Национальный исследовательский университет «МЭИ»





Кафедра Теоретических Основ Электротехники

**Компьютерная лабораторная работа № 4**

 **Моделирование линейного трансформатора в Simulink**

|  |  |
| --- | --- |
| Выполнил: |  |
| Группа: |  |
| Проверил: |  |

Москва 2018

# Лабораторная работа № 6. Моделирование линейного трансформатора в Simulink

**1. Цель работы**

Ознакомление с принципами моделирования цепей с индуктивно-связанными элементами при помощи Simulink.

**2. Теоретическая справка**

В электротехнике широко применяется передача энергии из одного контура цепи в другой с помощью трансформаторов. Трансформаторы состоят из двух или нескольких индуктивно связанных катушек (обмоток) и преобразуют переменные напряжение и ток. Обычно для усиления коэффициента индуктивной связи между катушки используют ферромагнитный сердечник, на который наматывают обмотки трансформатора. При наличии такого сердечника уравнения трансформатора будут нелинейными. В данной работе будем считать, что сердечник отсутствует (такой трансформатор называется «воздушным»), а уравнения трансформатора – линейные.

Схема замещения реального линейного трансформатора изображена на схеме рис. 1. Синусоидальный источник ЭДС (напряжения или тока) подключается к первичной обмотке трансформатора, ко вторичной обмотке присоединяется нагрузка. Параметры первичной обмотки *R*1, *L*1, вторичной обмотки *R*2, *L*2, взаимная индуктивность *М* связана с собственными индуктивностями обмоток *L*1, *L*2 соотношением:

$$M=k\sqrt{L\_{1}L\_{2}},$$

где $k$ – коэффициент связи. Для реального воздушного трансформатора $k<1$.

Пусть к первичной обмотке трансформатора подключен синусоидальный источник напряжения действующим значением *U*1 и частотой ω. Выбрав направления токов в первичной и вторичной обмотке нагруженного трансформатора, составим уравнения по второму закону Кирхгофа:

$$\overline{U}\_{1}=R\_{1}\overline{I}\_{1}+jωL\_{1}\overline{I}\_{1}-jωM\overline{I}\_{2},$$

$$jωM\overline{I}\_{1}= R\_{2}\overline{I}\_{2}+jωL\_{2}\overline{I}\_{2}+\overline{I}\_{2}\overline{Z}\_{н},$$



Рис. 1. Схема замещения реального нагруженного трансформатора

Трансформатор, для которого соблюдается условие *U*1=*nU*2, при любой нагрузке, где *n*$ $– коэффициент трансформации (по напряжению), называется совершенным. У такого трансформатора $R\_{1}=R\_{2}=0, k=1$. Схема замещения совершенного трансформатора показана на рис. 2.



Рис. 2. Схема замещения совершенного трансформатора

Трансформатор, для которого соблюдаются условия $\overline{U}\_{1}=n\overline{U}\_{2}, \overline{I}\_{1}=\frac{\overline{I}\_{2}}{n}$, называется идеальным. Идеальный трансформатор изменяет напряжения и токи в $n$ раз независимо от нагрузки. Схема идеального трансформатора показана на рис. 3.



Рис. 3. Схема замещения идеального трансформатора

В Simulink имеются блоки для моделирования цепей с индуктивно-связанными элементами, в том числе и моделирующие линейные трансформаторы. В рамках работы в текущем семестре это блоки Mutual Inductor, Ideal Transformer пакета SimScape и блоки Mutual Inductance, Linear Transformer пакета SimPowerSystems (см. табл. 1).

Таблица 1. Блоки для моделирования цепей с взаимной индукцией

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Название | Изображение | Путь | Описание |
| Mutual Inductor |  | Simscape>>Foundation Library>>Electrical>> Electrical Elements  | Индуктивно-связанные катушки (обмотки), уравнения блока:*u*1 = *L*1\*d*i*1/d*t* + *M*\*d*i*2/d*t*,*u*2 = *L*2\*d*i*2/d*t* + *M*\*d*i*1/d*t*,где *M*=*k*\*sqrt(*L*1\**L*2) |
| Three-Winding Mutual Inductor |  | Simscape>>Foundation Library>>Electrical>> Electrical Elements | Три индуктивно-связанные катушки, уравнения блока:*u*1 = *L*1\*d*i*1/d*t* + *M*12\*d*i*2/d*t* + *M*13\*d*i*3/d*t*,*u*2 = *M*21\*d*i*1/d*t* + *L*2\*d*i*2/d*t* + *M*23\*d*i*3/d*t*,*u*3 = *M*31\*d*i*1/d*t* + *M*32\*d*i*2/d*t* + *L*3\*d*i*3/d*t*,где *Mij*= *M*ji=*kij*\*sqrt(*Li*\**Lj*) |
| Ideal Transformer | Screen Clipping | Simscape>>Foundation Library>>Electrical>> Electrical Elements  | Идеальный трансформатор |
| Mutual Inductance |  | SimPowerSystems>>Elements | Моделирование произвольного числа индуктивно-связанных катушек. С помощью установки Type of mutual inductance в Generalized mutual inductance можно установить произвольное число катушек и их индуктивную связь между собой. |
| Linear Transformer |  | SimPowerSystems>>Elements  | Двух или трехобмоточный линейный трансформатор |

**Замечание:** Так как первичная цепь (с первичной обмоткой и источником) и вторичная цепь (со вторичной обмоткой и нагрузкой) не имеют гальванической связи, то при моделировании необходимо использовать базисные узлы и для первичной цепи и для вторичной цепи.

**Пример моделирования.**

****

****

**3. Вопросы для самопроверки**

1. В каких случаях необходимо использовать несколько базисных узлов в схеме?
2. Как выбор направления тока во вторичной обмотке повлияет на запись уравнений по второму закону Кирхгофа для первичного и вторичного контуров?
3. В чем отличие реального, совершенного и идеального трансформаторов?
4. Как влияет коэффициент связи на способность трансформатора передавать энергию?

**4. Подготовка к работе**

1. Рассчитайте токи и напряжения в схеме нагруженного реального трансформатора (рис. 1) с параметрами элементов, заданными в табл. 2–4. Определите входное сопротивление нагруженного реального трансформатора. Определите коэффициент трансформации $n$ по напряжению. Определите входное сопротивление нагруженного совершенного трансформатора.

2. Используя полученный коэффициент трансформации, рассчитайте токи и напряжения в схеме идеального трансформатора (рис. 3).

Таблица 2

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Номер бригады (номер компьютера) | Источник, подключенный к первичной обмотке | Номер бригады (номер компьютера) | Источник, подключенный к первичной обмотке |
| 1, 5, 9, … 4*n*+1 | Источник тока$$\overline{J}=5 A,f=50 Гц$$ | 2, 6, 10, … 4*n*+2 | Источник тока$$\overline{J}=10 A, f=60 Гц$$ |
| 3, 7, 11, … 4*n*+3 | Источник ЭДС$$\overline{U}=100 В,f=50 Гц$$ | 4, 8, 12, … 4*n* | Источник ЭДС$$\overline{U}=1000 В, f=60 Гц$$ |

 Таблица 3

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер бригады (номер компьютера) | 1, 6, 11, 16, 21 | 2, 7, 12, 17, 22 | 3, 8, 13, 18 | 4, 9, 14, 19 | 5, 10, 15, 20 |
| *R*1, Ом | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| *L*1, Гн | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 |
| $\overline{Z}\_{н}$, Ом | 50 | 40 | 30 | 20 | 10 |

 Таблица 4

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер группы | 1, 7, 13, 19 | 2, 8, 14, 20 | 3, 9, 15, 21 | 4, 10, 16, 22 | 5, 11, 17 | 6, 12, 18 |
| *L*2, Гн | 0,4 | 0,35 | 0,3 | 0,25 | 0,2 | 0,15 |
| *R*2, Ом | 30 | 25 | 20 | 15 | 10 | 5 |
| *k* | 0,88 | 0,9 | 0,92 | 0,94 | 0,96 | 0,98 |

**5. Рабочее задание**

1. Моделирование выполняйте в одном файле. Проведите расчет реального трансформатора в цепи в SimElectronics. Учтите, что во вторичной обмотке также должен быть указан базисный узел. С помощью блока Fourier определите модули и начальную фазу токов и напряжений первичной и вторичной обмоток трансформатора.
2. Посредством блоков Simulink определите входное сопротивление реального трансформатора, коэффициент трансформации по напряжению и току. Проверьте, зависит ли коэффициент трансформации от нагрузки.
3. Проверьте, что результаты ручного расчета сходятся с полученными в среде Simulink. В отчете составьте таблицу из полученных данных.
4. Проведите расчет идеального трансформатора в цепи в SimElectronics. Определите модули и начальную фазу токов и напряжений первичной и вторичной обмоток, входное сопротивление трансформатора. Проверьте, зависит ли коэффициент трансформации от нагрузки.
5. Постройте кривые мгновенных значений токов (при подключении источника напряжения) или напряжений (при подключении источника тока) первичной и вторичной обмоток на одном графике Scope для реального и идеального трансформатора. Для отображения информации о том, какой график относится к какой схеме, в меню View установите «показать легенду» Legend.

**6. Вопросы к защите**

1. Как и почему меняется напряжение (ток) вторичной обмотки при рассмотрении различных схем замещения трансформатора?
2. Как и почему меняется входное сопротивление различных схем замещения трансформатора?
3. Какие ошибки возникали при сборке схемы и почему?
4. Как экспериментально определить соотношение числа витков обмоток трансформатора?