

УДК 621.313

Г. В. Бочкарев, В. А. Лапицкий, В. Н. Шарков

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ УПРАВЛЕНИЯ ОДНОФАЗНЫМ КОНДЕНСАТОРНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

В статье приводится оптимизация параметров управления однофазным конденсаторным двигателем с короткозамкнутым ротором с учетом изменения магнитного потока в воздушном зазоре электродвигателя из-за искажения кругового вращающегося поля. Дается оценка способа получения кругового вращающегося поля.

Для повышения использования и улучшения характеристик однофазных двигателей пусковая обмотка с включенными в ее цепь конденсаторами постоянно подсоединена к сети на весь период работы. В этом случае подбором емкости конденсаторов можно добиться в машине кругового вращающегося магнитного поля в рабочем режиме. Тогда обратная составляющая поля будет отсутствовать полностью, в результате чего улучшаются его характеристики, и повышается использование машины.

При питании однофазной обмотки переменным током возникает магнитное поле, пульсирующее во времени с частотой изменения тока. В этом случае при синусоидальном распределении МДС (рис. 1) в каждой точке воздушного зазора, расположенной на расстоянии x от оси обмотки, действует МДС:

$$F_x = F_0 \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot x}{\tau}\right) = F_m \cdot \sin \omega t \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot x}{\tau}\right), \quad (1)$$

где $F_0 = F_m \cdot \sin \omega t$ – МДС в точке, расположенной на оси обмотки.

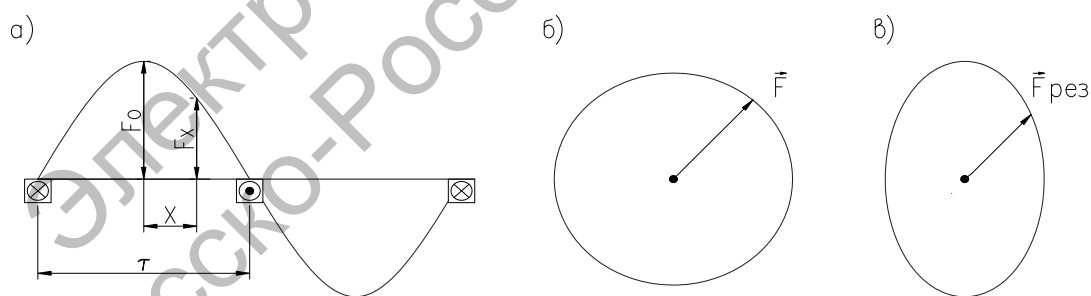


Рис. 1. Диаграмма распределения МДС в воздушном зазоре (а) и годографы пространственного вектора МДС (б, в)

Выражение (1) можно преобразовать к виду:

$$F_x = 0,5 \cdot F_m \cdot \sin\left(\omega t - \frac{\pi \cdot x}{\tau}\right) + 0,5 \cdot F_m \cdot \sin\left(\omega t + \frac{\pi \cdot x}{\tau}\right), \quad (2)$$

Каждый из членов правой части (2) представляет собой уравнение бегущей (или вращающейся) волны МДС. Следовательно, пульсирующее магнитное поле,

синусоидально распределенное в пространстве, можно представить в виде суммы двух магнитных полей, вращающихся в противоположных направлениях (рис. 2). При этом бегущие волны МДС, создающие эти магнитные поля, определяются по формулам (3) и (4):

$$F'_{\chi} = 0,5 \cdot F_m \cdot \sin\left(\omega t - \frac{\pi \cdot x}{\tau}\right); \quad (3)$$

$$F''_{\chi} = 0,5 \cdot F_m \cdot \sin\left(\omega t + \frac{\pi \cdot x}{\tau}\right). \quad (4)$$

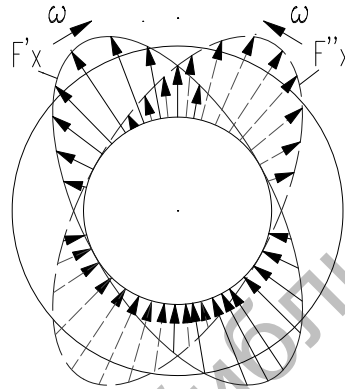


Рис. 2. Вращающиеся магнитные поля однофазной обмотки

В каждом из этих полей максимальные значения МДС в различные моменты времени остаются неизменными. Следовательно, если каждое из этих полей представить в виде пространственного вектора МДС F (рис. 1, б), то конец его будет описывать окружность. Такое поле называют круговым.

Для получения кругового вращающегося поля в конденсаторном двигателе недостаточно лишь правильно выбрать емкость конденсатора. Для этого необходимо, кроме того:

1) либо правильно выбрать соотношение чисел витков обмоток – коэффициент трансформации

$$k = \frac{W_B}{W_A}; \quad (5)$$

2) либо включить обмотки А и В под различные вполне определенные напряжения U_A и U_B – правильно выбрать коэффициент сигнала

$$\alpha = \frac{U_A}{U_B}; \quad (6)$$

3) либо последовательно с конденсатором включить некоторое добавочное сопротивление R_d .

Емкость конденсатора в каждом из этих трех способов для получения кругового вращающегося поля будет различной. Причем величина ее зависит не только от способа получения кругового поля, но и от режима работы (скорости вращения) двигателя.

Рассмотрим двигатель с двумя взаимно-перпендикулярными в электрическом отношении обмотками (рис. 3, а). Обмотка А подключена к однофазной сети.

Напряжение U_A находится в фазе с напряжением сети $U = U_B$. Отношение их амплитуд равно коэффициенту сигнала α . Последовательно с обмоткой В включен конденсатор С.

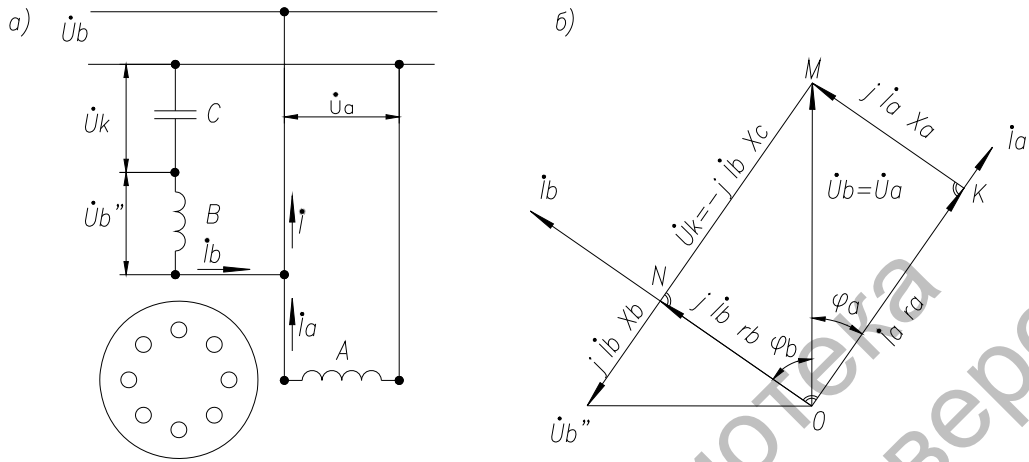


Рис. 3. Схема включения (а) и векторная диаграмма (б) напряжений при круговом вращающемся поле конденсаторного двигателя

Как видно из схемы включения $U_A = U_B$, а, следовательно, $\alpha = 1$. С учетом этого справедливы равенства:

$$\kappa^2 \cdot r_A = \kappa \cdot x_A ; \tag{7}$$

$$\kappa \cdot r_A = -\kappa^2 \cdot x_A + x_C . \tag{8}$$

Из равенства (7) определяется коэффициент трансформации κ , при котором в машине может быть получено круговое поле:

$$\kappa = \frac{W_B}{W_A} = \frac{x_A}{r_A} = \operatorname{tg} \varphi_A . \tag{9}$$

Из равенства (8) определяется необходимое для получения кругового вращающегося поля реактивное сопротивление конденсатора

$$x_C = \kappa \cdot r_A + \kappa^2 \cdot x_A \tag{10}$$

или с учетом того, что

$$\kappa = \frac{x_A}{r_A} , \tag{11}$$

$$\kappa^2 \cdot x_A = x_B . \tag{12}$$

В результате

$$x_C = x_A + x_B . \tag{13}$$

Это равенство показывает, что при круговом вращающемся поле в конденсаторном двигателе, включенном по схеме, представленной на рис. 3, а, реактивное сопротивление конденсатора должно быть равно сумме полных реактивных сопротивлений его фаз.

Равенства (9) и (13) выражают два условия, которые необходимо выполнить для получения кругового вращающегося поля. Невыполнение хотя бы одного из этих условий приводит к тому, что поле из кругового превращается в эллиптическое.

Большое количество механизмов с электроприводами, выполненными на базе конденсаторного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором, имеют простейшее исполнение и обеспечивают ручное управление режимом пуска. В состав таких электроприводов входит асинхронный трехфазный электродвигатель, блок конденсаторов (рабочих и пусковых), кнопочный пульт управления.

К основным недостаткам такого исполнения электропривода можно отнести:

- 1) отсутствие формирования автоматического режима пуска электродвигателя;
- 2) большие потери мощности в режиме холостого хода машины;
- 3) малый коэффициент перегрузки электродвигателя;
- 4) отсутствие токовой и температурной защиты электродвигателя.

Все вышеперечисленные недостатки электропривода определяют в целом низкие эксплуатационные характеристики рабочих механизмов.

Целью исследования является анализ возможных вариантов технических решений, разработка и экспериментальное исследование характеристик целесообразной системы электропривода для деревообрабатывающих машин.

Поставленная цель может быть достигнута путем решения задач, направленных на устранение существующих недостатков.

Обеспечение высокой комфортности управления и значительное улучшение эксплуатационных характеристик деревообрабатывающей машины позволит повысить потребительский спрос, даст возможность конкурировать с лучшими разработками на мировом рынке.

Электропривод деревообрабатывающей машины относится к классу электроприводов с регулируемым моментом. В состав электропривода входит асинхронный трехфазный электродвигатель специального изготовления, статорные обмотки которого скоммутированы для однофазного режима работы с конденсаторным управлением.

Автоматическое регулирование электромагнитного момента двигателя осуществляется путем дискретного изменения емкости рабочего конденсатора в функции тока нагрузки. Конструктивно электропривод обеспечивает два режима работы:

- 1) режим ручного управления;
- 2) режим автоматического регулирования электромагнитного момента двигателя.

В режиме автоматического регулирования выполняется защита электродвигателя от режима короткого замыкания и режима длительной токовой перегрузки.

Наиболее рациональным способом управления трехфазным асинхронным электродвигателем, выполненным для однофазного включения, является конденсаторное управление. Конденсаторное управление обладает рядом неоспоримых преимуществ в сравнении с другими способами управления.

К таким преимуществам относятся:

- 1) простота управления;
- 2) хорошие массогабаритные показатели электропривода;
- 3) высокая надежность;
- 4) возможность формирования максимального момента на валу электродвигателя, в 2-2,5 раза превышающего номинальный момент.

Для анализа возможных алгоритмов управления электромагнитным моментом электродвигателя с конденсаторной схемой включения рассмотрим характеристики, представленные на рис. 4 и 5.

Возможны три варианта управления величиной емкости конденсаторов.

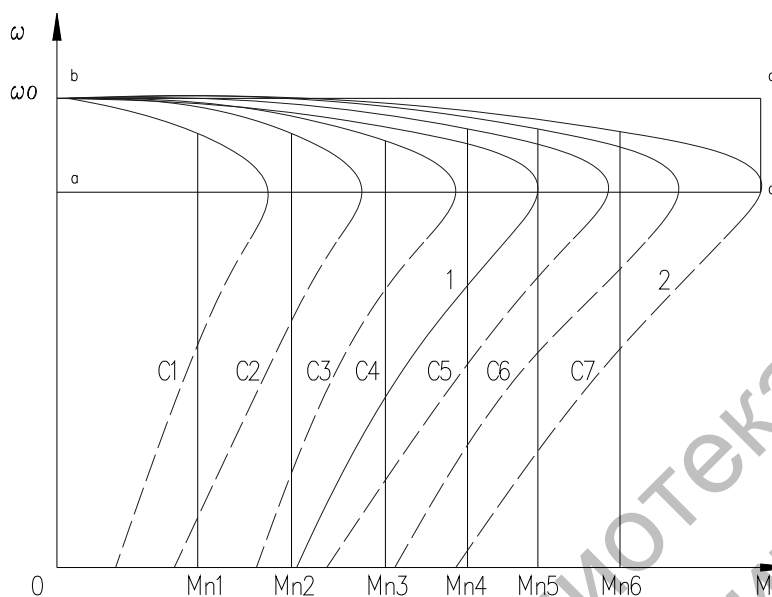


Рис. 4. Механические характеристики электродвигателя

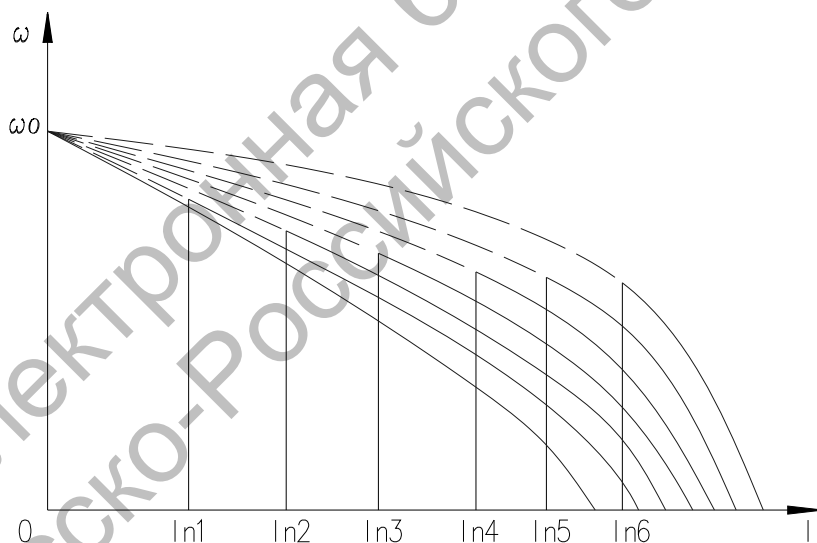


Рис. 5. Электромеханические характеристики электродвигателя

Первый вариант заключается в использовании двух конденсаторов различных емкостей, один из которых является рабочим, а другой – пусковым. Пусковая емкость вводится на этапе формирования пуска двигателя для создания требуемого пускового момента. Управление включением пускового конденсатора осуществляется вручную. На этапе пуска формируется характеристика 2, представленная на рис. 4. Рабочей емкостью обеспечивается характеристика 1.

Недостатками данного варианта управления являются:

- 1) большие значения тока холостого хода электропривода;
- 2) низкая перегрузочная способность;

3) неконтролируемый режим пуска.

Второй вариант основан на использовании нескольких конденсаторов разных емкостей, один из которых имеет постоянное подключение к вспомогательной обмотке электродвигателя, а другие подключаются к ней через силовые ключи автоматически при заданных токах нагрузки. Например, на рис. 4 представлен возможный вариант формирования характеристик M для $C1, C4, C7$.

Электропривод, выполненный по второму варианту управления величиной емкости конденсаторов, позволяет в некоторой степени устранить указанные выше недостатки. Однако в случае применения минимального количества конденсаторов (допустим, трех) могут быть обеспечены хорошие энергетические и динамические характеристики электропривода, а в случае применения большого количества конденсаторов пропорционально усложняются силовая часть и система управления электропривода.

Третий вариант основан на использовании оптимального количества конденсаторов, подключение которых к вспомогательной обмотке электродвигателя осуществляется по заданному алгоритму в двоично-десятичном коде. Это позволяет сократить до минимума количество силовых ключей и упростить систему управления. Диаграмма переключений четырех конденсаторов в зависимости от тока нагрузки представлена на рис. 5.

По результатам проведенного анализа можно сделать вывод, что наиболее целесообразным является третий вариант управления величиной емкости конденсаторов.

Схема электрическая принципиальная силовой части электропривода представлена на рис. 6. Схема электрическая принципиальная силовой части может обеспечить два режима работы:

- 1) режим ручного управления;
- 2) режим автоматического управления с регулированием электромагнитного момента исполнительного электродвигателя при изменении нагрузки на его валу.

В первом случае коммутация элементов силовой части осуществляется путем подключения пусковых конденсаторов $C5 - C7$ и рабочих конденсаторов $C1 - C4, C8$. В этом случае величина емкости рабочих конденсаторов $C1 - C4$ и $C8$ выбирается в соответствии с номинальным током электродвигателя $M1$.

В случае автоматического управления подключается система управления (СУ), функциональная схема которой представлена на рис. 7.

На функциональной схеме представлены следующие блоки:

- 1) БП – блок питания;
- 2) ГТИУ – генератор тактовых импульсов управления;
- 3) БЗ – блок защиты;
- 4) РСУ – релейная система управления;
- 8) БОСТ – блок обратной связи по току;
- 6) АЦП – аналого-цифровой преобразователь;
- 7) ВК – выходной каскад;
- 8) АЭ – асинхронный электродвигатель;
- 10) ТДК – тиристорно-диодный коммутатор;
- 11) БК – блок конденсаторов.

Блок питания обеспечивает питание всех блоков системы управления и синхронизации для блока ГТИУ, который формирует последовательность тактовых импульсов, синхронизированных с фазой включения тиристоров ТДК. Информация в виде импульсов управления поступает с ГТИУ на ВК, выполняющий функции управляемых ключевых устройств, согласующих работу АЦП, ГТИУ и ТДК.

АЦП преобразует сигнал постоянного тока, поступающий с БОСТ, в двоично-

десятичный код управления ТДК. БОСТ формирует зависимость $U_y = f(I_n)$. На БЗ поступает информация с БОСТ и датчика температуры электродвигателя АЭ. БЗ формирует дискретный сигнал управления для РСУ, которая, в свою очередь, производит аварийное отключение РК.

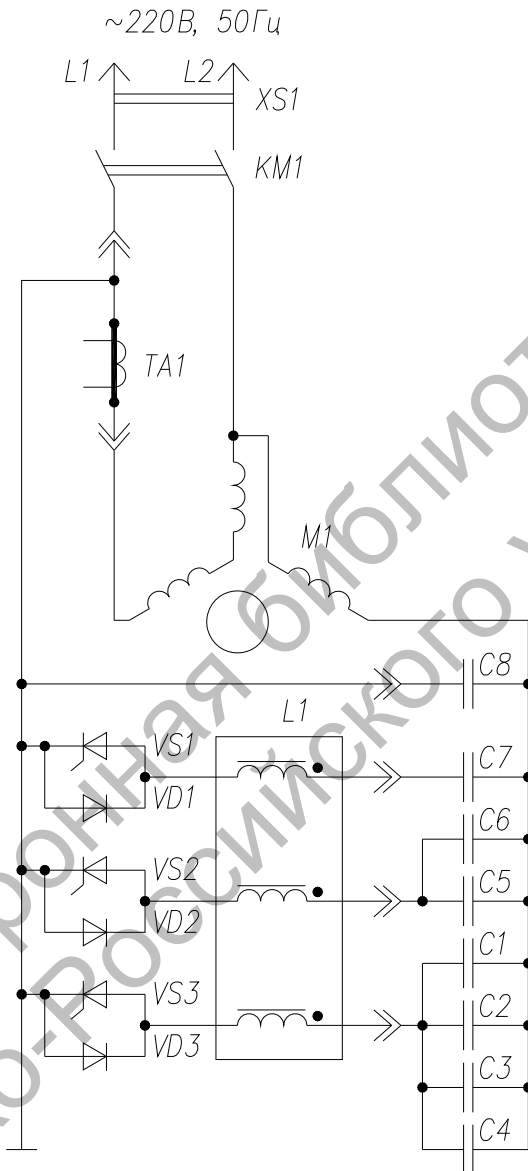


Рис. 6. Схема электрическая принципиальная силовой части электропривода

В силовой части (рис. 6) трансформатор TA1 выполняет функцию трансформатора тока, изменяющего действующее значение тока в обмотках управления электродвигателя M1. Тиристорно-диодный коммутатор, выполненный на элементах VS1 – VS3, VD1 – VD3 совместно с токоограничивающим дросселем L1, служит для подключения группы конденсаторов C1 – C7 к вспомогательной обмотке электродвигателя M1. Конденсатор C8 постоянно включен в цепь вспомогательной обмотки M1 и обеспечивает начальный сдвиг фазы напряжения на обмотке. Алгоритм подключения конденсаторов C1 – C7 в цепь вспомогательной обмотки M1 формиру-

ется АЦП исходя из величины тока нагрузки, пропорционально которому на выходах АЦП устанавливается соответствующее значение двоично-десятичного кода с числом разрядов, равным трем (2^0 , 2^1 , 2^2).

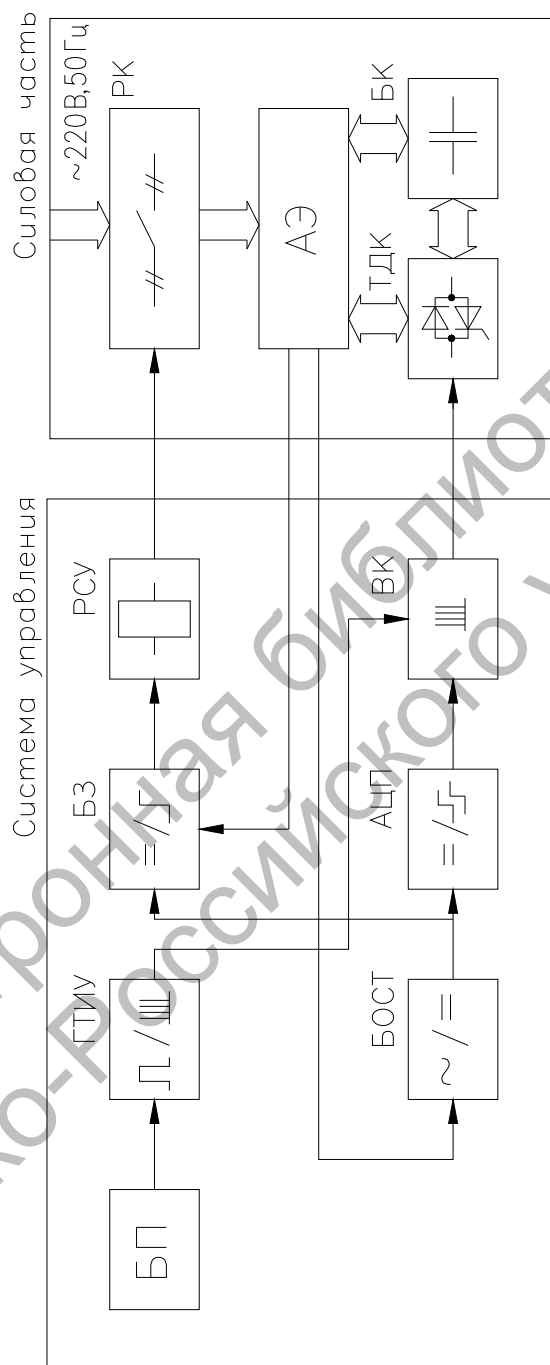


Рис. 7. Функциональная схема электропривода

Подключение конденсатора $C7$ тиристором $VS1$ и диодом $VD1$ соответствует разряду 2^0 . Подключение конденсаторов $C5$, $C6$ тиристором $VS2$ и диодом $VD2$ соответствует разряду 2^1 . Подключение конденсаторов $C1 - C4$ тиристором $VS3$ и диодом $VD3$ соответствует разряду 2^3 . Формирование величины емкости рабочего

конденсатора в цепи вспомогательной обмотки M1, соответствующей коду АЦП, приведено в табл. 1.

Табл. 1. Коды АЦП и алгоритм работы элементов схемы

Двоичный код			Наименование работающих вентиляей	Наименование включенных конденсаторов
0	0	0	Нет	C8
0	0	0	VS1, VD1	C7, C8
0	1	0	VS2, VD2	C5, C6, C8
0	1	1	VS1, VD1 VS2, VD2	C5, C6, C7, C8
1	0	0	VS3, VD3	C1, C2, C3, C4, C8
1	0	1	VS1, VD1 VS3, VD3	C1, C2, C3, C4, C7, C8
1	1	0	VS2, VD2 VS3, VD3	C1, C2, C3, C4, C5, C6, C8
1	1	1	VS1, VD1 VS2, VD2 VS3, VD3	C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8

Управление тиристорами VS1 – VS3, которые определяют величину подключаемой емкости рабочего конденсатора, осуществляется в функции тока нагрузки в цепи рабочей обмотки M1. В зависимости от требуемого вида характеристик электродвигателя M1, таких как $\omega = f(M)$, $\eta = f(M)$ и т. д., в системе управления можно формировать необходимую функцию $U_y = f(I_n)$, которая позволяет их реализовать. В случае, если функция носит линейный характер, формирование алгоритма управления тиристорами VS1 – VS3 осуществляется в соответствии с диаграммой, приведенной на рис. 8.

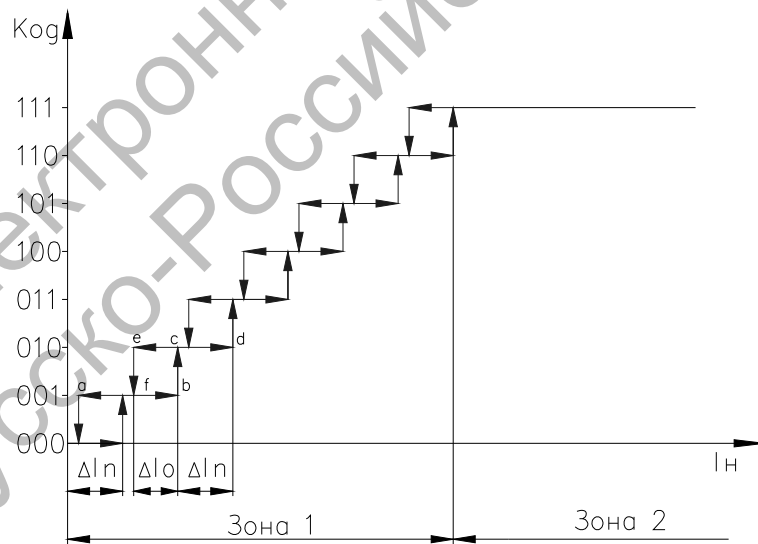


Рис. 8. Алгоритм управления тиристорами VS1 – VS3

В зоне 1 осуществляется управление электромагнитным моментом электродвигателя M1. Зона 2 является неуправляемой. Дискретность переключения тиристорно-диодного коммутатора в прямом направлении составляет ΔI_n , в обратном направлении ΔI_0 . Таким образом, состояние тиристорно-диодного коммутатора определяется величиной $|\Delta I_{ni}|$, $i = 0, 1, 2, \dots, L$. Работа тиристорно-

диодного коммутатора в пределах; двух тактов переключения осуществляется в соответствии с симметричной петлей гистерезиса, представленной на рис. 8 с обозначением abcdef. Зона, соответствующая квазистационарному состоянию тиристорно-диодного коммутатора, определяется как $\Delta I = \Delta I_0 + \Delta I_{\text{п}}$. Данная зона является зоной нечувствительности электропривода к изменениям нагрузки на валу электродвигателя М1.

Таким образом, можно сделать следующие выводы относительно формирования характеристик конденсаторного асинхронного электродвигателя.

Алгоритм управления включением тиристоров тиристорно-диодного коммутатора в соответствии с необходимой функцией $U_{\gamma} = f(I_{\text{н}})$, а также формирование дополнительного сдвига фазы $U_{\text{с}} = f(\omega t)$ относительно $U_{\text{п}} = f(\omega t)$ на требуемую величину γ позволяет обеспечить оптимальные энергетические характеристики электропривода.

В разработанном электроприводе реализовано управление электромагнитным моментом электродвигателя за счет дискретного подключения конденсаторов, величина емкости которых в каждый текущий момент времени определяется током нагрузки рабочей обмотки электродвигателя. Привод имеет защиту электродвигателя от токов короткого замыкания и тепловых перегрузок. Новизной обладает техническое решение по схеме управления коммутацией конденсаторов в цепи обмотки вспомогательной электродвигателя.

Разработан и изготовлен опытный образец электропривода, который прошел испытания в составе деревообрабатывающего станка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Юферов, Ф. М.** Электрические машины автоматических устройств: учебник для студентов вузов / Ф. М. Юферов. – М. : Высш. шк., 1976. – 416 с. : ил.
2. **Кацман, М. М.** Электрические машины : учебник для студентов средних проф. учебных заведений / М. М. Кацман. – 3-е изд., испр. – М. : Высш. шк., 2000. - 463 с. : ил.

Белорусско-Российский университет
Материал поступил 16.02.2006

H. Bachkarou, V. Lapitski, V. Sharkou
Optimization of parameters of management
single-phase the condenser engine with
the short-circuited rotor
Belarusian-Russian University

In article optimization of parameters of management by the single-phase condenser engine with a short-circuited rotor is resulted in view of change of a magnetic stream in an air backlash of the electric motor because of distortion of a circular rotating field. The estimation of a way of reception of a circular rotating field is given.