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