

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Вопросы повышения качества в системах электроснабжения приобрели в последние годы чрезвычайную актуальность. Ключевым вопросом в этом плане является проблема компенсации реактивной мощности (КРМ) в трехфазных системах электроснабжения [1]. КРМ позволяет снизить потери в системах электроснабжения, увеличить тем самым нагрузки на линии электропередач, повысить энергоэффективность систем электроснабжения в целом. Одним из основных источников реактивной мощности являются вращающиеся электрические машины, в частности, на долю асинхронных двигателей приходится до 70-80 % реактивной мощности в системах электроснабжения промпредприятий. Поэтому вопросы КРМ в системах питания именно асинхронных двигателей особенно актуальны, в том числе в таких сферах использования, как привод станков, сельскохозяйственных механизмов, подъемных устройств. Целью статьи является разработка метода поисковой оптимизации для КРМ в системе питания асинхронного двигателя и проверка такой возможности на компьютерной модели.

Рассмотрим систему питания асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором непосредственно от трехфазной системы электроснабжения, где компенсация реактивной мощности может быть достигнута путем шунтирования статорных обмоток косинусными конденсаторами [2,3]. Определение оптимальных условий компенсации реактивной мощности будем осуществлять методом поисковой оптимизации с использованием модели электроснабжения (рис.1).

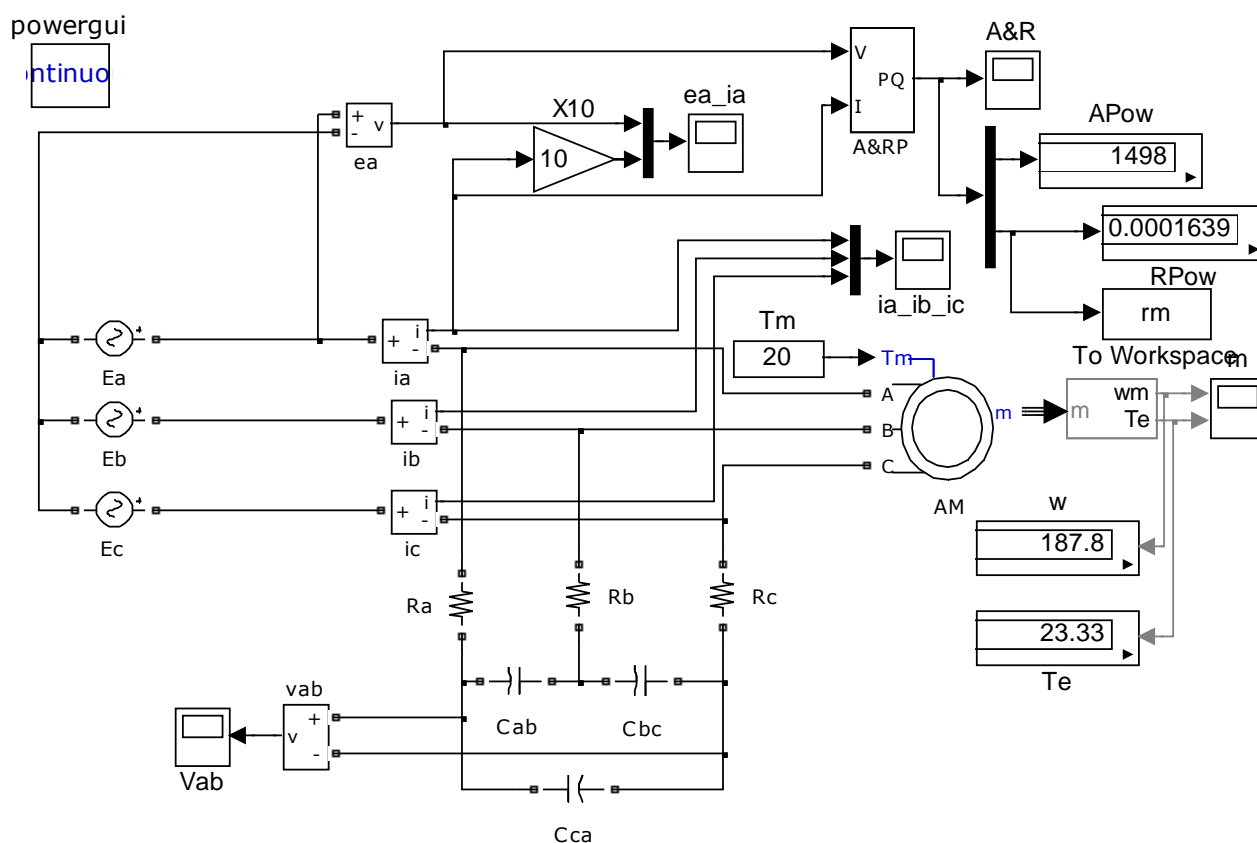


Рис.1. SPS-модель электроснабжения асинхронного двигателя

Здесь питание осуществляется непосредственно от симметричной трехфазной системы напряжений E_a, E_b, E_c . В качестве испытуемого двигателя выбран асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором типа 20HP из библиотеки моделей SPS системы. В качестве целевой функции используется модуль реактивной мощности. Она вычисляется в установившемся процессе при помощи виртуального PQ-измерителя. Поскольку рассматривается симметричная система, достаточно вести измерение лишь в одной из фаз системы электропитания. Найденное значение реактивной мощности фазы А передается через виртуальный прибор "To Workspace" в рабочую область, где используется как критерий оптимизации основной программой. В качестве процедуры оптимизации использована встроенная подпрограмма поиска оптимального решения на основе метода деформируемого многогранника Нелдера-Мида. Параметрами оптимизации являются емкости компенсирующих конденсаторов С, включаемых симметрично по схеме треугольник между фазами линии электропередачи. Переменная С описывается как глобальная, поэтому она доступна как в основной программе, так и в процедуре вычисления целевой функции, а также в самой SPS-модели.

Работа системы поисковой оптимизации на каждом шаге состоит из следующих этапов:

- 1) Запуск SPS-модели системы электропитания и прогон ее в течение интервала времени, достаточного для установления процесса;
- 2) Передача значения модуля реактивной мощности из SPS-модели в рабочую область.
- 3) Вычисление критерия оптимизации в соответствующей процедуре;
- 4) Осуществление стратегии поиска оптимального решения по методу деформируемого многогранника и корректировка значения компенсирующей емкости.
- 5) Передача найденного значения скорректированной емкости в рабочее пространство SPS-модели для последующего ее запуска.

При реализации модели были установлены следующие параметры:

Для двигателя – номинальная мощность 14920 Вт, частота 60 Гц, линейное напряжение 460 В, активное сопротивление и индуктивность рассеивания статора 0.2761 Ом и 0.002191 Гн, для ротора 0.1645 Ом и 0.002191 Гн, взаимная индуктивность 0.7614 Гн, момент инерции 0.1 кгм², коэффициент трения 0.01771. Нагрузочный момент выбран 20 кгм. Время моделирования до установления процессов $t = 7$ сек, шаг интегрирования $\Delta t = 10^{-4}$, метод интегрирования – ode23t (mod. stiff/Trapezoidal).

Для удовлетворения условия работы модели оказалось необходимым ввести резисторы, через которые треугольник компенсирующих конденсаторов присоединяется к линиям электропередачи. При этом устраняются топологические вырождения второго рода. Начальные значения емкостей конденсаторов принимались равными 10^{-7} Ф, поскольку с нулевыми значениями происходит переполнение ячеек при вычислениях правых частей уравнений состояния, в которых емкости конденсаторов содержатся в знаменателях. При указанных условиях за 73 итерации было найдено решение, при котором реактивная мощность на одной фазе уменьшилась с начального значения 2414 вар до $1,057 \cdot 10^{-4}$ вар. При амплитуде питающего фазного напряжения $U_m = 375$ В найденная в результате оптимизации емкость конденсаторов составляет величину $C = 30,09 \cdot 10^{-6}$ Ф.

Токи в линиях электропередачи при этих условиях полной компенсации совпадают по фазе с соответствующими напряжениями. Их амплитуды уменьшились при этом от начального значения 15.126 А при отсутствии КРМ до 7.97 А при полной КРМ. Это означает, что потери в линии электропередачи будут уменьшены примерно в 4 раза.

Необходимо заметить, что количество шагов оптимизационного процесса в реальном случае может быть существенно уменьшено, поскольку при этом повышенная точность не требуется. Она не может быть реализована комплектом косинусных конденсаторов с такой высокой точностью из-за дискретности величин емкостей конденсаторов.

Выводы.

Проведенное исследование на SPS модели с привлечением поисковой оптимизации показало работоспособность предложенного подхода. Одновременно продемонстрирована эффективность компенсации реактивной мощности на уровне потребителя электроэнергии при работе асинхронного двигателя непосредственно от сети. Кроме того, показана возможность построения на основе предложенного подхода системы управления устройством автоматического выбора режима работы конденсаторного устройств компенсации реактивной мощности в системе электропитания асинхронного двигателя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Литвак Л.В. Повышение коэффициента мощности на промышленных предприятиях. – М.:Госэнергоатом, 1957. – 268с.
2. Закладний О. М., Праховник А.В., Соловей О. І. Енергозбереження засобами промислового електропривода. – Київ: Кондор, 2005. – 408 с.
3. Мадьяр Л. Коэффициент мощности $\cos \varphi$. М.-Л. Госэнергоиздат, 1961. – 376 с.