:

Расчет на контрольной частоте =5000рад/с :

Значения сопротивления приведены в таблице 2.2 и на рисунке 2.7.

Таблица 2.2 – Частотная зависимость входных сопротивлений в обратном направлении при XX и КЗ на выходе

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ω, рад/c | f, Гц | , Ом |  |
| 0 | 0 | -j∝ | 0 |
| 2000 | 318.31 | -j1515 | j210.28 |
| 5000 | 795.775 | -j606.061 | j |
| *5441* | 865.962 | -556.939 | ∝ |
| 7000 | 1114 | -j432.9 | -j961.382 |
| 9000 | 1432 | -j336.7 | -j462.103 |
| 10000 | 1592 | -j303.03 | -j372.568 |
| 15000 | 2387 | -j202.02 | -j189.723 |
| 20000 | 3183 | -j151.515 | -j100.88 |
| *22360* | 3559 | -135.523 | 0 |
| 23600 | 3756 | -128.403 | j1474 |
| *23710* | 3774 | -127.807 | +∝ |
| 30000 | 4775 | -j101.01 | -j123.678 |
| 40000 | 6366 | -j75.758 | -j81.812 |
| ∝ | ∝ | 0 | 0 |

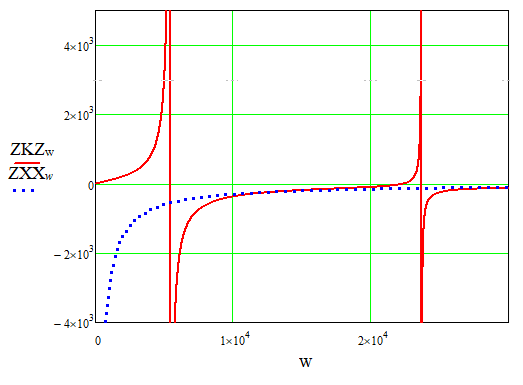


Рисунок 2.7 – График частотной зависимости и в обратном направлении

1. Нахождение основной матрицы типа А исследуемого четырехполюсника

Матрица А имеет вид:

|  |
| --- |
| (3.1) |

Проверим правильность расчёта А-матрицы по формуле:

Действительно,

Равенство определителя матрицы единице говорит о пассивности исследуемого четырехполюсника.

Подставляем значения сопротивлений ДП в матрицу А получим:

|  |
| --- |
| (3.2) |

|  |
| --- |
| (3.3) |

|  |
| --- |
| (3.4) |

|  |
| --- |
| (3.5) |

*;*

Рассчитаем коэффициенты А на контрольной частоте = 5000 рад/с.

*Ом*

См

Матрица А примет окончательный вид:

Данная матрица используется для расчета эквивалентного четырехполюсника и расчета его параметров.

4 Расчет характеристических, повторных и рабочих параметров четырехполюсника

4.1 Характеристические параметры

При исследовании работы четырехполюсника в качество различных устройств автоматики, телемеханики " связи удобно пользоваться характеристическими параметрами. К характеристическим параметрам относятся: характеристические сопротивления и характеристическая постоянная передачи.

4.1.1 Характеристическое сопротивление

Характеристическое сопротивление — это такое сопротивление, при подключении которого в качестве нагрузки входное сопротивление четырехполюсника становится равным соответственно Характеристические сопротивлению.

Выразим характеристическое сопротивлению через сопротивления: ХХ и КЗ:

Подставив сюда выражения для сопротивлений ХХ (2.1) и КЗ (1.1) получим:

|  |
| --- |
| (4.1) |

В обратном направлении характеристическое сопротивление равно

|  |
| --- |
| (4.2) |

Произведём расчёт на контрольной частоте = 5000 рад/с

Те же результаты можно получить, вычисляя характеристические сопротивления через А-параметры:

Частотная зависимость характеристического сопротивления приведена в таблице 4.1. График частотной зависимости приведен на рисунке 4.1.

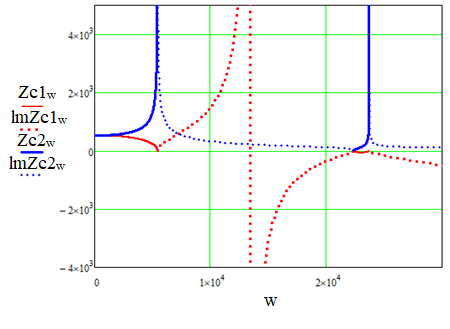


Рисунок 4.1 − График частотной зависимости характеристических сопротивлений и

Таблица 4.1 — Частотная зависимость , аи bc

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ω, рад/c | f, Гц | , Ом | аc, Нп | bc, град |  |
| 0 | 0 | -j∝ | 0 | 0 | 0 |
| 2000 | 318.31 | 499.047 | 0.0036 | 20 | 564.452 |
| 5000 | 795.775 | 230.806 | 0.0041 | 65.455 | 1327 |
| 5441 | 865.962 | 8.155 | 0.0043 | 89.168 | 38330 |
| 7000 | 1114 | j533.412 | 0.818 | 90 | j645.122 |
| 9000 | 1432 | j1072 | 1.276 | 90 | j394.449 |
| 10000 | 1592 | j1487 | 1.49 | 90 | j336.005 |
| 13410 | 2134 | ∝ | 4.793 | 90 | j226.242 |
| 13420 | 2136 | ∝ | 5.083 | 0 | j226.025 |
| 15000 | 2387 | -j3120 | 2.062 | 0 | j195.775 |
| 20000 | 3183 | -j367.491 | 1.142 | 0 | j123.632 |
| 22360 | 3559 | -j3.075 | 0.021 | 59.69 | j3.088 |
| 23600 | 3756 | -34.715 | 0.0018 | 73.557 | 435.067 |
| 23710 | 3774 | -2.976 | 0 | 88.66 | 5464 |
| 30000 | 4775 | -496.819i | 1.491 | 90 | j111.771 |
| 40000 | 6366 | -j983.518 | 1.975 | 90 | j78.727 |

4.1.2 Характеристическая постоянная передачи

Характеристическая постоянная передачи оценивает потери мощности в ЧП, не зависит от направления передачи энергии через ЧП:

|  |
| --- |
| (4.3) |

где : = *аc* + --комплексная величина.

Вещественной частью . является постоянное затухание *аc* [Hn], которая показывает степень потери мощности в ЧП или степень уменьшения амплитуды тока (напряжения) на выходе четырехполюсника по сравнению с этим величинами на входе:

|  |
| --- |
| (4.4) |

Мнимой частью () является фазовая постоянная *bc*[град], которая показывает смещение по фазе между токами и напряжениями на входе и выходе четырехполюсника

|  |
| --- |
| (4.5) |

Подставив в (4.3) выражения А-параметров получим следующее выражение для постоянной передачи:

Рассчитаем постоянную передачи на контрольной частоте = 5000 рад/с:

Частотная зависимость приведена в таблице 4.1.

Графики частотной зависимости собственного затухания аc и фазовой постоянной bc представлены на рисунке 4.2 и 4.3.

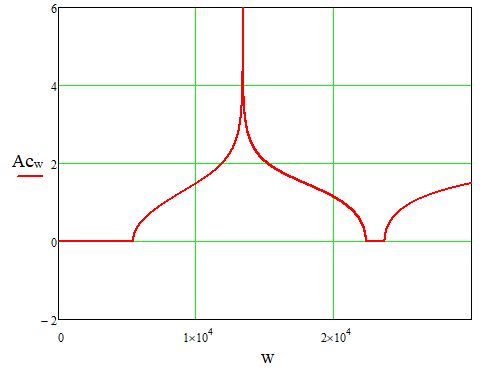


Рисунок 4.2 – График частотной зависимости собственного затухания a*c*

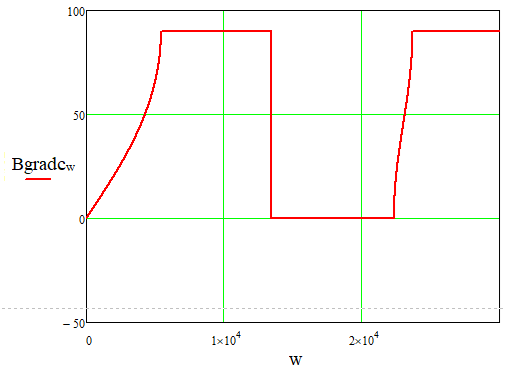


Рисунок 4.3 – График частотной зависимости фазовой постоянной *bc*

4.2 Повторные параметры четырехполюсника

Повторным сопротивлением называется такое сопротивление когда, при подключении которого в качестве нагрузки входное сопротивление четырехполюсника становятся равным нагрузочному.

|  |
| --- |
| (4.6) |

Повторная постоянная передачи - характеризует соотношения между входными и выходными токами, напряжениями и мощностями в режиме, при котором ЧП нагружен на соответствующее выбранному направлению передачи повторное сопротивление:

|  |
| --- |
| (4.7) |

Подставки в выражения (4.7) и (4.8) значения А-параметров, рассмотренных на частоте =5000 рад/с, получим следующие значения повторных сопротивлений и постоянной передачи:

В обратном направлении

Повторная постоянная передачи

4.752·10-4 + *j*0.943 Нп.

4.3 Рабочие параметры четырехполюсника

4.3.1 Расчет входных сопротивлений

Входное сопротивление ЧП относится к числу его внешних (рабочих) параметров, зависит от направления передачи, нагрузки и собственных параметров.

При прямом направлении передачи

|  |
| --- |
| (4.8) |

При обратном –

|  |
| --- |
| (4.9) |

Согласно заданию Zн=450 Ом.

Произведем расчет на контрольной частоте. Поставим в выражение (4.8) и (4.9) значения А-параметров, расчитанных на частоте = 5000 рад/с:

4.3.2 Расчет сопротивлений передачи

Сопротивление передачи – это отношение входного напряжения к выходному току:

Произведем расчет на контрольной частоте = 5000 рад/с

78.3+

+

4.3.3 Расчет приведенных сопротивлений

Сопротивление генератора согласно заданию= 85Ом

Приведенное сопротивление четырехполюсника — это отношение ЭДС генератора к току в нагрузке:

|  |
| --- |
| (4.10) |

Подставив значения А — параметров на частоте  = 5000 рад/с в выражение (4.10), получим следующее численное значение приведенного сопротивления:

568.7 Ом

4.3.4 Расчет рабочих постоянных передачи

Для характеристики условий передачи мощности сигнала через ЧП используют логарифмическую меру рабочего коэффициента передачи по мощности четырехполюсника — рабочую постоянную передачи.

При прямом направлении передачи сигнала рабочая постоянная передачи будет вычисляться по следующей формуле:

|  |
| --- |
| (4.11) |

Произведен расчет рабочей постоянной передачи при прямом направлении передачи сигнала по формуле (4.11) на контрольной частоте   
 = 5000 рад/с:

Вносимая постоянная передачи при прямом направлении передачи

|  |
| --- |
| (4.12) |

5 Расчет элементов эквивалентного ЧП

Для заданной Т-образной схемы эквивалентного двухполюсника, представленной на рисунке, А-параметры выражаются через элементы схемы следующим образом:

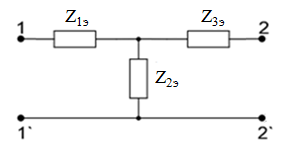


Рисунок 5.1 – Схема замещения эквивалентного ЧП

Приравняем эти параметры к соответствующим А-параметрам (3.1) исследуемого четырехполюсника.

Получим:

(5.2)

(5.1)

=

(5.4)

(5.3)

1.

Из (4.20) получаем, что

Из (4.19) получаем, что

Тогда из (4.18) следует, что

В этом случае равенство (4.17) выполняется автоматически.

Отсюда следует, что

0;

;

.

Таким образом, сопротивления и исследуемого Г-образного четырёхполюсника являются элементами и эквивалентного несимметричного Т-образного четырёхполюсника, одно из плеч которого (сопротивление ) закорочено.

Схема эквивалентного несимметричного Т-образного четырехполюсника имеет следующий вид:

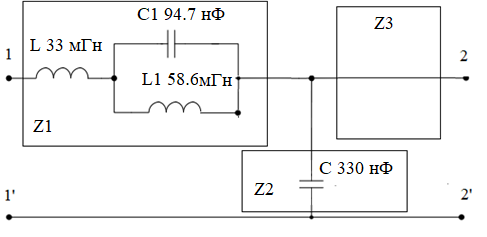


Рисунок 5.2 – Схема эквивалентного несимметричного Т-образного четырехполюсника

Заключение

В процессе выполнения данного курсового проекта мы ознакомившись с основными разделами курса ТЛЭЦ, а также давали обоснования основным выкладкам и формулам, производили анализ и синтез схем реактивных двухполюсников, входящих в состав исследуемого четырехполюсника. Рассчитали рабочие и повторные параметры четырехполюсника, а также элементы эквивалентного четырехполюсника

Таким образом, можно однозначно утверждать, что задача анализа состоит в качественной " количественной оценках свойств заданной электрической цепи, а задача синтеза — в построении цепи с заданными свойствами.

Изучение курса ТЛЭЦ основывается на знаниях курсов физики, математики, электронных и полупроводниковых приборах и др. специально-технических курсов ТЛЭЦ является базой для дальнейшего формирования профессиональных знаний.

Библиографический список

1. Атабеков, Г.И. Теоретические основы электротехники. Линейные электрические цепи / Г.И. Атабеков. Санкт-Петербург: Лань, 2021. 592с.
2. Быковская, Л. В. Линейные электрические цепи: учебное пособие. / Л.В. Быковская. Оренбург: Оренбургский государственный университет: ЭБС АСВ, 2017. 140 c.
3. Волков, Е.А. Теория линейных электрических цепей железнодорожной автоматики, телемеханики и связи /Е.А. Волков. М.: Маршрут, 2005. 509с.
4. Волков, Н.П. Теория линейных электрических цепей. Двухполюсники. Длинные линии: учеб.-метод. пособие /Н.П. Волков. Гомель: БелГУТ, 2023. 118 с.
5. Карпова, Л.А. Расчет характеристик двухполюсников и четырехполюсников: методические указания к выполнению курсовой работы для студентов ИАТИТа. / Карпова Л.А. Омск: Омский гос. Ун-т путей сообщения, 2006. 44 с.
6. Клименко, К.А. Теоретические основы электротехники. Переходные процессы, четырехполюсники, нелинейные элементы: учебное пособие  
   / К.А. Клименко. Омск: Омский государственный технический университет, 2021. 179 c.
7. Нейман, В.Ю. Теоретические основы электротехники в примерах и задачах. Часть 3. Четырехполюсники и трехфазные цепи: учебное пособие / В.Ю. Нейман. Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2010. 144 c.
8. Пилипенко, А. М. Основы теории четырехполюсников и электрических фильтров: учебное пособие / А.М. Пилипенко. Ростов-на-Дону, Таганрог: Южный федеральный университет, 2019. 97 c.
9. Савостьянов, В.В. Установившиеся процессы в линейных электрических цепях: учебное пособие / В.В. Савостьянов. Саратов: Вузовское образование, 2016. 61 c.