МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

КАФЕДРА: ЭЛЕКТРОННЫХ АППАРАТОВ

# КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

ПО ДИСЦИПЛИНЕ: «ОСНОВЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ И СИСТЕМ»

НА ТЕМУ: «**РЕАЛИЗАЦИИ ЧАСТОТНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПО МИНИМУМУ ПОТЕРЬ**»

2003

**1. Реализации частотного управления по минимуму потерь**

Управление по минимуму потерь позволяет не только существенно снизить потери во всей системе, включая и питающую линию, но и обеспечивает высокое качестве механических характеристик во всем диапазоне частот. Эта система особенно перспективна для мощных двигателей. Применение управления по минимуму потерь для малых и средних двигателей также может быть целесообразным. В том случае, если система оптимального управления не сложнее системы стабилизации потока.

**1.1 Расчет потерь в асинхронном двигателе**

Потенциальную возможность для уменьшения потерь в электрических машинах можно выявить, анализируя изменение составляющих потерь в зависимости от режимов работы ЭП.

Расчет производиться для асинхронного двигателя 0,4 кВ мощностью 30 кВт.

Рассчитаем потери в номинальном режиме для асинхронного двигателя.

В общем случае мощность потерь энергии в электродвигателе удобно представлять суммой потерь , не зависящих от нагрузки (постоянных потерь) и потерь , определяемых нагрузкой двигателя (переменных потерь).

 (1)

С другой стороны суммарные потери можно определить как

Вт (2)

Постоянные потери мощности включают в себя потери в стали , механические и от тока возбуждения

Поток АД создается током намагничивания , поэтому для АД потери от тока возбуждения равны

 (3)

Механические потери принимаем

 (4)

Переменные потери определяются потерями в меди из потерь в обмотках статора и ротора за вычетом потерь от тока намагничивания. При работе в зоне номинальных скольжений (не больше номинального значения) из векторной диаграммы токов АД (рис…) следует, что

 (5)

Рисунок Векторная диаграмма токов АД

Поэтому для АД

 (6)

Потери в роторе можно определить как

 (7)

Зная полные потери в двигателе и переменные потери, определим постоянные потери

 (8)

Тогда потери в стали

(9)

Определим относительные значения составляющих потерь для номинального режима двигателя

 (10)

 (11)

 (12)

 (13)

 (14)

**1.2 Определения условия выполнения минимума потерь**

Для АД относительные величины потерь определяются по формулам

 (15)

 (16)

где – показатель, зависящий от марки электротехнической стали.

Связь между током нагрузки и моментом на валу для АД имеет вид:

, (17)

где – угол между векторами тока и потока (тока намагничивания ). Для малых отношений в соответствии с векторной диаграммой (рис…) можно принять .

Поэтому в относительных единицах взаимосвязь между моментом, током нагрузки и потоком в воздушном зазоре имеет вид

 (18)

Для АД связь между целевой скоростью вращения и частотой питающей сети имеет вид

 (19)

При работе в зоне малых скольжений можно записать

 (20)

С учетом вышесказанного выражения для потерь будут иметь вид:

 (21)

 (22)

При работе ЭП обычно задаются координатами механического движения М и , поэтому варьируемыми переменными, позволяющими изменять потери при заданных значениях М и являются лишь ток возбуждения и поток . Если двигатель работает на линейном участке кривой намагничивания (), тогда поток, при котором потери минимальны, определяется из условия:

 (23)

или

 (24)

из (21) – (22) получаем

 (25)

 (26)

При совместном решении (24) – (26) получаем значение потока при котором потери в двигателе минимальны для заданных значений

 (27)

Полные потери для оптимального тока получим из (21) и (22) при выполнении условия (27):

 (28)

Потери в двигателях при номинальном потоке определяются из (22) и (21) для :

 (29)

С помощью (28) и (29) проанализируем, как изменяются потери в двигателе при различных условиях работы электропривода.

1. Двигатель работает при номинальной скорости () с различными моментами на валу .

Для

; (30)

 (31)

Эти потери отличаются незначительно, так как (30) характеризует номинальный режим работы двигателя, который с энергетической точки зрения близок к оптимальному с потерями (31).

При работе в режиме холостого хода

;

.

Таким образом, регулирование потока при переменной нагрузке и постоянной скорости электропривода позволяет уменьшить потери на величину не более , которая составляет 20–50 % от полных потерь в номинальном режиме.

2. Электропривод обеспечивает регулирование скорости двигателя справедливы соотношения (30) и (31). Для малой скорости эти соотношения имеют вид:

;

.

Легко убедиться в том, что при значение , т. е. если номинальное значение переменных потерь и потерь от тока возбуждения одинаковы, то возможность для снижения суммарных потерь здесь отсутствует.

**1.3 Разработка системы оптимального управления**

Не учитывая насыщение магнитопровода можно записать

 (32)

т.е. регулирования потока предполагает необходимость поддержания требуемого соотношения .

В соответствии с (27) поток определяется моментом на валу АД

. (33)

После подстановки (3.2) в (2.14) получаем, что

, (34)

где – показатель, зависящий от марки электротехнической стали.

Из векторной диаграммы (рис.) видно, что

.

С учетом этих соотношений структурная схема электропривода, приведенная на рис 1 содержит асинхронный двигатель (АД), преобразователь частоты (ПЧ), датчики тока (ДТ) и напряжения статора (ДН), регулятор напряжения (РН) и вычислительное устройство (ВУ). В нем по мгновенным значениям и вычисляется ток , затем с учетом частоты определяется поток . Значение напряжения , необходимое для создания этого потока, рассчитывается в соответствии с рис. 1 следующим образом:

, (35)

где

;

;

;

;

.

Регулятор напряжения, сравнивая оптимальное и текущее значения напряжения, воздействует на преобразователь частоты таким образом, чтобы обеспечить их равенство и получить требуемое значение .

На рис. 2 показана структурная схема электропривода с регулятором потока (РП), воздействующим на канал регулирования напряжения ПЧ. В этой структурной схеме должен использоваться АД со встроенным датчиком потока. В качестве датчиков потока обычно используют специальные дополнительные обмотки на статоре или датчики Холла. Приведенная структурная схема исключает погрешность, связанную с необходимостью вычисления напряжения по (35).

Рисунок 1 Функциональная схема частотно управляемого асинхронного электропривода с регулятором напряжения

Рисунок 2 Функциональная схема частотно управляемого асинхронного электропривода с регулятором потока

Как и в структурной схеме электропривода постоянного тока, структурная схема электропривода ПЧ-АД существенно упрощается, если момент на валу АД является однозначной функцией скорости (рис). В этом случае поток и соответственно напряжение определяются только угловой скоростью и частотой .

Рисунок 3. Функциональная схема асинхронного электропривода с преобразователем частоты для механизма с вентиляторным моментом сопротивления

В рассматриваемой системе электропривода момент сопротивления АД определяется следующим образом:

 (36)

Принимая начальный момент сопротивления равным нулю получим:

или

Если принять во внимание, что , тогда оптимальный поток, необходимый для уменьшения потерь определяется следующим выражением:

Функциональный преобразователь в схеме устанавливает требуемую взаимосвязь между и . Примерный вид зависимостей и для показан на рис.

Рисунок 4. Зависимости оптимального потока и напряжения от частоты

Укажем одну из важных особенностей энергетической оптимизации АД при частотном управлении. Одна связана с принципиальной необходимостью учета нелинейности кривой намагничивания.

В асинхронных ЭП с частотным управлением поток пропорционален . В ПЧ осуществляется независимое управление частотой и амплитудой напряжения, приложенного к статору АД, поэтому имеется возможность работать при пониженных частотах с большими значениями потока, существенно превышающими номинальное значение. В то же время можно доказать, что для минимизации потерь при малых частотах необходимо увеличивать поток по сравнению с номинальным значением, т. е. АД должен работать на нелинейном участке кривой намагничивания. Учет кривой намагничивания существенно усложняет анализ условий существования минимума электрических потерь, поэтому здесь не приводится.

**1.4 Анализ динамических режимов**

Для моделирования системы ПЧ-АД и исследования ее свойств воспользуемся линеаризованной моделью АД, представленной на рис. 3

Рисунок 5 Линеаризованная модель системы ПЧ-АД

Рассчитаем необходимые параметры модели

Абсолютная тестность механической характеристики

Электромагнитная постоянная времени

Для расчетных параметров были составлены математические модели системы ПЧ-АД с законом управления (рис 4) и законом оптимального управления потоком (рис5). В качестве регулятора напряжения принят пропорциональный регулятор. Как будет показано далее, такой выбор удовлетворяет поставленным условиям и не требует сложных технических решений при его реализации.

На рис. 6 представлены графики напряжения и потока в относительных единицах в системе оптимального управления при пуске.

Рисунок 6 Зависимости оптимального изменения потока и напряжения

Как видно характер изменения совпадает с рис 1.

На рис 7 приведены зависимости изменения от времени тока ротора и скорости для разомкнутой системы и системы оптимального управления.

Анализируя полученные зависимости можно отметить исходный характер пускового тока для обоих систем, однако в установившемся режиме работы ток в роторе для оптимальной системы управления 20 % ниже чем 6 разомкнутой.

Потери при пуске АД определяются по формуле

Используя метод трапеций по данным, полученным в процессе моделирования в пакете MATLAB определены численные значения интегралов данных функций

а) в системе оптимального по минимуму потерь управления

б) в разомкнутой системе

Рисунок 7. Зависимости скорости от времени

а) в системе оптимального по минимуму потерь управления

б) в разомкнутой системе

Рисунок 8. Зависимости тока ротора от времени

Выразим теперь в относительных единицах переменные потери в АД под уравнения:

В связи с тем, что ток есть квадратная функция в системе оптимального управления переменные потери снижаются приблизительно на 40 %.

Рисунок 9. Разомкнутая система ПЧ-АД с законом управления

Рисунок 10. Система оптимального по минимуму потерь управления частотно регулируемого электропривода