Для моделей СМ можно выбрать из двух вариантов dq-координат с разным взаимным расположением осей. В ГОСТ [1] используется система координат с опережающей осью d. IEEE, и ряд авторов [2] предпочитает опережающую ось d. Выбор осей влияет только на знаки ЭДС в уравнениях контуров статора. ЭДС по оси d наводится потокосцеплением оси q, и, соответственно ЭДС в оси q – потокосцеплением в оси d. Задав вращение против часовой стрелки и учитывая, что вектор индуцированной ЭДС отстает от вектора потокосцепления, для обоих вариантов расположения осей получим уравнения контуров статора:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
|  |  |

где:

Схема замещения электрических и магнитных цепей для осей d и q СМ с одной демпферной обмоткой на d и двумя на q c нанесенными контурами токов



позволяет записать следующую систему уравнений:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1) |
|  | (2) |
|  | (3) |
|  | (4) |
|  | (5) |
|  | (6) |
|  | (7) |
|  | (8) |
|  | (9) |
|  | (10) |
|  | (11) |
|  | (12) |

В качестве переменных состояния примем ,,,,,. Исключим , , , , , .

(1) и (4) подставим в уравнения для (8) и (7)

и выразим через переменные состояния ,и из уравнений (2) и (3). Введем вспомогательные коэффициенты , и :

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |

и выразим через переменные состояния ,и из уравнений (5) и (6). Введем вспомогательные коэффициенты и :

Выразим и через переменные состояния , , , , , из уравнений (7) и (8)

Коэффициенты при и представляют собой соотношения для сверхпереходных индуктивностей:

|  |  |
| --- | --- |
|  | [2], 4.32 |
|  | [2], 4.41 |

В уравнения производных потокосцеплений подставим полученные выражения соответствующих токов через переменные состояния:

Введем коэффициенты:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

с учетом которых итоговая система уравнений примет вид:

Неизвестными являются токи и .

Выразим момент через переменные состояния (7,8)

Используя полученные ранее зависимости , , и от переменных состояния выразим потокосцепления по осям и :

Введем коэффициенты:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
|  |  |

С учетом которых выражения для потокосцеплений примут вид:

и выражение для момента:

Уравнение скольжения ротора

где – момент первичного привода.

Уравнение угла ротора (угол оси q относительно вещественной оси синхронной системы координат).

Для расчета токов и при дискретных изменениях также полезно выразить эти токи через переменные состояния:

При обработке дискретных изменений в сети требуется рассчитать потокораспределение при условии, что все производные в системе уравнений СМ равны нулю. и генератора соответствуют напряжению в узле подключения с учетом dq-преобразования

Трансформация из dq в ri (поворот dq на угол )

Трансформация из ri в dq (поворот ri на угол )

Закон Ома в ri

Преобразуется в dq

Система уравнений в dq почти полностью совпадает по структуре с системой уравнений контуров статора, за исключением того, что в осях d и q разные индуктивные сопротивления и . Решение данной проблемы описано в [3] в разделе 13.2.1.

Обозначим постоянные составляющие ЭДС и :

Заменим и на одинаковое сопротивление . При условии, что и не должны измениться, введем фиктивные ЭДС и .

Выражения для расчета и :

Данная система может быть решена итерационным путем.

Итерация включает в себя:

1. Расчет и их преобразование в ri.
2. Формирование эквивалентного генератора в модели сети с полученной ЭДС сопротивлением .
3. Решение системы уравнений сети, определение тока генератора и его преобразование в dq: ,

Классический метод расчета параметров модели Парка

Выражения приведены для оси d. Выражения для оси q могут быть получены путем простой замены индекса «» на индекс «», если не даны дополнительные пояснения. Обмотка возбуждения имеет индекс «». Для оси q в выражениях обмотке возбуждения будет соответствовать индекс «».

Выражения из [2], 4.29, 4.28:

# Метод расчета собственных постоянных времени обмоток ротора и по заданным постоянным времени синхронной машины и предложен НИИПТ в 2003г.

Из уравнений (2) и (3) и выражений для токов и , при разомкнутом статоре и замкнутой обмотке возбуждения :

Характеристическое уравнение:

Примем, что корнями характеристического уравнения являются заданные постоянные времени при разомкнутом статоре:

По теореме Виета:

Подобные выражения также приведены в [5], где для (34-8) утверждается, что:

В связи с этим подкоренное выражение при плохо согласованных заданных параметрах синхронной машины может давать отрицательные значения и делать метод расчета неработоспособным. В этом случае остается принять , или воспользоваться вариантом расчета параметров с использованием постоянных времени и

Расчет постоянных времени замкнутого ротора и выполняется с использованием точных соотношений [4]:

Определяются корни и уравнения

В предположении что

Альтернативный метод определения и использует постоянные времени и , по значениям которых рассчитываются постоянные времени обмоток и . При расчете используется то же выражение, что и для расчета и , но с заменой переменных, что связано с режимом работы статора на короткое замыкание:

В данном выражении также возможно отрицательное значение подкоренного выражения. В этом случае принимается:

В случае, если на оси q одна демпферная обмотка, уравнения (6) и (12) в модели Парка не используются. Для вычисления параметров трехконтурной модели Парка и из исходных данных используются сверхпереходные параметры и . Постоянная принимается в качестве постоянной времени демпферной обмотки. Переходные параметры и не используются и не контролируются.

Методика расчета Canay [6] для двух контуров на оси предполагает наличие следующих исходных данных: , , , , , .

Для одной обмотки на оси q методика Canay не использует и :

# Список литературы

x

|  |  |
| --- | --- |
| 1. | ГОСТ 27430-87 (МЭК 34-10) Машины электрические вращающиеся. Условные обозначения для описания синхронных машин. 1988. |
| 2. | Kundur P. Power System Stability and Control. McGraw-Hill, 1994. |
| 3. | Machowski J., Bialek J.W., Bumby J.R. Power System Dynamics. Stability and Control. 2nd ed. John Wiley & Sons, 2012. |
| 4. | Вольдек А.И. Электрические машины. 3-е изд. Ленинград: "Энергия", 1978. |
| 5. | Canay I.M. Determination of model parameters of synchronous machines // IEE Proceedings B (Electric Power Applications), Vol. 130, No. 2, March 1983. pp. 86-94. |
| 6. | Canay I.M. Modelling of alternating-current machines having multiple rotor circuits // IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 8, No. 2, Jun 1993. pp. 280-296. |

x