

Рис. 2. Линейный емкостной акселерометр

- а) 1- сейсмическая масса; 2- разделительное щелевое отверстие; 3- балочный упругий элемент; 4- контактная площадка; 5- обкладки конденсаторов
 б) I – величина смещения сейсмической массы; II – изменение емкости

УДК 658.012.011.56

Ю.Н. Петренко, А.В. Симонович

МИНИМИЗАЦИЯ ПОТЕРЬ В АСИНХРОННОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ С ВЕКТОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Большое количество механизмов промышленных предприятий и транспорта требуют регулирования скорости в широких пределах в статических режимах и высоких динамических свойств в переходных режимах.

Асинхронный электропривод с векторным управлением (ВУ) позволяет решать эти задачи наиболее эффективно. Высокие динамические свойства обеспечиваются формированием предельных значений электромагнитного момента путем создания максимально-возможных величин составляющих вектора тока статора i_{IX} и i_{IY} , создающих магнитный поток (как правило, на уровне номинального значения) и момент асинхронного двигателя (АД) соответственно. Однако при нагрузке меньше номинальной сохранение магнитного потока на уровне номинального приводит к повышенным потерям в магнитной цепи. Таким образом, стоит задача программного снижения магнитного потока при уменьшении нагрузки и установившемся режиме.

Для доказательства воспользуемся уравнениями обобщенной электрической машины в осях X-Y [1] и уравнениями при векторном управлении [2]. Для магнитного потока ротора Ψ_2 и момента двигателя M получим:

$$M = \frac{3}{2} p_n \frac{L_{12}}{L_2} i_{IY} \Psi_{2X} \quad (1)$$

$$\Psi_{2X} = \frac{L_{12}}{R_2 p + 1} i_{IX} \quad (2)$$

где L_2 - индуктивность обмотки ротора; L_{12} - индуктивность взаимной индукции; R_2 - активное сопротивление обмотки ротора; p_n - число пар полюсов; i_{IX}, i_{IY} - проекции тока статора на оси X и Y; Ψ_{2X} - проекция потока ротора на ось X.

При этом поток ротора направлен по оси X, поэтому проекция потока на ось Y равна 0 ($\Psi_{2Y} = 0$). Для статических режимов $p = 0$.

Тогда уравнения момента (1) и потока (2) примут вид:

$$\Psi_{2X} = L_{12} i_{IX} \quad (3)$$

$$M = \frac{3}{2} p_n \frac{L_{12}^2}{L_2} i_{IY} i_{IX} = K_1 i_{IY} i_{IX} \quad (4)$$

где $K_1 = \frac{3}{2} p_n \frac{L_{12}^2}{L_2}$

Действующее значение тока статора:

$$i_1 = \sqrt{i_{IY}^2 + i_{IX}^2} \quad (5)$$

Найдем значения i_{IX} и i_{IY} для заданного $M = const$ такие, чтобы действующее значение тока статора было минимальным $i_1 \rightarrow \min$. Для этого выразим i_{IY} из уравнения (4) и подставим в (5):

$$i_{IY} = \frac{M}{K_1 i_{IX}} \quad (6)$$

$$i_1 = \sqrt{\frac{M^2}{K_1^2 i_{IX}^2} + i_{IX}^2} \quad (7)$$

Для нахождения экстремумов функции возьмем производную от i_1 по i_{IX} и решим уравнение $\frac{di_1}{di_{IX}} = 0$.

$$\frac{di_1}{di_{IX}} = \frac{1}{2} \frac{1}{\sqrt{\frac{M^2}{K_1^2 i_{IX}^2} + i_{IX}^2}} \left(-2 \frac{M^2}{K_1^2 i_{IX}^3} + 2 i_{IX} \right) = 0 \quad (8)$$

$$\frac{-\frac{M^2}{K_1^2 i_{1X}^3} + i_{1X}}{\sqrt{\frac{M^2}{K_1^2 i_{1X}^2} + i_{1X}^2}} = 0 \rightarrow -\frac{M^2}{K_1^2 i_{1X}^3} + i_{1X} = 0 \rightarrow i_{1X}^4 = \frac{M^2}{K_1^2}$$

Из (8) получаем:

$$i_{1X} = \pm \sqrt{\frac{M}{K_1}} \quad (9)$$

Исследование полученных экстремумов на минимум и максимум показывает, что полученные корни характеристического уравнения являются минимумами функции. (Производная изменяет знак с минуса на плюс при переходе аргумента через критическое значение.)

Подставим i_{1X} из уравнения (9) в (6):

$$i_{1Y} = \frac{M}{K_1 \left(\pm \sqrt{\frac{M}{K_1}} \right)} = \pm \sqrt{\frac{M}{K_1}} \quad (10)$$

Из уравнения (10) можно сделать вывод о том, что для минимизации действующего значения тока, необходимо чтобы составляющие тока по осям X и Y были равны:

$$i_{1X} = i_{1Y} = \pm \sqrt{\frac{M}{K_1}} \quad (11)$$

Тогда, действующее значение тока статора:

$$i_1 = \pm \sqrt{\frac{M}{K_1} + \frac{M}{K_1}} = \pm \sqrt{\frac{2M}{K_1}} \quad (12)$$

Наиболее достоверную информацию о потерях в системе (преобразователь частоты и АД) можно получить путем измерения входной мощности постоянного тока P_d преобразователя частоты. Пошаговый метод оптимизации потерь представлен на рис.1.

Предположим, что АД работает в установившемся режиме ($\omega_r = \text{const}$) с номинальным потоком ψ_2 и $M_c < M_n$. Уменьшая магнитный поток дискретным уменьшением i_{1X} , для сохранения момента на постоянном уровне $M_3 = \text{const}$, необходимо увеличивать составляющую тока i_{1Y} (за счет действия регулятора скорости). По мере уменьшения потерь в магнитной цепи, потери в меди растут, но суммарные потери уменьшаются, что приводит к уменьшению входной мощности. Процесс продолжается до тех пор, пока уровень P_d не достигнет минимума.

Наилучшим инструментом для реализации пошагового алгоритма является принцип нечеткой логики. Функциональная схема электропривода приведена на рис.2, где обозначено: БВМ - блок вычисления мощности; РС - регулятор скорости; БВС - блок вычисления скольжения; БВП - блок векторного преобразования; БКМ - блок коррекции момента; КНЛ - контроллер нечеткой логики; КР - коммутатор режимов. При достижении $\Delta\omega_r \rightarrow 0$ КР переключается в позицию «2»; таким образом, задания токов i_{1X} и i_{1Y} вырабатываются КНЛ и БКМ.

КНЛ функционирует согласно следующему правилу:

ЕСЛИ приращение мощности ΔP_d мало и отрицательно,

И предыдущее значение i_{1X} отрицательно,

ТОГДА приращение тока возбуждения Δi_{1X}^* мало и отрицательно.

Предложенный поисковый алгоритм отличается более простой реализацией, поскольку не требует измерения тока статора двигателя по осям координат X и Y.

В этом смысле мощность на входе инвертора является более гладкой функцией.

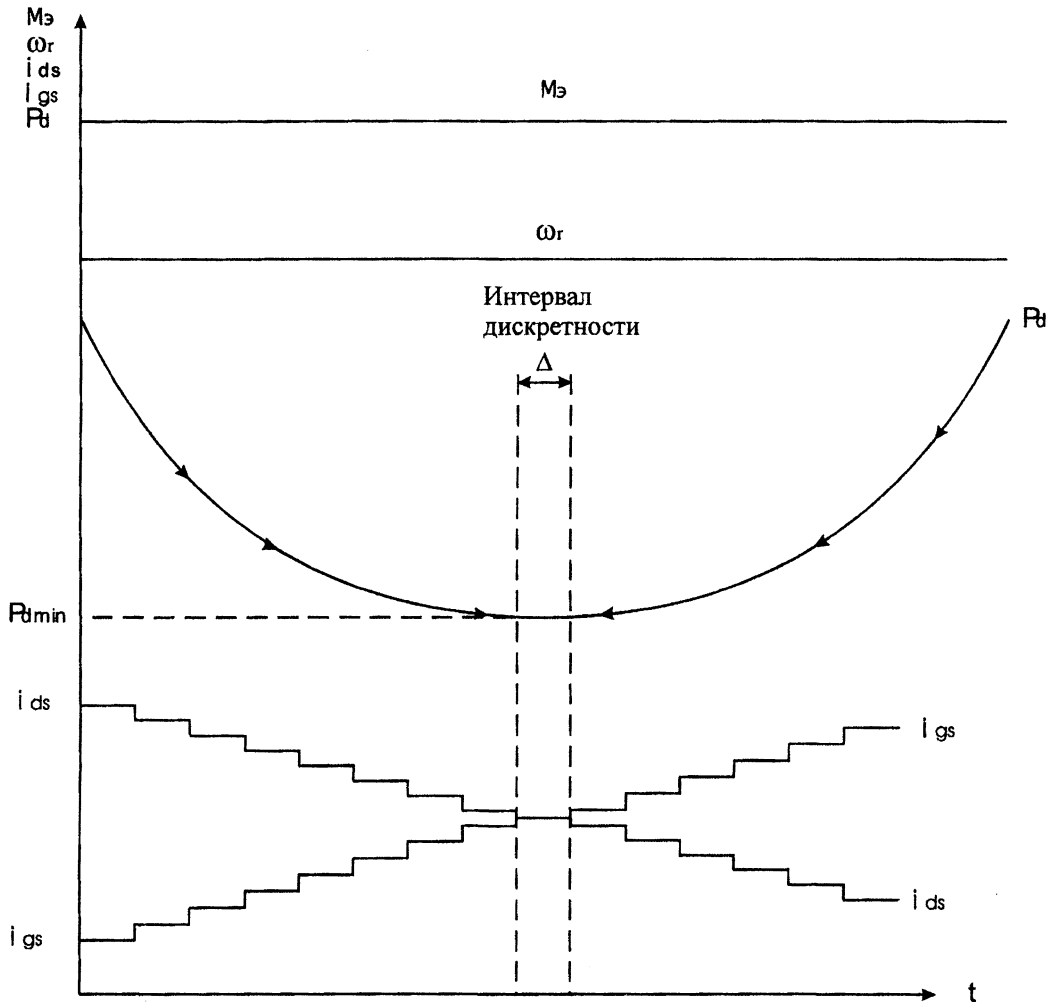


Рис.1 Пошаговый метод оптимизации входной мощности АИН.

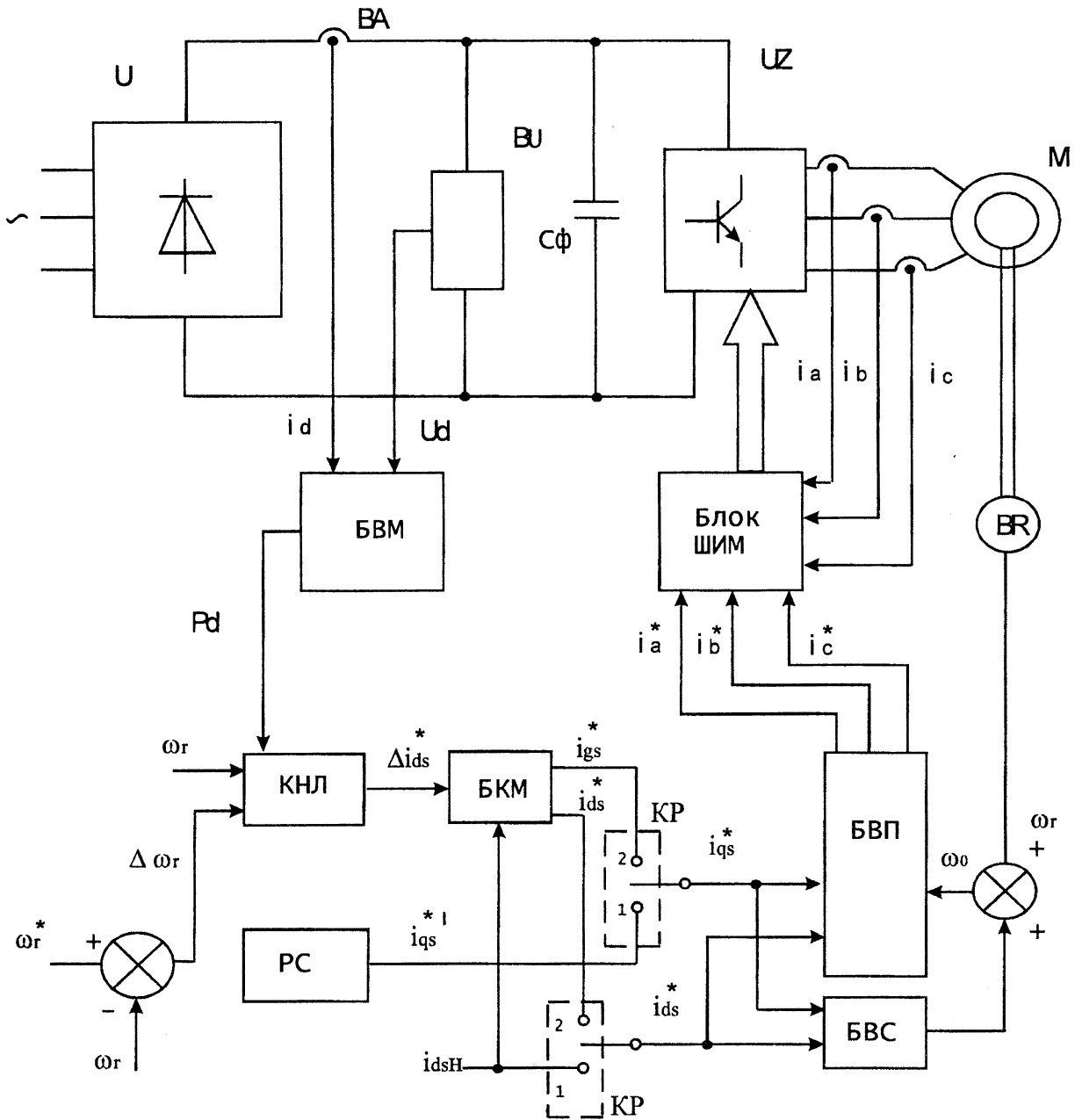


Рис.2 Функциональная схема векторного управления АД с контроллером нечетной логики.

Помимо этого, его настройка не зависит от изменения параметров асинхронного двигателя, таких как изменение сопротивления ротора при изменении температуры, нелинейности кривой намагничивания и режима модуляции силовых ключей автономного инвертора.

Литература. 1. Ключев В.И. Теория электропривода: учебник для вузов. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 560 с. 2. Ю.Н.Петренко, Г.И.Гульков. Автоматизация типовых технологических процессов и промышленных установок. -Мн.: БПИ, 1989. - 81 с.