

Рис. Изменение содержания азота в почве по годам:  
1 – низкое содержание азота; 2 – очень низкое содержание азота

### Выводы

1. Выбор технологии возделывания сельскохозяйственных культур должен производиться с учетом конкретных почвенно-климатических условий зоны возделывания, состояния почвенной структуры и воздействия технологии на почву.

2. Продолжительность весенне-полевых работ и энергетические затраты при технологии прямого посева значительно меньше, чем при традиционной технологии возделывания зерновых культур.

3. В степной зоне при возделывании зерновых культур прямым посевом семян в почву необходимо один раз в 3-4 года производить основную обработку почвы на глубину до 30 см.

### Библиографический список

1. Черепанов Г.Г. Нулевая обработка почвы: Итоги исследований и опыт применения. – М.: НИИТЭИ Агропром, 1994.
2. Калинин А.Б., Сидыганов Ю.Н. Система обработки почвы в энергосберегающих технологиях // Аграрная наука. – 2004. – № 1.
3. Нугис Э.Ю. Оценка системы «машина-почва-растение» при различных сочетаниях механического воздействия на почву // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1987. – № 3.
4. Козаченко А.П. Обоснование приемов рационального использования, обработки и мелиорации земель сельскохозяйственного назначения Челябинской области. – Челябинск, 1999.
5. Ганс Иени. Факторы почвообразования. – М.: Гос. изд. иностр. лит-ры, 1948.



УДК 62-83

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

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТРЕХФАЗНЫХ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ В ОДНОФАЗНОЙ СЕТИ ПРИ ВЕКТОРНО-АЛГОРИТМИЧЕСКОМ УПРАВЛЕНИИ

**Ключевые слова:** векторно-алгоритмическое управление, электродвигатель, электропривод, эффективность, однофазная сеть, фермерские

хозяйства, конденсаторный запуск, расчет мощности, расчет момента, векторно-алгоритмический метод расчета.

**Введение**

Огромная роль в покрытии дефицита продуктов питания в настоящее время отводится фермерским и индивидуальным хозяйствам [1]. Число фермерских хозяйств в стране быстро росло в первой половине 1990-х, а в настоящее время держится на уровне 260 тыс. Более половины продовольствия современной России, согласно статистике, производят индивидуальные хозяйства населения [2].

При проектировании систем электрификации фермерских хозяйств, расположенных в отдаленной местности, применяются более простые и экономичные решения по распределению электроэнергии. По этой причине для отдельных отдаленных фермерских хозяйств, зачастую экономически более оправдано применение однофазной системы электроснабжения.

Цель исследования – разработка векторно-алгоритмического метода расчета мощности и электромагнитного момента трехфазного асинхронного электродвигателя при питании от однофазного источника электроснабжения. Методика расчета рассмотрена на примере однофазно-трехфазного транзисторного реверсивного коммутатора, ведомого однофазной сетью. Доказана эффективность векторно-алгоритмического метода управления трехфазным асинхронным электродвигателем.

**Выбор типа электропривода для отдаленных фермерских хозяйств**

Был проведен анализ [3], в результате которого установлено, что для электропривода сельскохозяйственных электрифицированных машин наиболее рационально применение трехфазного асинхронного электродвигателя.

Зачастую для включения трехфазного электродвигателя в однофазную сеть используется конденсаторный метод [4]. Один из главных минусов данного метода заключается в низком значении момента и развиваемой электродвигателем мощности (порядка 41%). Используя однофазно-трехфазный транзисторный реверсивный коммутатор, ведомый однофазной сетью, совместно с векторно-алгоритмическим методом коммутации обмоток электродвигателя, вышеупомянутые недостатки могут быть устранены [5].

На рисунке 1 представлен один из возможных способов осуществления векторно-алгоритмического управления асин-

хронным электродвигателем при питании от однофазной сети при помощи однофазно-трехфазного транзисторного реверсивного коммутатора, ведомого однофазной сетью.

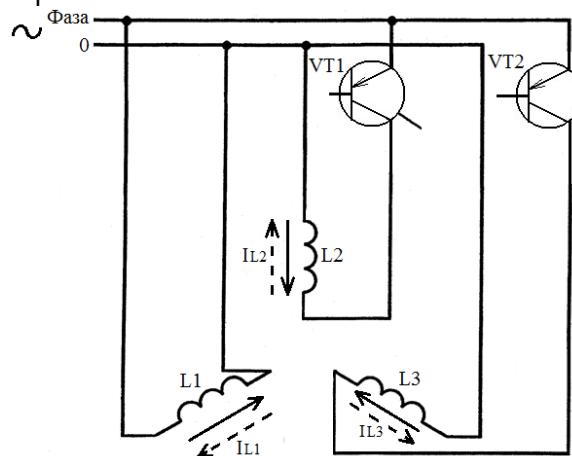


Рис. 1. Однофазно-трехфазный транзисторный реверсивный коммутатор, ведомый однофазной сетью

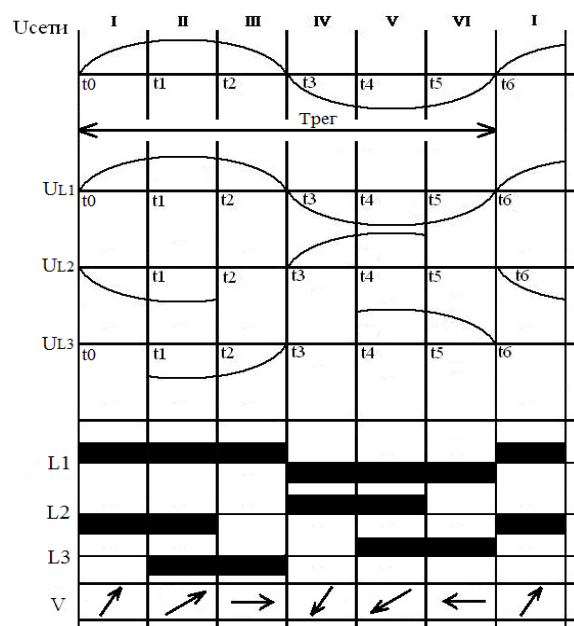


Рис. 2. Пофазное изменение напряжения направления тока в обмотках статора двигателя

Векторно-алгоритмическое управление однофазно-трехфазного транзисторного реверсивного коммутатора, ведомого однофазной сетью, осуществляется подачей в статорные обмотки трехфазного асинхронного двигателя однофазного переменного напряжения (рис. 2) посредством коммутации соответствующих полупроводниковых ключей, обеспечивающих получение вращающегося магнитного поля статора, состоящего из 6 фиксированных положений (рис. 3). Кроме того, используется свойство транзисторов про-

пускать ток в ключевом режиме в от однофазной сети при помощи однофазно-трехфазного транзисторного реверсивного коммутатора, ведомого однофазной сетью в прямом и обратном направлениях вследствие симметричной структуры.

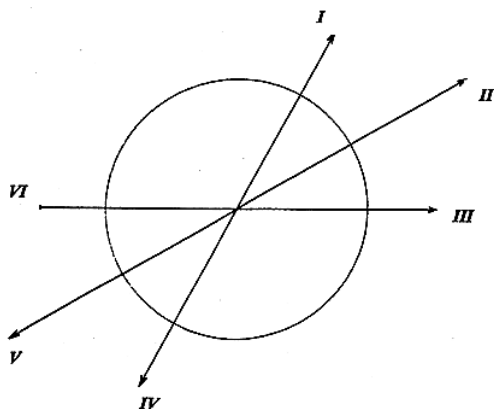


Рис. 3. Векторная диаграмма кругового вращающегося поля статора электродвигателя

### Векторно-алгоритмический метод расчета мощности и электромагнитного момента

Для расчета мощности и электромагнитного момента, развиваемого электродвигателем при векторно-алгоритмическом управлении, разработан векторно-алгоритмический метод расчета. Суть расчета мощности и электромагнитного момента, развиваемого электродвигателем при векторно-алгоритмическом управлении, заключается в следующем.

Как известно, отличие скоростей вращения магнитного поля статора и скорости ротора характеризуется величиной, называемой скольжением [6]:

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1}, \quad (1)$$

где  $n_1$  – число оборотов вращающегося магнитного поля статора двигателя;

$n_2$  – число оборотов ротора.

Из принципа работы трехфазного асинхронного двигателя известно, что при подведении трехфазного напряжения к трехфазной обмотке статора в двигателе образуется магнитное поле, вращающееся с числом оборотов:

$$n_1 = \frac{1}{p} \cdot f | \text{об/сек} | = \frac{60f_1}{p} | \text{об/мин} | \quad (2)$$

где  $p$  – число пар полюсов;

$f_1$  – частота.

Ротор двигателя вращается в направлении вращения поля со скоростью  $n_2$  (1) и (2), равной:

$$n_2 = n_1(1-s) = \frac{60 \cdot f_1}{p} \cdot (1-s). \quad (3)$$

Неподвижный асинхронный двигатель с включенным в каждую фазу добавочным сопротивлением  $r_2 \frac{1-s}{s}$  в энергетическом отношении эквивалентен тому же двигателю [6] в режиме нагрузки, вращающемуся со скольжением  $s$  и развивающему на валу момент  $M$ .

Полная мощность, подведенная к ротору при неподвижном состоянии:

$$P_{12} = m_2 \cdot I_2^2 \cdot \frac{r_2}{s}. \quad (4)$$

В реальном трехфазном асинхронном двигателе электромагнитная мощность  $P_{12}$  равна мощности  $P_1$ , потребляемой двигателем из сети, за вычетом мощности электрических потерь  $P_{\sigma 1}$  в обмотке статора и потерь в стали статора  $P_{c1}$ , то есть

$$P_{12} = P_1 - P_{\sigma 1} - P_{c1}. \quad (5)$$

Вследствие тождественности электромагнитного состояния реального (вращающегося) и эквивалентного (неподвижного) двигателей значения электромагнитной мощности  $P_{12}$ , передаваемой посредством магнитного поля со статора на ротор, в обоих режимах одинаковы. Одинаковы также электрические потери  $P_{\sigma 2}$  во вторичной обмотке (обмотка ротора), имеющей в обоих случаях активное сопротивление  $r_2$ .

В режиме работы двигателя при вращающемся роторе разность мощностей  $P_{12}$  и  $P_{\sigma 2}$  превращается в механическую мощность  $P_2'$  (полная механическая мощность), развиваемую ротором:

$$P_2' = P_{12} - P_{\sigma 2}. \quad (6)$$

Потерями в стали ротора можно пренебречь, так как в режиме работы двигателя скольжение  $s$  невелико, частота перемагничивания стали ротора вращающимся полем  $f_2 = s \cdot f_1$  также весьма мала, а потери в стали в этом случае незначительны.

С учетом уравнения (4) выражение (6) может быть записано следующим образом:

$$P_2' = P_{12} - P_{s2} = m_2 \cdot I_2^2 \frac{r_2}{s} - m_2 I_2^2 r_2 = m_2 I_2^2 r_2 \frac{1-s}{s} \quad (7)$$

Деля выражение полной механической мощности двигателя на угловую скорость ротора  $\omega_2 = \frac{2\pi n_2}{60}$  (рад/сек.), получаем выражение электромагнитного момента:

$$M = \frac{P_2'}{\omega_2} = M_2 + M_0, \quad (8)$$

где  $M_2$  – момент нагрузки;

$M_0$  – момент потерь.

Используя уравнения (7), (3) и (4), выражение (8) можно представить в виде:

$$M = \frac{m_2 \cdot I_2^2 r_2 (1-s)}{s \omega_1 (1-s)} = \frac{P_{12}}{\omega_1}, \quad (9)$$

где  $\omega_1 = \frac{2\pi n_1}{60}$  – угловая частота вращающегося поля статора.

Из выражения (9) можно написать:

$$m_2 I_2^2 r_2 = P_{s2} = P_{12} s. \quad (10)$$

Выражение для приведенного значения тока ротора:

$$I_2' = -\frac{\dot{U}_1}{Z_1 + C_1 Z_{2s}}. \quad (11)$$

Комплекс  $C_1 = 1 + \frac{Z_1}{Z_{12}}$  в обычных слу-

чаях можно заменять его модулем  $c_1$  и,

учитывая, что  $Z_1 = r_1 + jx_1$  и  $Z_{2s} = \frac{r_2'}{s} + jx_2'$ ,

можно написать согласно выражению (11) формулу для модуля тока:

$$I_2' = \frac{U_1}{\sqrt{(r_1 + c_1 \frac{r_2'}{s})^2 + (x_1 + c_1 x_2')^2}}. \quad (12)$$

Вращающий момент асинхронного двигателя  $M = \frac{P_{12}}{\omega_1}$  или с учетом уравнения

(10), вводя приведенные величины цепи ротора, получаем:

$$M = \frac{m_1 I_2'^2 r_2'}{s \omega_1}. \quad (13)$$

Подставляя в уравнение (13) выражение тока  $I_2'$ , получаем:

$$M = \frac{m_1 U_1^2 \frac{r_2'}{s}}{\omega_1 \left[ \left( r_1 + c_1 \frac{r_2'}{s} \right)^2 + \left( x_1 + c_1 x_2' \right)^2 \right]} \quad (14)$$

или

$$M = K \cdot U_1^2, \quad (15)$$

где  $K = \frac{m_1 \frac{r_2'}{s}}{\omega_1 \left[ \left( r_1 + c_1 \frac{r_2'}{s} \right)^2 + \left( x_1 + c_1 x_2' \right)^2 \right]}$ .

Тогда при постоянных значениях ( $K = \text{const}$ ) активного сопротивления обмотки статора, реактивного сопротивления рассеяния, скольжения, числе работающих фаз и оборотов можно считать, что момент пропорционален квадрату приложенного напряжения:

$$M \cong U_1^2. \quad (16)$$

С учетом вышесказанного векторно-алгоритмический метод расчета момента и мощности электродвигателя производится следующим образом. По формуле синусоидального напряжения  $u = U_m \sin(\omega t + \psi_u)$  и, учитывая величину напряжения на каждой из статорных обмотках электродвигателя UL1, UL2, UL3 (рис. 2) во времени в соответствии с алгоритмом работы, обеспечивающим векторно-алгоритмическое управление, однофазно-трехфазного транзисторного реверсивного коммутатора, ведомого однофазной сетью, на всем периоде регулирования Трег, через равные промежутки времени  $t$ , рассчитываются мгновенные значения напряжения на статорных обмотках электродвигателя. Далее производится в каждый из выбранных моментов времени векторное сложение скалярных значений напряжений на обмотках UL1, UL2, UL3 по теореме косинусов (рис. 4):



Рис. 4. Сложение двух векторов по теореме косинусов

где  $\vec{u} + \vec{v} = U_i$ ;

$$u + v = \sqrt{u^2 + v^2 + 2 \cdot u \cdot v \cdot \cos \alpha}. \quad (17)$$

При сложении векторов также следует учитывать их знак в соответствии с направлением тока в обмотках (рис. 5).

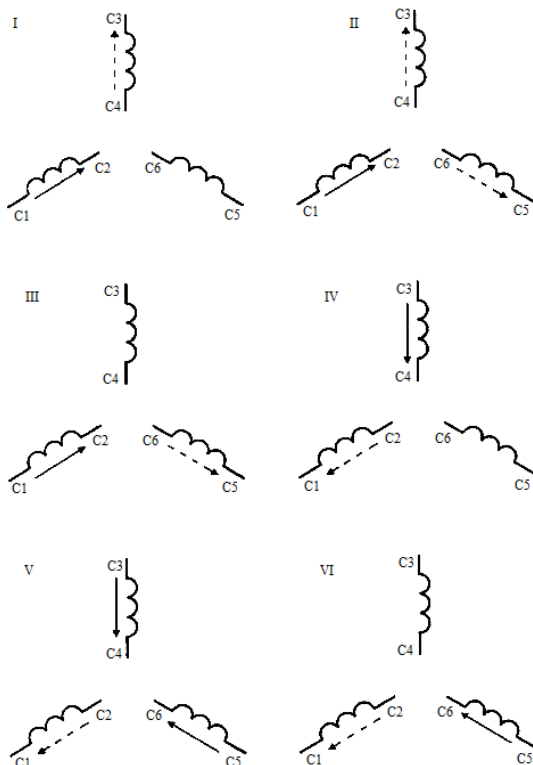


Рис. 5. Направления магнитного потока и протекающего тока по обмоткам статора электродвигателя в соответствии с векторной диаграммой, изображенной на рисунке 3

Далее находится среднее значение напряжения на всем периоде регулирования  $U_{cp}$  по формуле:

$$U_{cp} = \frac{U_1 + U_2 + \dots + U_n}{n}, \quad (18)$$

где  $U_1, U_2, \dots, U_n$  – суммарное значение напряжения на каждом из промежутков времени  $t$ ;

$n$  – количество промежутков времени в периоде регулирования.

Используя формулу (16), находится отношение моментов, а также значение развиваемой мощности электродвигателя в процентах по отношению к номинальному значению:

$$\frac{M}{M_n} \cong \frac{U_1^2}{U_{IH}^2} \cdot 100\%. \quad (19)$$

### Выводы

В результате произведенных расчетных исследований при помощи векторно-алгоритмического метода было установлено, что средняя мощность, развиваемая электродвигателем, питание которого осуществляется по схеме, представленной на рисунке 3, составляет около 62% от номинальной.

Таким образом, с помощью предлагаемого векторно-алгоритмического метода расчета возможно определять мощность и электромагнитный момент трехфазного асинхронного электродвигателя, питание которого осуществляется от однофазной сети путем векторно-алгоритмической коммутации статорных обмоток.

### Библиографический список

1. Стальная М.И., Злочевский В.Л., Головачев А.М., Борисов А.П. Методика расчета и выбора электродвигателя для привода маятниковой мельницы // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2009. – № 7. – С. 54-57.
2. Васин Ф.И., Степаненко Е.И. Крестьянские (фермерские) хозяйства: правовой статус и учет // Электронный ресурс. 2011. URL: [http://www.cnshb.ru/cnshb/aris/fermer/dig/d\\_94.htm](http://www.cnshb.ru/cnshb/aris/fermer/dig/d_94.htm) (дата обращения 15.06.2011).
3. Khalina T.M., Stalnaya M.I., Eremochkin S.Y. THE RATIONAL USE OF THE THREE PHASE ASYNCHRONOUS SHORT CIRCUITED ELECTRIC MOTORS IN A SINGLE PHASE NETWORK. ICTPE-2011 Number 22 Code 02EPE10 Pages 105-107.
4. Бастанов В.Г. Электрооборудование и автоматизация сельскохозяйственных агрегатов и установок. – М.: Моск. рабочий, 1986. – 352 с.
5. Патент на полезную модель МПК H02P 27/16 (2006.01). Однофазно-трехфазный транзисторный реверсивный коммутатор, ведомый однофазной сетью / М.И. Стальная, С.Ю. Еремочкин, Т.А. Халтобина; Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. – № 2011120730/07(030632); Дата подачи заявки 23.05.2011.

