ОТЧЕТ

По договору подряда № П21-1014 от 09.10.2104

**Разработка макромоделей электрооборудования раздела «Сети переменного тока» среды SimInTech**

Описание моделей электрооборудования

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *Исполнитель*  к.т.н., доцент |  | Поляков А.М. |

Москва 2014

**Содержание**

[1 Модели основного электрооборудования 3](#_Toc406597168)

[1.1 Общие ограничения моделей 3](#_Toc406597169)

[1.2 Модель блочного двухобмоточного трансформатора 3](#_Toc406597170)

[1.3 Модель двухобмоточного трансформатора с расщепленной обмоткой низшего напряжения 6](#_Toc406597171)

[1.4 Модель трехобмоточного автотрансформатора 8](#_Toc406597172)

[1.5 Модель РПН с АРНТ 12](#_Toc406597173)

[1.6 Модель асинхронного двигателя 12](#_Toc406597174)

[1.7 Модель аккумуляторной батареи 16](#_Toc406597175)

[1.8 Модели выпрямителя и инвертора 18](#_Toc406597176)

[1.9 Модель двигателя постоянного тока 21](#_Toc406597177)

[2 Модели систем автоматики управления и защит 24](#_Toc406597178)

[2.1 Модель максимальной токовой защиты 24](#_Toc406597179)

[2.2 Модель дифференциальной защиты 24](#_Toc406597180)

[2.3 Модель защиты минимального напряжения 25](#_Toc406597181)

[2.4 Модель автоматики ввода резерва 25](#_Toc406597182)

[Список литературы 28](#_Toc406597183)

# Модели основного электрооборудования

## Общие ограничения моделей

Данные модели обеспечивают расчет действующих значений параметров режима электрической сети (токи, напряжения, мощности) промышленной частоты в установившихся симметричных режимах и переходных процессах, вызванных инерцией вращающихся масс электрических машин и систем регулирования (электромеханические переходные процессы). При использовании данных моделей электрическая сеть заменяется однолинейной схемой.

Модели не применимы для расчетов несимметричных режимов и быстрых электромагнитных процессов.

## Модель блочного двухобмоточного трансформатора

Модель блочного двухобмоточного трансформатора основана на Т-образной схеме замещения, приведенной на рисунке 1.

*R*0

*L*0

*R*В

*L*В

*R*Н

*L*Н

*К*т

*U*В

*U*0

*U*Н

Рисунок 1.1 – Схема замещения двухобмоточного трансформатора

Исходными данными для расчета параметров схемы замещения двухобмоточного трансформатора являются каталожные данные, приведенные в таблице 1.

Таблица 1.1 – Исходные данные для расчета параметров схемы замещения двухобмоточного трансформатора

|  |  |
| --- | --- |
| **Наименование параметра** | **Обозначение** |
| Номинальная мощность, кВА | *S*ном |
| Номинальное напряжение обмотки высшего напряжения, кВ | *U*ном ВН |
| Номинальное напряжение обмотки низшего напряжения, кВ | *U*ном НН |
| Потери холостого хода, кВт | *P*х |
| Потери короткого замыкания, кВт | *P*к |
| Ток холостого хода, % | *I*хх |
| Напряжение короткого замыкания, % | *U*к |
| Номинальная частота, Гц | *f*ном |

Алгоритм расчета параметров схемы замещения:

1)Определение номинального тока обмотки высшего напряжения:

.

2)Определение полного сопротивления короткого замыкания:

.

3)Определение активного сопротивления короткого замыкания:

.

4)Определение реактивного сопротивления короткого замыкания, и соответствующей ему индуктивности:

; .

5)Определение полного сопротивления холостого хода:

.

6)Определение активного сопротивления холостого хода:

.

7)Определение реактивного сопротивления холостого хода:

.

8)Определение реактивного сопротивления цепи намагничивания:

.

9)Определение параметров схемы замещения:

; ; ; ;  ; .

Нелинейный характер цепи намагничивания моделируется приближенно по [1]. Для трансформатора используется типовая нелинейная характеристика намагничивания:

,

где *iµ* – мгновенное значениетока намагничивания, *φ-* мгновенное значениепотокосцепления.

При этом базисное сопротивление определяется по следующей формуле:

.

Для принятой схемы замещения из характеристики намагничивания получим выражение для нелинейной индуктивности в зависимости от потокосцепления:

.

Определить значение потокосцепления для номинальной индуктивности намагничивания можно решая нелинейное уравнение методом итераций по формуле:

.

Таким образом, получаем коэффициент пропорциональности между потокосцеплением и напряжением трансформатора

*Kφ*=*φ*ном/*U*ном.

То есть при номинальном напряжении на трансформаторе сопротивление намагничивания (индуктивность) будет соответствовать значению, определенному из паспортных данных *L*0 ном.

Следует помнить, что указанная методика определения значения намагничивающего тока дает лишь приблизительные действующие значения тока. Для более точных результатов необходимо моделировать трансформатор в мгновенных значениях токов и напряжений.

При расчете определяются значения следующих величин:

1. *I*В, *U*В – действующие значения тока и напряжения обмотки высшего напряжения (непосредственно из расчета сети).
2. *I*Н, *U*Н – действующие значения тока и напряжения обмотки низшего напряжения (непосредственно из расчета сети).
3. Активная мощность стороны высшего напряжения, кВт:

.

1. Реактивная мощность стороны высшего напряжения, кВАр:

.

1. Модуль полной мощности стороны высшего напряжения, кВА:

.

1. Активная мощность стороны низшего напряжения, кВт:

.

1. Реактивная мощность стороны низшего напряжения, кВАр:

.

1. Модуль полной мощности стороны низшего напряжения, кВА:

.

Модель двухобмоточного трансформатора имеет разновидность, укомплектованную устройством регулирования под нагрузкой (РПН). Модель трансформатора в этом случае отличается только возможностью изменять коэффициент трансформации. Предполагается, что РПН установлено в обмотке высшего напряжения трансформатора.

## Модель двухобмоточного трансформатора с расщепленной обмоткой низшего напряжения

Модель двухобмоточного трансформатора с расщепленной обмоткой низшего напряжения и РПН основана на Т-образной трехлучевой схеме замещения с переменным коэффициентом трансформации, приведенной на рисунке 1.2. Предполагается, что РПН установлено в обмотке высшего напряжения трансформатора.

*R*0

*L*0

*R*ВН

*L*ВН

*R*НН1

*L*НН1

*К*тНН1

*U*ВН

*U*0

*U*НН1

*R*НН2

*L*НН2

*U*НН2

*К*тНН2

Рисунок 1.2 – Схема замещения двухобмоточного трансформатора с расщепленной обмоткой низшего напряжения

Исходными данными для расчета параметров схемы замещения двухобмоточного трансформатора с расщепленной обмоткой низшего напряжения являются паспортные данные, приведенные в таблице 2.

В модели предполагается следующее соотношение номинальных мощностей обмоток: *S*НН1 = *S*НН2 = 0,5 *S*ном; *S*ВН = *S*ном.

Таблица 1.2 – Исходные данные для расчета параметров схемы замещения двухобмоточного трансформатора с расщепленной обмоткой низшего напряжения

|  |  |
| --- | --- |
| **Наименование параметра** | **Обозначение** |
| Номинальная мощность, кВА | *S*ном |
| Номинальное напряжение обмотки высшего напряжения, кВ | *U*ном ВН |
| Номинальные напряжения обмотки низшего напряжения, кВ | *U*ном НН1  *U*ном НН2 |
| Потери холостого хода, кВт | *P*х |
| Потери короткого замыкания, кВт | *P*к |
| Ток холостого хода, % | *I*хх |
| Напряжение короткого замыкания для сочетания обмоток высшего напряжения и пары обмоток низшего напряжения, % | *U*к ВН-НН |
| Напряжение короткого замыкания для последовательного сочетания обмоток низшего напряжения, % | *U*к НН1-НН2 |
| Номинальная частота, Гц | *f*ном |

Алгоритм расчета параметров схемы замещения:

1)Определение номинального тока обмотки высшего напряжения:

.

2) Определение коэффициента расщепления:

.

3) Определение полного сопротивления короткого замыкания обмотки высшего напряжения:

.

4) Определение полного сопротивления короткого замыкания обмоток низшего напряжения:

.

5) Определение активного сопротивления короткого замыкания обмоток:

; .

6) Определение реактивного сопротивления короткого замыкания обмоток:

;  .

7) Определение полного сопротивления холостого хода:

.

8) Определение активного сопротивления холостого хода:

.

9) Определение реактивного сопротивления холостого хода:

.

10) Определение реактивного сопротивление цепи намагничивания:

.

11) Определение недостающих параметров схемы замещения:

; ; ; ; ; ; .

Нелинейный характер цепи намагничивания моделируется аналогично п.1.2.

При расчете определяются действующие значения токов, активные, реактивные мощности и модуль полной мощности для каждой из обмоток аналогично п.1.2.

## Модель трехобмоточного автотрансформатора

Модель трехобмоточного автотрансформатора с РПН основана на Т-образной трехлучевой схеме замещения с переменным коэффициентом трансформации, приведенной на рисунке 1.3. Предполагается, что РПН установлено в линии среднего напряжения автотрансформатора.

*R*0

*L*0

*R*В

*L*В

*R*Н

*L*Н

*К*тН

*U*В

*U*0

*U*Н

*R*С

*L*С

*U*С

*К*тС

Рисунок 1.3 – Схема замещения трехобмоточного автотрансформатора

Исходными данными для расчета параметров схемы замещения трехобмоточного автотрансформатора являются паспортные данные, приведенные в таблице 3.

Таблица 1.3 – Исходные данные для расчета параметров схемы замещения трехобмоточного автотрансформатора

|  |  |
| --- | --- |
| **Наименование параметра** | **Обозначение** |
| Номинальная мощность, кВА | *S*ном |
| Номинальная мощность обмотки низшего напряжения, кВА | *S*ном НН |
| Номинальное напряжение стороны высшего напряжения, кВ | *U*ном ВН |
| Номинальное напряжения стороны среднего напряжения, кВ | *U*ном СН |
| Номинальное напряжения обмотки низшего напряжения, кВ | *U*ном НН |
| Потери холостого хода, кВт | *P*х |
| Потери короткого замыкания для сочетания обмоток высшего напряжения и среднего напряжения, кВт | *P*к ВН-СН |
| Потери короткого замыкания для сочетания обмоток высшего напряжения и низшего напряжения, кВт | *P*к ВН-НН |
| Потери короткого замыкания для сочетания обмоток среднего напряжения и низшего напряжения, кВт | *P*к СН-НН |
| Ток холостого хода, % | *I*хх |
| Напряжение короткого замыкания для сочетания обмоток высшего напряжения и среднего напряжения, % | *U*к ВН-СН |
| Напряжение короткого замыкания для сочетания обмоток высшего напряжения и низшего напряжения, % | *U*к ВН-НН |
| Напряжение короткого замыкания для сочетания обмоток среднего напряжения и низшего напряжения, % | *U*к СН-НН |
| Номинальная частота, % | *f*ном |

Алгоритм расчета параметров схемы замещения:

1)Определение номинального тока обмотки высшего напряжения:

.

2) Определение напряжений короткого замыкания для каждой обмотки:

,

,

.

3) Определение полных сопротивлений обмоток:

, , .

4)Определение потерь короткого замыкания для каждой обмотки (обычно для сочетаний обмоток СН-НН и ВН-НН каталожные значения приведены к номинальной мощности обмотки НН):

,

,

,

где .

5) Определение активных сопротивлений обмоток:

; , .

6) Определение реактивных сопротивлений обмоток и соответствующих им индуктивностей:

; ;

; .

7)Определение полного сопротивления холостого хода:

.

8) Определение активного сопротивления холостого хода:

.

9) Определение реактивного сопротивления холостого хода:

.

10) Определение реактивного сопротивления цепи намагничивания:

.

11) Определение недостающих параметров схемы замещения:

; ; ; ; ; .

Нелинейный характер цепи намагничивания моделируется приближенно по [1]. Для автотрансформатора используется типовая нелинейная характеристика намагничивания:

,

при этом базисное сопротивление определяется по следующей формуле:

.

Из характеристики намагничивания получим выражение для нелинейной индуктивности в зависимости от потокосцепления:

.

Определить значение потокосцепления для номинальной индуктивности намагничивания можно по формуле:

.

Таким образом, получаем коэффициент пропорциональности между потокосцеплением и напряжением трансформатора

*Kφ*=*φ*ном/*U*ном.

То есть при номинальном напряжении на трансформаторе сопротивление намагничивания (индуктивность) будет соответствовать значению, определенному из паспортных данных *L*0 ном.

Следует помнить, что указанная методика определения значения намагничивающего тока дает лишь приблизительные действующие значения тока. Для более точных результатов необходимо моделировать трансформатор в мгновенных значениях токов и напряжений.

При расчете определяются действующие значения токов, активные, реактивные мощности и модуль полной мощности для каждой из обмоток аналогично п.1.2.

## Модель РПН с АРНТ

Модель устройства РПН с автоматическим регулированием напряжения трансформатора АРНТ предназначена для работы совместно с соответствующими моделями трансформаторов.

В ручном режиме на выходе моде формируется сигнал отклонения напряжения от номинального в соответствии с установленным положением РПН и шагом регулирования:

,

где *n*отп – номер текущего положения, задаваемый пользователем через графический интерфейс, Δ*U*РПН - шаг деления РПН, %.

При автоматическом режиме работы отклонение формируется аналогичным образом при следующих условиях: Напряжение входит в допустимый диапазон значений; отклонение напряжения превышает значение заданной зоны нечувствительности от уставки:

.

Для предотвращения износа контактов переключение РПН происходит с устанавливаемой выдержкой времени при условии устойчивого сигнала на переключение.

## Модель асинхронного двигателя

Модель асинхронного двигателя основана на Г-образной схеме замещения с вынесенной цепью намагничивания, приведенной на рис. 1.4. В данной схеме параметры ротора зависят от скольжения, что учитывает эффект вытеснения тока по длине паза (или в пусковой и рабочей обмотках), оказывая влияние на моментную характеристику асинхронного двигателя в сторону увеличения пускового момента в отличие от аналогичной схемы замещения с постоянными параметрами ротора. Тем самым адекватно отражаются реальные пусковые характеристики современных асинхронных двигателей, применяемых в энергетике.

Исходными данными для расчета параметров схемы замещения асинхронного двигателя являются паспортные данные, приведенные в таблице 1.4.

*X*0

*R*1

*X*1

*R*2(*s*)/*s*

*X*2(*s*)

*U*1

*I*1

*I*0

Рисунок 1.4 – Схема замещения асинхронного двигателя при параметризации модели

Таблица 1.4 – Исходные данные для расчета параметров схемы замещения асинхронного двигателя

|  |  |
| --- | --- |
| **Наименование параметра** | **Обозначение** |
| Номинальная мощность, кВт | *P*ном |
| Номинальное напряжение, кВ | *U*ном |
| Номинальный коэффициент мощности | Cos*φ*ном |
| Номинальная частота вращения, об/мин | *n*ном |
| Номинальный коэффициент полезного действия | *η*ном |
| Кратность максимального момента, о.е. | *М*макс |
| Кратность пускового момента, о.е. | *М*п |
| Кратность пускового тока, о.е. | *I*п |
| Момент инерции, кг·м2 | *J* |
| Номинальная частота, Гц | *f*ном |
| Число пар полюсов | *p* |

По указанным данным вначале определяют следующие параметры:

* *R*1, *X*1 – активное и реактивное сопротивления статора;
* *X*0 – реактивное сопротивления намагничивания;
* *R*20, *X*20 – активное и реактивное сопротивления ротора при скольжении равным нулю (расчеты выполняются для номинального скольжения, не вызывая существенной ошибки);
* *R*21, *X*21 – активное и реактивное сопротивления ротора для заторможенного ротора.

Затем вычисляют параметры функции, определяющей эффект вытеснения тока. Обычно расчет выполняется для условного паза прямоугольной формы.

Поскольку число уравнений составленных на основе исходных данных меньше числа определяемых параметров, то обычно делают допущение, что *R*1 = *R*20 и *X*1 = *X*20. Данное предположение справедливо для большинства асинхронных двигателей, исключение могут составлять двигатели малой мощности напряжением 0,4 кВ [2].

При принятых допущениях будет следующий алгоритм расчета параметров схемы замещения:

1)Определение номинальной полной мощности асинхронного двигателя, потребляемой из сети и номинального тока:

**; **.

2)Определение номинального и критического скольжения:

**; **.

3)Определение активного сопротивления статора (сопротивление ротора при номинальном скольжении) (здесь и далее вычисленные сопротивления приведены к базисным условиям – номинальным параметрам асинхронного двигателя):

****.

4)Определение реактивного сопротивления статора (сопротивление ротора при номинальном скольжении):

****.

5)Определение реактивного сопротивления намагничивания:

****.

6)Определение активного сопротивления заторможенного ротора:

.

7)Определение реактивного сопротивления заторможенного ротора:

.

8)Определение сопротивлений ротора как функции от скольжения:

; ,

где *a* – коэффициент степени моментной характеристики, который подбирается экспериментально.

9) Определение сопротивлений схемы замещения в именованных единицах (Ом), умножением расчетных значений на базисное сопротивление, определяемое как:

.

10)Электромагнитный момент асинхронного двигателя в именованных единицах (Дж) определяется с учетом напряжения и частоты питающей сети *f*1 по формуле:

.

11)Определение номинального момента и постоянной времени инерции:

; .

Для моделирования режима короткого замыкания и выбега двигателя схема замещения (рисунок 1.4) преобразуется к схеме, показанной на рисунке 1.5.

Индуктивности данной схемы определяются для номинальной частоты питающей сети:

, , .

*L*0

*R*1

*L*1

*R*2(*s*)

*L*2(*s*)

*U*1

*I*1

*I*0

*E=I1R*2(*s*)(1- *s*)/*s*

*I*

Рисунок 1.5 – Схема замещения асинхронного двигателя

При расчете определяются значения следующих величин:

1. *I*, *U*1 – действующие значения тока и напряжения асинхронного двигателя (непосредственно из расчета сети).
2. Активная мощность асинхронного двигателя, кВт:

.

1. Реактивная мощность асинхронного двигателя, кВАр:

.

1. Модуль полной мощности асинхронного двигателя, кВА:

.

1. Частота вращения асинхронного двигателя, об/мин:

.

1. Электромагнитный момент, о.е:

.

## Модель аккумуляторной батареи

Модель аккумуляторной батареи основана на схеме замещения, приведенной на рисунке 1.6, в которой учитывается изменение ЭДС аккумулятора от степени разряженности и эффекты поляризации.

*R*вт

*u*

*E*

*i*

Рисунок 1.6 – Схема замещения аккумуляторной батареи

Исходными данными для расчета параметров схемы замещения аккумуляторной батареи являются паспортные данные, приведенные в таблице 5.

Таблица 1.5 – Исходные данные для расчета параметров схемы замещения аккумуляторной батареи

|  |  |
| --- | --- |
| **Наименование параметра** | **Обозначение** |
| Номинальное напряжение элемента (блока), В | *U*ном |
| Количество элементов (блоков), шт. | *N* |
| Напряжение постоянного подзаряда, В | *U*пз |
| Номинальная температура, °С | *T* |
| Емкость при определенном времени разряда *t*, А·ч.  Конечное напряжение для данного режима, В\*) | *Ct*  *U*к *t* |
| Внутреннее сопротивление в заряженном состоянии, Ом | *R*вт |
| Ток короткого замыкания, А | *I*кз |

\*Количество точек зависимости емкости от тока влияет на точность моделирования режимов аккумуляторной батареи. Для более точного воспроизведения кратковременных режимов желательно задать емкость и конечное напряжение при длительностях 10 и 5 мин.

Модель аккумуляторной батареи построена на использовании уравнения, описывающего разрядную (внешнюю) характеристику аккумулятора [3]:

,

где: *E*0 = *R*вт*I*кз – начальное значение расчетной ЭДС аккумулятора; *СI* – значение емкости аккумулятора при постоянном токе разряда *I*р, *С*10 – значение емкости аккумулятора при десяти часовом режиме разряда (как правило, это номинальная емкость), 1,18 – коэффициент запаса по емкости (для стационарных аккумуляторов можно принять от 1,15 до 1,25), *КI* – коэффициент уравнения, зависящий от тока разряда.

Третье слагаемое в уравнении определяет изменение ЭДС в процессе разряда – ЭДС поляризации. Четвертое слагаемое определяет изменение внутреннего сопротивления в процессе разряда – сопротивление поляризации.

Алгоритм расчета параметров схемы замещения:

1)Определение зависимости емкости от тока разряда по каталожным данным, применяя линейную интерполяцию (ток разряда определяем по заданной емкости и времени разряда):

.

2) Определение коэффициента уравнения, который также будет являться интерполяционной функцией:

.

Тогда в схеме замещения нелинейная ЭДС будет определяться как:

.

При расчете определяются значения следующих величин:

1. *I*, *U* – значения тока и напряжения аккумуляторной батареи (непосредственно из расчета сети).
2. Текущую емкость аккумулятора по отношению к десятичасовому режиму разряда:

.

## Модели выпрямителя и инвертора

Структурная схема выпрямителя и инвертора представлена на рисунке 1.7, где указаны основные элементы: **Т** – трансформатор; **В** – группа вентилей; **Ф** – фильтр для сглаживания пульсаций. Индекс **а** соответствуетпеременному току, индекс **d** выпрямленному.

*Ud*

**Т**

**В**

**Ф**

*Id*

*ua*

*ia*

Рисунок 1.7 – Структурная схема преобразователей

Выпрямители и инвертора можно охарактеризовать динамическими и статическими характеристиками.

Динамическая характеристика описывает выпрямитель и инвертор при токах свыше номинального и токах короткого замыкания. В таких случаях преобразователь может быть представлен источником тока. Обычно промышленные преобразователи можно описать двухступенчатой динамической характеристикой, показанной на рисунке 1.8. Первая ступень характеризует допустимую перегрузку током *I*п и длительностью *t*п, вторая допустимый ток короткого замыкания *I*кз и его длительность *t*кз, для обеспечения работы защитных аппаратов.

*t*

*t*кз

*I*п

*I*кз

*t*п

Рисунок 1.8 – Динамическая характеристика выпрямителя и инвертора

Статические характеристики преобразователей в режиме непрерывного тока описываются следующим уравнением [4]:

,

где *Ud*0 – среднее значение выпрямленного напряжения при угле коммутации γ = 0 и угле управления α = 0; *Xa* – суммарное индуктивное сопротивление трансформатора и сети; *m* – число фаз преобразования.

В приведенном выражении знак минус соответствует выпрямителю, плюс инвертору.

Среднее значение выпрямленного напряжения определяется соотношением:

,

где *K*сх – коэффициент, зависящий от схемы выпрямителя (например, для мостовой двухполупериодной схемы равен коэффициент равен 2,34); *U*2ф – фазное действующее напряжение питающей сети, приведенное к стороне вентилей.

Угол управления определяется из соотношения:



Угол коммутации определяется из соотношения:

.

При указанных соотношениях коэффициент мощности преобразователя будет определяться как:

,

где *KI* – коэффициент искажений равный: 0,935 для *m* = 3; 0,955 для *m* = 6; 0,988 для *m* = 12.

В приведенном выражении знак плюс соответствует выпрямителю, минус инвертору.

Для определения динамических и статических выходных характеристик необходимы данные, приведенные в таблице 1.6.

Таблица 1.6 – Исходные данные для расчета параметров выпрямителей и инверторов

| **Наименование параметра** | **Обозначение** |
| --- | --- |
| Напряжение питающей сети, В | *U*п |
| Минимальное напряжение питающей сети, В | *U*п мин |
| Питающее фазное напряжение со стороны вентилей | *U*2ф |
| Напряжение короткого замыкания трансформатора, % | *U*к |
| Номинальная мощность трансформатора, кВА | *S*ном |
| Тип тока питающей сети (переменный/постоянный) | - |
| Частота питающей сети, Гц | *f* |
| Номинальное выходное напряжение, В | *U*вых |
| Номинальный выходной ток, А | *I*вых |
| Номинальная выходная мощность, ВА | *S*вых |
| Коэффициент полезного действия при номинальных условиях, % | *η*ном |
| Коэффициент мощности при номинальных условиях | Cos*φ*ном |
| Пределы регулирования по выходному напряжению, В | *U*мин  *U*макс |
| Пределы регулирования по выходному току, А | *I*мин  *I*макс |
| Коэффициент статизма выходной характеристики, % | *K*ст |
| Защита от перегрузки (ток, А, и время, с, срабатывания защиты) | *I*пер  *t*пер |
| Ограничение тока короткого замыкания, А, и длительность, с, ограничения тока | *I*кз  *t*кз |

Упрощенная структура модели выпрямителя при указанных выше соотношениях приведена на рисунке 1.9.

Рисунок 1.9 – Упрощенная структура модели преобразователя

Cos*ϕ*

*P*с *= Ud Id/η*

*U*c

*U*макс

*Ud*

*R*вт

*E*

*U*с *K*т *K*сх

*U*мин

*Id*

*S*c

*Id>* (*I*пер, *I*кз)

*U*уст

Статическая характеристика выпрямителя описываются следующими уравнениями:

,

.

По отношению к питающей сети преобразователь является потребителем, а по отношению к питаемой сети источником ЭДС или тока при перегрузках и коротких замыканиях.

Это справедливо и для модели инвертора, которая строится аналогично. Упрощенная структура модели инвертора приведена на рисунке 1.10.

*Pd =* (*Pa + Sa*(1*-η*))

*Ud*

*U*макс

*Ua*

*R*вт

*E*

*Ud**K*п

*U*мин

*Ia*

*Id*

*Iа>* (*I*пер, *I*кз)

*U*уст

Рисунок 1.10 – Упрощенная структура модели преобразователя

Статическая характеристика инвертора описываются следующими уравнениями:

,

.

## Модель двигателя постоянного тока

Поясняющая схема модели двигателя постоянного тока приведена на рисунке 1.11. В данной модели насыщение не учитывается. Модель обеспечивает расчет значений токов, мощностей и частоты вращения. Модель предполагает независимое или параллельное возбуждение двигателя.

*R*я

*L*я

*eя*

*i*я

*u*я

*L*в

*R*в

*u*в

*i*в

Рисунок 1.11 – Схема модели двигателя постоянного тока с независимым возбуждением:

*u*я, *u*в - напряжение на якорной обмотке двигателя и обмотке возбуждения; *e*я - ЭДС якоря; *i*я, *i*в - ток якоря и ток обмотки возбуждения; *R*я, *R*в - активное сопротивление якорной цепи и обмотки возбуждения; *L*я, *L*в - индуктивность якорной цепи и обмотки возбуждения.

Уравнения, которыми описываются процессы в двигателе постоянного тока с независимым возбуждением, имеют следующий вид:

Где: *J* - суммарный момент инерции якоря и нагрузки; *ω* - скорость вращения вала двигателя; *M* - электромагнитный момент двигателя; *M*с- момент сопротивления движению; П - механические потери, определяемые как процент от номинальной мощности по формуле:

;

Φв - поток, создаваемый обмоткой возбуждения; *k*в, *kE*, *kМ* – конструктивные параметры двигателя, причем *kE* и *kМ* равны по значению.

Реализация уравнений, обуславливающих переходной процесс в индуктивностях реализуется автоматически системой. В макромодели реализуется непосредственно уравнения связи и уравнение движения.

При отсутствии значений параметров схемы замещения, они вычисляются по каталожным значениям, приведенным в таблице 1.7.

Таблица 1.7 – Исходные данные для расчета параметров схемы замещения двигателя постоянного тока

|  |  |
| --- | --- |
| **Наименование параметра** | **Обозначение** |
| Номинальная мощность (на валу двигателя), Вт | *P*ном |
| Номинальное напряжение обмотки якоря, В | *U*ном я |
| Номинальное напряжение обмотки возбуждения, В | *U*ном в |
| Номинальный ток обмотки возбуждения, А | *I*ном в |
| Номинальная частота вращения, об/мин | *N*ном |
| Момент инерции, кг·м2 | *J* |
| Число пар полюсов | *p* |
| Компенсированная машина (Да/Нет) |  |
| Коэффициент полезного действия, % | *η* |
| Доля потерь, % | П |

Алгоритм расчета параметров схемы замещения:

1)Определение номинального тока якоря:

2) Определение активного сопротивления обмотки возбуждения:

3) Определение активного сопротивления обмотки якоря (если сопротивление обмотки якоря известно, то доля потерь подбирается такой, что бы получилось значение сопротивления):

4) Определение номинальной радиальной частоты вращения:

5) Определение коэффициента ЭДС:

6) Определение номинального момента:

7) Определение коэффициента связи обмоток якоря и возбуждения:

8) Определение индуктивности обмотки якоря:

где *а* – параметр равный 0,6 для некомпенсированных машин, 0,25 для компенсированных.

9) Определение индуктивности обмотки возбуждения:

# Модели систем автоматики управления и защит

## Модель максимальной токовой защиты

Модель реализует трехступенчатую ненаправленную максимальную токовую защиту (МТЗ) с независимой характеристикой и блокировкой работы по напряжению. Блок-схема МТЗ приведена на рисунке 2.1.

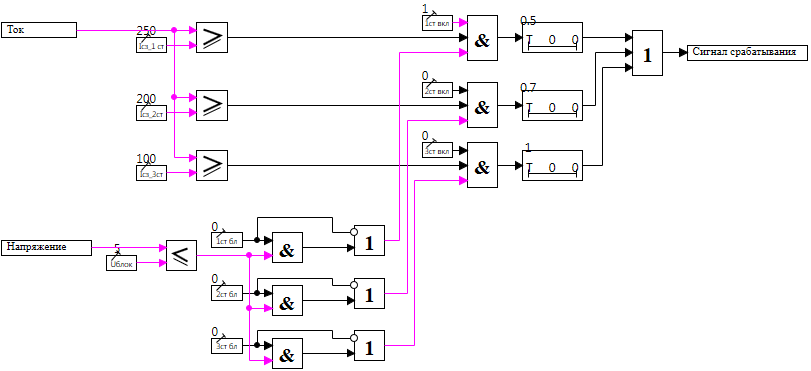


Рисунок 2.1 – Блок-схема МТЗ

Для каждой ступени реализована однотипная логика работы. Каждую ступень защиты можно включить или отключить. Также для каждой ступени можно включить или отключить блокировку по напряжению.

Для пуска ступени защиты необходимо выполнение условий:

* ток (абсолютное значение) превышал уставку;
* ступень защиты должна быть включена;
* при включенной блокировке по напряжению, напряжение должно быть меньше уставки.

Для срабатывания защиты необходимо выполнение выше указанных условий в течение выдержки времени ступени защиты.

## Модель дифференциальной защиты

Модель реализует дифференциальную защиту (ДЗ), может применяться для линий электропередачи (ДЗЛ) или двухобмоточных трансформаторов (ДЗТ). Блок-схема ДЗ приведена на рисунке 2.2.

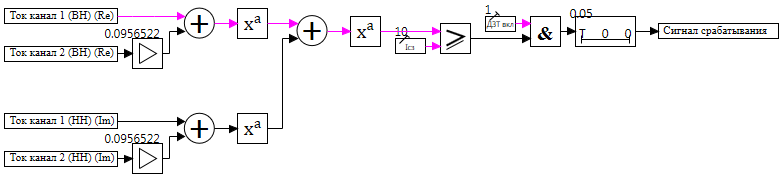


Рисунок 2.2 – Блок-схема ДЗ

Логика работы ДЗ состоит в том, что при повреждении вне зоны действия защиты ток канала 1 будет равен току канала 2 (с учетом коэффициента трансформации, при выполнении ДЗТ) и их разность будет близка к нулю. При повреждении в зоне действия защиты направление (знак) тока канала 1 будет обратным по отношению к току канала 2, соответственно их разность даст сумму токов.

В данной модели при выполнении ДЗТ ток канала 1 – ток со стороны обмотки высшего напряжения, ток канала 2 – ток со стороны обмотки низшего напряжения. Уставка по току задается приведенной к стороне высшего напряжения.

Для пуска ДЗ необходимо выполнение условий:

* ток (абсолютное значение) превышал уставку;
* защита должна быть включена.

Для срабатывания защиты необходимо выполнение выше указанных условий в течение выдержки времени защиты.

## Модель защиты минимального напряжения

Модель реализует защиту минимального напряжения (ЗМН). Блок-схема ЗМН приведена на рисунке 2.3.

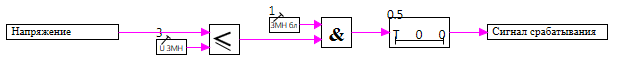


Рисунок 2.3 – Блок-схема ЗМН

Защиту можно включить или отключить.

Для пуска защиты необходимо выполнение условий:

* напряжение (абсолютное значение) ниже уставки;
* защита должна быть включена.

Для срабатывания защиты необходимо выполнение выше указанных условий в течение выдержки времени защиты.

## Модель автоматики ввода резерва

Модель реализует автоматику перевода питания потребителей собственных нужд (с.н.) электростанций с основного на резервный трансформатор собственных нужд (АВР). Блок-схема АВР приведена на рисунке 2.4.

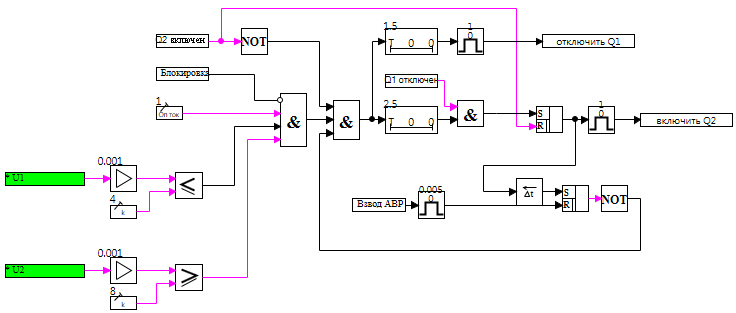


Рисунок 2.4 – Блок-схема АВР

В данной блок-схеме Q1 – выключатель ввода основного питания, Q2 – выключатель ввода резервного питания. U1 – канал напряжения на рабочей секции с.н., U2 – канал напряжения на магистрали резервного питания (МРП).

Условия пуска АВР:

* напряжение на рабочей секции U1 ниже уставки (по любой причине);
* напряжение на МРП U2 выше уставки;
* отсутствует сигнал блокировки АВР (логический «0» в схеме);
* выключатель ввода резервного питания Q2 - отключен;
* АВР взведена.

При выполнении указанных условий в течение времени уставки «Выдержка времени на отключение выключателя основной секции» АВР формирует команду на отключение выключателя рабочей секции Q1.

Условия срабатывания АВР:

* выполнение вышеуказанных условий в течение времени уставки «Выдержка времени АВР»;
* выключатель ввода основного питания Q1 – отключен.

АВР имеет однократное действие. Для включения АВР после срабатывания на вход «Взвод АВР» необходимо подать импульс логической «1».

# Список литературы

# РД 153-34.3-35.125-99. Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозовых и внутренних перенапряжений.

# Сыромятников И.А. Режимы работы асинхронных и синхронных двигателей. М.: - Л., Госэнергоиздат, 1963. – 528 с.

# Olivier Tremblay, Louis-A. Dessaint. Experimental Validation of a Battery Dynamic Model for EV Applications // World Electric Vehicle Journal Vol. 3. 2009.

# Электротехнический справочник: В 3-х т. Т.2. Электротехнические изделия и устройства / Под общ. ред. профессоров МЭИ (гл. ред. И.Н. Орлов) и др. – 7-е изд., испр. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1986. 712 с.