

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА МОЩНОСТИ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО МОМЕНТА, РАЗВИВАЕМОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ ПРИ ВЕКТОРНО-АЛГОРИТМИЧЕСКОМ УПРАВЛЕНИИ В УСЛОВИЯХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Т.М. Халина, М.И. Стальная, С.Ю. Еремочкин, А.И.Тищенко

*В статье рассмотрена методика расчета электрической мощности и электромагнитного момента трехфазного асинхронного электродвигателя, запуск и работа которого осуществляется от однофазной сети посредством векторно-алгоритмической коммутации статорных обмоток. Предложена блок-схема алгоритма расчета мощности и электромагнитного момента, развиваемого электродвигателем при векторно-алгоритмическом управлении.*

*Ключевые слова: трехфазный асинхронный электродвигатель, векторно-алгоритмический метод, электропривод.*

Как показали проведенные расчетные исследования, использование известных методик определения мощности и электромагнитного момента трехфазного асинхронного электродвигателя, запуск и работа которого осуществляется от однофазной сети посредством векторно-алгоритмической коммутации статорных обмоток [1,2], невозможно по причине отсутствия непрерывной синусоидальности напряжения, поступающего на обмотки электродвигателя, и неравенства напряжения по величине одновременно в каждый момент времени на разных статорных обмотках. В связи с этим, был применен метод нахождения среднего значения потокосцепления и разработан специализированный векторно-алгоритмический метод расчета мощности и электромагнитного момента трехфазного электродвигателя, питающегося от однофазной сети, при векторно-алгоритмическом управлении.

В результате проведенных многочисленных исследований [3] порядок расчета мощности и электромагнитного момента, развиваемого электродвигателем, с учетом пояснений, показанных на осциллограмме (рисунок 1), сформулирован следующим образом.

Прежде всего, задаются параметры электродвигателя: номинальное напряжение ( $U_n$ ), число полуволн напряжения в периоде регулирования ( $N$ ), частота питающей сети ( $f_{\text{сети}}$ ), количество промежутков  $\gamma$  коммутации (переключений)  $Z_L$  (рисунок 1) в одном периоде регулируемой частоты, количество участков  $n$  тактирования  $K_j$  в каждом из про-

межутков коммутации  $Z_L$ , а также среднее значение вектора напряжения (по модулю) на статорных обмотках двигателя при питании от трехфазного источника электроснабжения  $U_{\text{ср.3ф}}$ . При этом количество промежутков коммутации  $\gamma$  одинаково для каждой из трех обмоток (А, В, С).

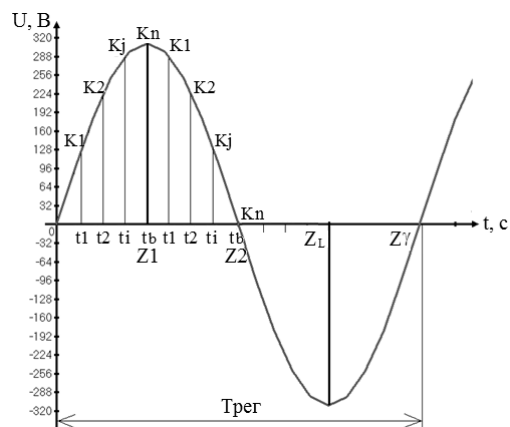


Рисунок 1 – Осциллограмма напряжения, поступающего на статорные обмотки электродвигателя

где:

$L$  изменяется от 1 до  $\gamma$ , где  $\gamma$  – количество промежутков коммутации в периоде регулирования;

$t_i$  – моменты времени;

$j$  изменяется от 1 до  $n$ , где  $n$  – количество участков тактирования в промежутке коммутации  $Z_L$ .

Затем рассчитываются величина каждого промежутка коммутации  $Z_L$  в градусах (секундах), и величина каждого участка тактирования  $K_j$  внутри участка коммутации  $Z_L$  в градусах (секундах), причем число участков тактирования  $K_j$  в каждом из промежутков коммутации  $Z_L$  периода регулируемой частоты является постоянной величиной равной  $n$ .

Определяется способ соединения статорных обмоток электродвигателя – «треугольник», «звезда», «разорванная звезда» и «звезда с нулевой точкой», на начальном этапе порядок расчета для каждого способа соединения статорных обмоток различный.

**Порядок расчета суммарного значения векторов напряжения статорных обмоток электродвигателя в периоде регулирования для соединения обмоток статора в «треугольник».** В каждом из участков тактирования  $K_j$  определяется для каждой из обмоток приложенное к ней напряжение  $U_{обм,j}$  и при этом учитывается направление протекающего по ней тока, а, следовательно, и потока. Всегда для одной из обмоток напряжение будет либо  $+U_m \cdot \sin \cdot \omega t_i$ , тогда на каждой из двух других напряжение будет  $-\frac{U_m}{2} \cdot \sin \cdot \omega t_i$ , либо  $-U_m \cdot \sin \cdot \omega t_i$ , тогда на каждой из двух других напряжение будет  $+\frac{U_m}{2} \cdot \sin \cdot \omega t_i$ . В течение всего времени  $t_i$  внутри участка  $K_j$  напряжение считается постоянным. При этом на каждом из  $K_j$  участков тактирования значение напряжения находится по формуле:

$$U_{KjZ_L} = U_m \cdot \sin \cdot \omega t_i \quad (1)$$

где  $U_{KjZ_L}$  - значение напряжения на участке тактирования  $K_j$  в промежутке коммутации  $Z_L$ ;

$U_m$  - максимальное значение питающего синусоидального напряжения, поступающего на статорные обмотки электродвигателя;

$\omega$  - угловая частота переменного питающего напряжения.

$$U_m = \sqrt{2} \cdot U_{ном}; \quad (2)$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f, \quad (3)$$

где  $f$  – частота напряжения сети (50 Гц).

В каждом из  $K_j$  участков тактирования производится векторное сложение по теореме косинусов двух векторов, величина каждо-

го из которых равна  $+\frac{U_m}{2} \cdot \sin \cdot \omega t_i$  или

$-\frac{U_m}{2} \cdot \sin \cdot \omega t_i$ . Например, для векторов  $A$  и  $B$  формула будет иметь вид:

$$\begin{aligned} \vec{U}_{KjZ_L A} + \vec{U}_{KjZ_L B} &= \\ &= \sqrt{U_{KjZ_L A}^2 + U_{KjZ_L B}^2 + 2 \cdot U_{KjZ_L A} \cdot U_{KjZ_L B} \cdot \cos \alpha} \end{aligned} \quad (4)$$

Причем сначала производится векторное сложение по теореме косинусов, например, двух значений с напряжением либо  $+\frac{U_m}{2} \cdot \sin \cdot \omega t_i$ , либо  $-\frac{U_m}{2} \cdot \sin \cdot \omega t_i$ , а так как угол между ними  $\alpha = 120^\circ$ , значения напряжения на обмотках берутся без учета знака. Затем к рассчитанному значению прибавляется третье значение напряжения на обмотке  $C$ , которое будет либо  $+U_m \cdot \sin \cdot \omega t_i$ , либо  $-U_m \cdot \sin \cdot \omega t_i$ . Тогда, например, для участка  $K1$  промежутка  $Z_L$  напряжение по величине (модулю) может быть вычислено по формуле:

$$U_{K1Z_L ABC} = U_{K1Z_L AB} + U_{K1Z_L C}; \quad (5)$$

где  $U_{K1Z_L ABC}$  - суммарное значение векторов напряжений статорных обмоток  $A$ ,  $B$  и  $C$  на участке тактирования  $K1$  в периоде коммутации  $Z_L$ .

$U_{K1Z_L AB}$  - суммарное значение векторов напряжения статорной обмотки  $A$  и  $B$  на участке тактирования  $K1$  в периоде коммутации  $Z_L$ ;

$U_{K1Z_L C}$  - значение вектора напряжения статорной обмотки  $C$  на участке тактирования  $K1$  в периоде коммутации  $Z_L$ .

Таким образом, с учетом вышеизложенного, значения вектора напряжения находятся для каждого участка тактирования  $K_j$  в каждом из промежутков коммутации  $Z_L$  по формуле:

$$\vec{U}_{KjZ_L ABC} = \vec{U}_{KjZ_L A} + \vec{U}_{KjZ_L B} + \vec{U}_{KjZ_L C}, \quad (6)$$

где  $\vec{U}_{KjZ_L ABC}$  - вектор суммарного значения векторов напряжения статорных обмоток  $A$ ,  $B$  и  $C$  электродвигателя на участке тактирования  $K_j$  в периоде коммутации  $Z_L$ ;

$\vec{U}_{KjZ_L A}$ ,  $\vec{U}_{KjZ_L B}$ ,  $\vec{U}_{KjZ_L C}$  - вектора напряжения обмотки  $A$ ,  $B$  и  $C$  соответственно на участке тактирования  $K_j$  в периоде коммутации  $Z_L$ .

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА МОЩНОСТИ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО МОМЕНТА, РАЗВИВАЕМОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ ПРИ ВЕКТОРНО-АЛГОРИТМИЧЕСКОМ УПРАВЛЕНИИ

Причем, так как каждый раз при определении  $U_{KjZ_{IABC}}$  действующие значения напряжения на двух обмотках, каждое из которых равно  $\pm \frac{U_m}{2} \cdot \sin \cdot \omega t_i$ , складываются по теореме косинусов, а угол между ними всегда 120 эл. градусов, то суммарное напряжение этих двух векторов равняется:

$$U_{KjZ_{LA}} + U_{KjZ_{LB}} = U_{KjZ_{LC}}.$$

Тогда вектор суммарного значения векторов напряжения статорных обмоток А, В и С электродвигателя на участке тактирования Kj в периоде коммутации равен:

$$U_{KjZ_{LABC}} = 2U_{KjZ_{LA}} = 2U_{KjZ_{LB}} = 2U_{KjZ_{LC}}.$$

**Порядок расчета суммарного значения векторов напряжения статорных обмоток электродвигателя в промежутке коммутации для соединения статорных обмоток электродвигателя в «звезду».** В каждый из промежутков коммутации  $Z_L$  определяется для каждой из обмоток приложенное к ней напряжение  $U_{обм.j}$  с учетом направления протекающего по ней тока: всегда для одной из обмоток напряжение будет либо  $+\frac{2U_m}{3} \cdot \sin \cdot \omega t_i$ , тогда на каждой из двух других напряжение будет  $-\frac{U_m}{3} \cdot \sin \cdot \omega t_i$ , либо  $-\frac{2U_m}{3} \cdot \sin \cdot \omega t_i$ , тогда на каждой из двух других напряжение будет  $+\frac{U_m}{3} \cdot \sin \cdot \omega t_i$ .

В каждом из Kj участков тактирования значения напряжения на обмотках А, В и С находятся по формуле (1). Значения  $U_m$  и  $\omega$  определяются по формулам (2) и (3) соответственно. В каждом из Kj участков тактирования производится векторное сложение полученных значений напряжений на обмотках А, В и С по формулам (4) и (5). При расчетах все значения напряжений на статорных обмотках электродвигателя берутся по модулю.

Если напряжение на двух обмотках  $U_{обм.j} = 0$ , то результирующим будет напряжение на третьей обмотке. Если напряжение на одной из обмоток,  $U_{обм.j} = 0$ , то угол между двумя другими векторами будет либо  $\alpha = 120^\circ$  при одинаковом направлении токов в обмотках (положительном или отрицатель-

ном), либо  $\alpha = 60^\circ$  при разном направлении токов в обмотках.

Если напряжение есть на всех трех обмотках, то сначала суммируются по модулю вектора напряжений двух обмоток одновременно с положительным или с отрицательным направлением тока, причем угол между данными векторами составляет  $\alpha = 120^\circ$ . Затем к полученному значению прибавляется напряжение на третьей обмотке ( $\alpha = 0^\circ$ ) по модулю. Таким образом, получают суммарное значение напряжения на статорных обмотках в каждый из Kj участков (формула 6).

Далее алгоритм расчета одинаков и для схемы соединения статорных обмоток звезда и схемы треугольник.

**Порядок расчета суммарного значения векторов напряжения статорных обмоток электродвигателя в промежутке коммутации для соединения статорных обмоток электродвигателя по схемам «звезда с нулевой точкой» и «разорванная звезда».** В каждый из промежутков коммутации  $Z_L$  определяется для каждой из обмоток приложенное к ней напряжение  $U_{обм.j}$  с учетом направления протекающего по ней тока: либо  $+U_m \cdot \sin \cdot \omega t_i$ , либо  $-U_m \cdot \sin \cdot \omega t_i$ , либо  $U_{обм} = 0$  (обмотка не работает).

В каждом из Kj участков тактирования значения напряжения на обмотках А, В и С находятся по формуле (1). Значения  $U_m$  и  $\omega$  определяются по формулам (2) и (3) соответственно. В каждом из Kj участков тактирования производится векторное сложение полученных значений напряжений на обмотках А, В и С по формулам (4) и (5). При расчетах все значения напряжений на статорных обмотках электродвигателя берутся по модулю.

Если напряжение на двух обмотках  $U_{обм.j} = 0$ , то результирующим будет напряжение на третьей обмотке. Если напряжение на одной из обмоток,  $U_{обм.j} = 0$ , то угол между двумя другими векторами будет либо  $\alpha = 120^\circ$  при одинаковом направлении токов в обмотках (положительном или отрицательном), либо  $\alpha = 60^\circ$  при разном направлении токов в обмотках.

Если напряжение есть на всех трех обмотках, то сначала суммируются по модулю вектора напряжений двух обмоток одновременно с положительным или с отрицательным направлением тока, причем угол между данными векторами составляет  $\alpha = 120^\circ$ . Затем к полученному значению прибавляется

напряжения на третьей обмотке ( $\alpha = 0^\circ$ ) по модулю. Таким образом, получают суммарное значение напряжения на статорных обмотках в каждый из  $K_j$  участков (формула 6).

Далее алгоритм расчета одинаков и для схемы соединения статорных обмоток «звезда», «треугольник», «разорванная звезда» и «звезда с нулевой точкой».

**Общая часть порядка расчета мощности и электромагнитного момента, развиваемого электродвигателем при векторно-алгоритмическом управлении, для соединения статорных обмоток электродвигателя по схеме «звезда», «треугольник», «разорванная звезда» и «звезда с нулевой точкой».**

Находится суммарное значение векторов напряжения статорных обмоток А, В и С электродвигателя в промежутке коммутации  $Z_l$ :

$$U_{ZlABC} = \sum_{j=1}^n U_{KjZlABC} = U_{K1ZlABC} + U_{K2ZlABC} + \dots + U_{KnZlABC}; \quad (7)$$

где  $U_{ZlABC}$  - суммарное значение векторов напряжения статорных обмоток электродвигателя А, В и С в промежутке коммутации  $Z_l$ ;

Суммарное значение векторов напряжения статорных обмоток электродвигателя А, В и С в периоде регулирования Трег находится по формуле:

$$U_{1\phi} = \sum_{l=1}^y U_{Z_lABC} = U_{Z1ABC} + U_{Z2ABC} + \dots + U_{ZyABC}; \quad (8)$$

где  $U_{1\phi}$  - суммарное значение векторов напряжения трех статорных обмоток электродвигателя за период регулирования Трег.

Итак, общая формула расчета суммарного значения векторов напряжения трех статорных обмоток электродвигателя за период регулирования Трег.:

$$U_{1\phi} = \sum_{L=1}^y U_{Z_LABC} \sum_{j=1}^n U_{KjABC} = (U_{K1Z1ABC} + U_{K2Z1ABC} + \dots + U_{KnZ1ABC}) + (U_{K1Z2ABC} + U_{K2Z2ABC} + \dots + U_{KnZ2ABC}) + \dots + (U_{K1ZyABC} + U_{K2ZyABC} + \dots + U_{KnZyABC}); \quad (9)$$

где  $U_{KnZyABC}$  - значение векторов напряжения статорных обмоток А, В и С на участке тактирования  $K_j$  промежутка коммутации  $Z_L$ .

После этого, находится среднее значение вектора напряжения  $U_{cp.1\phi}$  от всех работающих статорных обмоток за период регулирования (когда поле статора совершает один оборот) электродвигателя, питающегося от однофазного источника электроэнергии, по формуле:

$$U_{cp.1\phi} = \frac{U_{1\phi}}{n \cdot \gamma}; \quad (10)$$

Как известно [4], электромагнитный момент электродвигателя определяется по формуле:

$$M = \frac{m_1 U_1^2 \frac{r_2'}{s}}{\omega_0 \left[ \left( r_1 + \frac{r_2'}{s} \right)^2 + (x_1 + x_2')^2 \right]}, \quad (11)$$

где  $U_1$  - действующее (эфффективное) значение напряжения на статорных обмотках электродвигателя.

При постоянных значениях активного и индуктивного сопротивлений обмоток статора, реактивного сопротивления рассеяния, скольжения и оборотов электродвигателя можно считать, что момент пропорционален квадрату приложенного напряжения, то есть:

$$M \equiv m_1 \cdot U_1^2. \quad (12)$$

Вследствие того, что при сравнении момента, развиваемого электродвигателем при питании от однофазной сети, с моментом, развиваемым электродвигателем при питании от трехфазной сети, из-за особенностей векторно-алгоритмического управления, когда каждая из трех обмоток получает каждый раз различное по величине напряжение, целесообразнее производить сопоставление по среднему значению вектора напряжения статорных обмоток с учетом числа работающих фаз  $m_1$ . Тогда формулу (12) можно представить в виде (при питании двигателя от однофазной сети):

$$M \equiv U_{cp.1\phi}^2. \quad (13)$$

При питании от трехфазной сети:

$$M \equiv U_{cp.3\phi}^2. \quad (14)$$

где:

$U_{cp.3\phi}$  - среднее значение вектора напряжения от действия трех статорных обмоток электродвигателя при питании от трехфазного источника электроснабжения.

Тогда, с учетом формул (11), (13) и (14), можно найти отношение момента, развиваемого электродвигателем при питании от однофазной сети к моменту, развиваемому электродвигателем при питании от трехфазной сети, в процентах, как отношение среднего значения вектора напряжения, при питании электродвигателя от трехфазного источника электроснабжения, к среднему значению вектора напряжения, вычисленного по вышеприведенной методике, но при включении электродвигателя в однофазную сеть:

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА МОЩНОСТИ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО МОМЕНТА, РАЗВИВАЕМОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ ПРИ ВЕКТОРНО-АЛГОРИТМИЧЕСКОМ УПРАВЛЕНИИ

$$\frac{M_{1\phi}}{M_{3\phi}} \equiv \left( \frac{U_{\text{ср.1}\phi}}{U_{\text{ср.3}\phi}} \right)^2 \cdot 100\%, \quad (15)$$

где  $M_{1\phi}$  - номинальный момент, развиваемый электродвигателем при питании от однофазной сети;

$M_{3\phi}$  - номинальный момент, развиваемый электродвигателем при питании от трехфазной сети;

Как известно мощность на валу электродвигателя определяется развиваемым электродвигателем моментом и скоростью, в соответствии с формулой:

$$P \approx M_{\text{дв}} \cdot \omega \quad (16)$$

Тогда, при допущении, что развиваемая скорость в обоих случаях одинакова, то есть  $\omega = \text{const}$ , и с учетом формул (15) и (16) получаем:

$$P_{1\phi} \approx M_{1\phi}; \quad (17)$$

$$P_{3\phi} \approx M_{3\phi}, \quad (18)$$

где  $P_{1\phi}$  - мощность на валу электродвигателя, питающегося от однофазной сети;

$P_{3\phi}$  - мощность на валу электродвигателя, питающегося от трехфазной сети.

Из формул (14), (17) и (18) отношение мощности на валу электродвигателя, при питании от однофазной сети к мощности на валу того же электродвигателя, при включении в трехфазную сеть, в процентах, находится по формуле:

$$\frac{P_{1\phi}}{P_{3\phi}} \equiv \frac{M_{1\phi}}{M_{3\phi}} \equiv \frac{U_{\text{ср.1}\phi}^2}{U_{\text{ср.3}\phi}^2} \cdot 100\% \quad (19)$$

На основании приведенной методики расчета мощности и электромагнитного момента, развиваемого электродвигателем при векторно-алгоритмическом управлении, составлена обобщенная блок-схема алгоритма расчета (рисунок 2).

Как видно из обобщенной блок-схемы алгоритма расчета мощности и электромагнитного момента, развиваемого электродвигателем при векторно-алгоритмическом управлении (рисунок 2), порядок расчета до выбора типа соединения статорных обмоток электродвигателя одинаков для схем «звезда», «треугольник», «разорванная звезда» и «звезда с нулевой точкой». Для каждого из типов соединения обмоток статора порядок расчета отличается по причине различного способа сложения векторов напряжения статорных обмоток и различной величины напряжения, приложенного к ним. После этапа нахождения напряжения на каждом из участ-

ков тактирования  $K_j$  для выбранного типа соединения обмоток статора, порядок расчета одинаков и заключается в нахождении отношения мощности на валу электродвигателя, при питании от однофазной сети к мощности на валу того же электродвигателя, при включении в трехфазную сеть.

С целью минимизации и автоматизации расчетов, вышеописанная методика расчета была изменена. Каждый из участков коммутации  $Z_L$  является криволинейной трапецией с площадью  $S$ . Криволинейную трапецию можно представить как ступенчатую фигуру, составленную из прямоугольников с основанием  $[t_0, t_1], [t_1, t_2], \dots, [t_{i-1}, t_i]$ . За площадь криволинейной трапеции принимается предел суммы площадей прямоугольников при стремлении величины отрезка  $t_i$  к нулю:

$$S = \lim_{t_i \rightarrow 0} \sum_{k=1}^{n_i} f(c_k) \Delta t_i; \quad (20)$$

где  $c_k$  - произвольно взятые точки.

Так как определенный интеграл [5] от функции  $f(x)$  на отрезке  $[a, b]$  есть число, равное пределу интегральных сумм для заданной функции при стремлении к нулю величины отрезка, то формула (20) можно представить в виде:

$$S = \lim_{t_i \rightarrow 0} \sum_{k=1}^n f(c_k) \Delta x_k = \int_a^b f(x) dx \quad (21)$$

В нашем случае функцией интегрируемой на отрезке  $[a, b]$  будет  $f(x) = U_m \cdot \sin \cdot \omega t_i$ . Нижними и верхними пределами интегрирования  $a$  и  $b$  соответственно являются моменты времени  $t_{i-1}$  и  $t_i$ . Переменной интегрирования  $x$  является время  $t_i$ .

Тогда вместо нахождения на каждом из  $K_j$  участков тактирования значения напряжения по формуле (1), возможно сразу находить значения напряжения в промежутке коммутации  $Z_L$  для каждой из статорных обмоток двигателя по формуле:

$$U_{Z_L} = \int_{t_{i-1}}^{t_i} U_m \cdot \sin \cdot \omega t_i dt, \quad (22)$$

где  $U_{Z_L}$  - суммарное значение напряжений статорной обмотки двигателя в промежутке коммутации  $Z_L$ .

Далее полученные значения напряжения  $U_{Z_L}$  складываются на каждом участке в соответствии с вышеописанным алгоритмом по теореме косинусов (формула 4). Начиная с нахождения суммарного значения векторов напряжения трех статорных обмоток электродвигателя за

ХАЛИНА Т.М., СТАЛЬНАЯ М.И., ЕРЕМОЧКИН С.Ю., ТИЩЕНКО А.И.

период регулирования Трег (формула 8), порядок расчета будет одинаков.

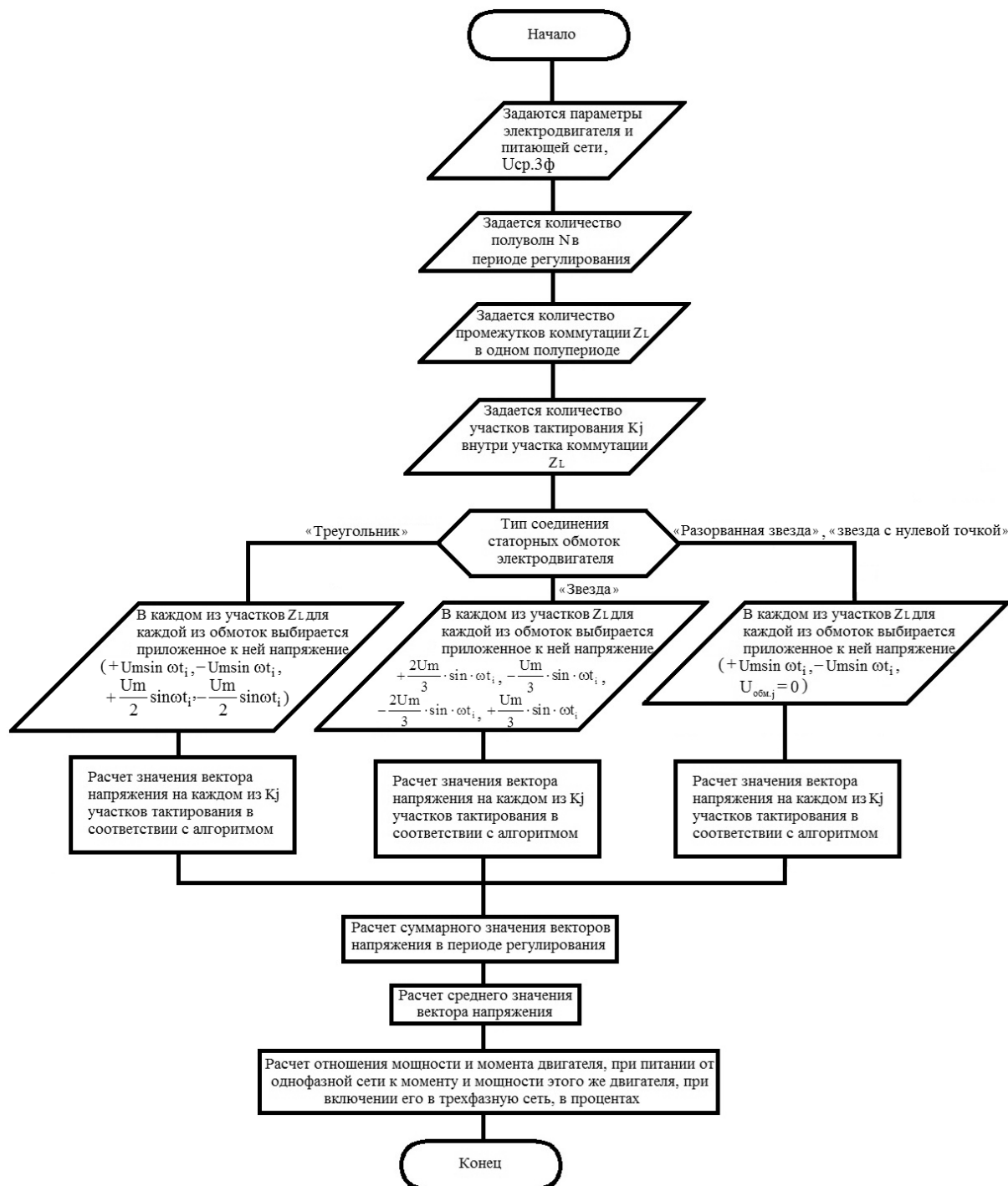


Рисунок 2 - Обобщенная блок-схема алгоритма расчета мощности и электромагнитного момента, развиваемого электродвигателем, при векторно-алгоритмическом управлении

Таким образом, с помощью предлагаемой методики можно производить расчет электрической мощности и электромагнитного момента, развиваемого трехфазным асинхронного электродвигателем, питание которо-

го осуществляется от однофазной сети посредством векторно-алгоритмического управления, при соединении обмоток статора по схеме «звезда», «треугольник», «разорванная звезда» и «звезда с нулевой точкой».

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА МОЩНОСТИ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО МОМЕНТА, РАЗВИВАЕМОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ ПРИ ВЕКТОРНО-АЛГОРИТМИЧЕСКОМ УПРАВЛЕНИИ

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Однофазно-трехфазный транзисторный реверсивный коммутатор, ведомый однофазной сетью: пат. 109356 Рос. Федерация. № 2011120731/07; заявл. 23.05.2011; опубл. 27.10.2011, Бюл. №30. – 2 с.

2. Преобразователь частоты, ведомый однофазной сетью переменного тока, для питания однофазного асинхронного двигателя: пат. 109938 Рос. Федерация. № 2011120730/07; заявл. 23.05.2011; опубл. 10.10.2011, Бюл. №30. – 2 с.

3. Халина, Т.М. Оценка эффективности использования трехфазных асинхронных электродвигателей в однофазной сети при векторно-алгоритмическом управлении / Т.М. Халина, М.И. Стальная, С.Ю. Еремочкин/ Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2011. №12. С. 103-107.

4. Коломиец, А.П. Электропривод и электрооборудование/ А.П. Коломиец, Н.П. Кондратьева, И.Р. Владыкин, С.И. Юран//– М.: Колос, 2006. – 328 с.

5. Ильин, В.А. Высшая математика/ В.А. Ильин, А.В. Куркина // – М.: Проспект, 2012. – 608 с.

**Халина Т.М.**, д.т.н., проф., заведующий кафедрой «Общая электротехника» АлтГТУ им. И.И. Ползунова, тел.: 8(3852)29-07-88;

**Стальная М.И.**, к.т.н., проф. кафедры «Автоматизированный электропривод и электротехнологии» АлтГТУ им. И.И. Ползунова;

**Еремочкин С.Ю.**, аспирант кафедры «Автоматизированный электропривод и электротехнологии» АлтГТУ им. И.И. Ползунова;

**Тищенко А.И.**, проф., кафедра «Общая электротехника» АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail: [tischenko2004@inbox.ru](mailto:tischenko2004@inbox.ru).