

УДК 621.314

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ВЕКТОРНОЙ ШИМ В МНОГОУРОВНЕВОМ АВТОНОМНОМ ИНВЕРТОРЕ НАПРЯЖЕНИЯ

Шавелкина А.А., студент; Шавелкин А.А., доцент, к.т.н.

(Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, Украина)

Электропривод переменного тока с автономными инверторами напряжения (АИН) с ШИМ занял прочные позиции в самых различных сферах применения. Совершенствуются в основном принципы реализации управления (векторная ШИМ, прямое управление моментом и т.д.). Вместе с тем, все чаще ставится вопрос о недостатках метода ШИМ, связанных с импульсной формой входного тока и выходного напряжения и, как следствие, необходимостью установки входных и выходных фильтров в схемах преобразователей частоты (ПЧ).

Естественно, что особенно при больших мощностях привода, когда вопросы энергетики выходят на первый план, все чаще ставится вопрос об улучшении формы выходного напряжения и входного тока преобразователя [1]. Это достигается применением многоуровневых АИН (МАИН) [2].

Схема одной фазы МАИН с тремя уровнями напряжения источника и использованием фиксирующих (clamped) диодов (VD7 - VD10) приведена на рис.1.

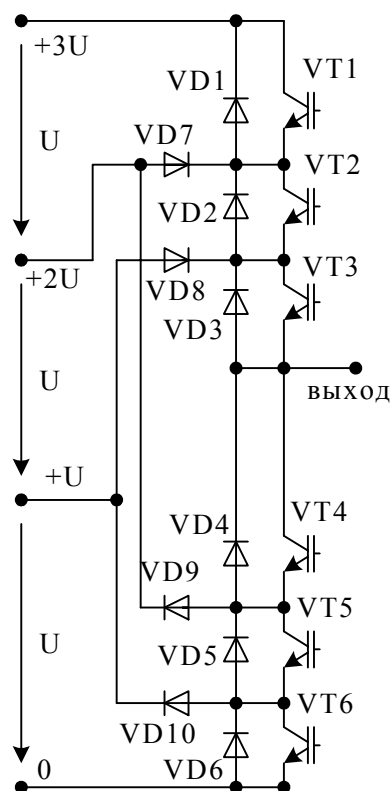


Рисунок 1 - Схема фазы АИН с тремя уровнями источника питания

Большое число ключей схемы обуславливает сложность управления.

Использование при формировании выходного напряжения инвертора метода пространственного вектора (векторной ШИМ) открывает широкие возможности управления, включая варианты с изменением числа уровней выходного напряжения, а также использование при разных уровнях напряжения питания. При этом возможно обеспечить минимальное число коммутаций транзисторов (ключей) схемы, если на каждом интервале коммутации переключение осуществляется только в одной фазе инвертора, причем без увеличения частоты коммутации.

Пространственные векторы выходного напряжения АИН приведены на рис 2. В зависимости от уровня напряжения имеем 6 возможных векторов, конец которых скачкообразно перемещается по траектории соответствующей правильному шестиграннику (предельный случай). Поскольку в данном случае не преследуется цель получения максимального значения первой гармоники, что приводит к ухудшению гармонического состава, в дальнейшем предполагается получение вращаю-

щегося вектора. При этом в качестве предельной траектории рассматриваем окружность, вписанную в шестигранник. При трех уровнях напряжения имеем соответственно три окружности (см. рис.2)

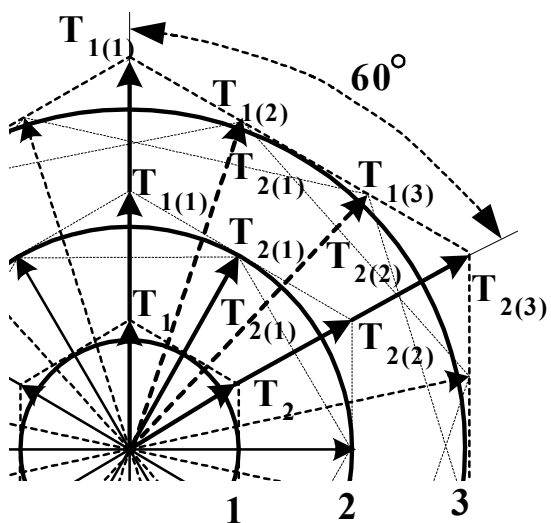


Рис.2. Пространственный вектор напряжения МАИН

Следует отметить, что работа схемы имеет свои особенности в зависимости от величины выходного напряжения:

- использование одного уровня напряжения питания U (традиционная схема мостового АИН). При этом в схеме используется 6 ненулевых и 2 нулевых состояния (вектора);
- использование двух уровней напряжения U и $2U$ добавляет еще 12 ненулевых и 1 нулевое состояния;
- использование трех уровней напряжения U , $2U$ и $3U$ - добавляется еще 18 ненулевых и 1 нулевое состояния;

При этом общее число состояний в схеме $8 + 13 + 19 = 40$.

Сущность метода векторной ШИМ состоит в том, что на каждом из интервалов коммутации

результатирующий вращающийся пространственный вектор U формируется как сумма векторов T_1 и T_2 ограничивающих сектор, где он находится. Пространственное положение вектора определяется значением T_1 и T_2 . Изменение значений T_1 и T_2 осуществляется изменением относительной длительности включения (t_1 и t_2) соответствующих транзисторов схемы на периоде коммутации T_k . Регулирование величины напряжения достигается введением нулевого вектора T_0 длительность которого t_0 (длительности t_1 и t_2 соответственно пропорционально уменьшаются).

Уровень – 1. Вектор напряжения имеет 6 фиксированных положений. Радиус окружности равен $\sqrt{3}/2U$. Сектор в котором формируется вращающийся вектор составляет 60° . Слагаемые ненулевые T_1 , T_2 и нулевой T_0 вектора (относительные времена нахождения схемы в соответствующих границам сектора состояниях по отношению к периоду модуляции T_k) определяются выражениями:

$$T_1 = \sqrt{3}/2 \cdot (\cos \alpha - (\sin \alpha)/\sqrt{3}), \quad T_2 = \sin \alpha, \quad t_0 = T_k - t_1 - t_2,$$

где α - угол поворота вектора в пределах сектора, t_1 - интервалы времени для соответствующих состояний.

Уровень – 2. В пределах исходного сектора (60°) имеем 2 сектора по 30° . Тогда для первого из них - сектора 1 соответствующие интервалы времени:

$$T_{1(1)} = \sqrt{3}/2 \cdot (\cos \alpha - \sqrt{3} \cdot \sin \alpha), \quad T_{2(1)} = 2 \cdot \sin \alpha, \quad t_0 = T_k - t_1 - t_2.$$

Для второго сектора:

$$T_{1(2)} = (\cos \alpha - \sqrt{3} \cdot \sin \alpha), \quad T_{2(2)} = \sqrt{3} \cdot \sin \alpha, \quad t_0 = T_k - t_1 - t_2.$$

Уровень 3. В пределах исходного сектора (60°) имеем 3 сектора по 20° .

Для сектора 1:

$$T_{1(1)}=0.985 \cdot (\cos\alpha - \sin\alpha \cdot \operatorname{ctg}20^\circ), T_{2(1)}=0.866 \cdot \sin\alpha / \sin20^\circ, t_0=T_k - t_1 - t_0.$$

Для сектора 2:

$$T_{1(2)}=0.866 \cdot (\cos\alpha - \sin\alpha \cdot \operatorname{ctg}20^\circ), T_{2(2)}=0.985 \cdot \sin\alpha / \sin20^\circ, t_0=T_k - t_1 - t_0.$$

Для сектора 3:

$$T_{1(3)}=0.985 \cdot (\cos\alpha - \sin\alpha \cdot \operatorname{ctg}20^\circ), T_{2(3)}=0.985 \cdot \sin\alpha / \sin20^\circ, t_0=T_k - t_1 - t_0.$$

Порядок чередования векторов $T_1, T_2, T_0, T_2, T_1, \dots$. Принцип формирования соответствующих временных интервалов приведен на рис.3. При этом соответствующие импульсы (t_1, t_2, t_3) формируются в результате сравнения напряжений T_1, T_2 и напряжения u_k треугольной формы, частота которого $f_T = f_M/2$ ($f_M = 1/t_k$ – частота модуляции, в данном случае 1800Гц), а амплитуда – T_k . При этом рас-

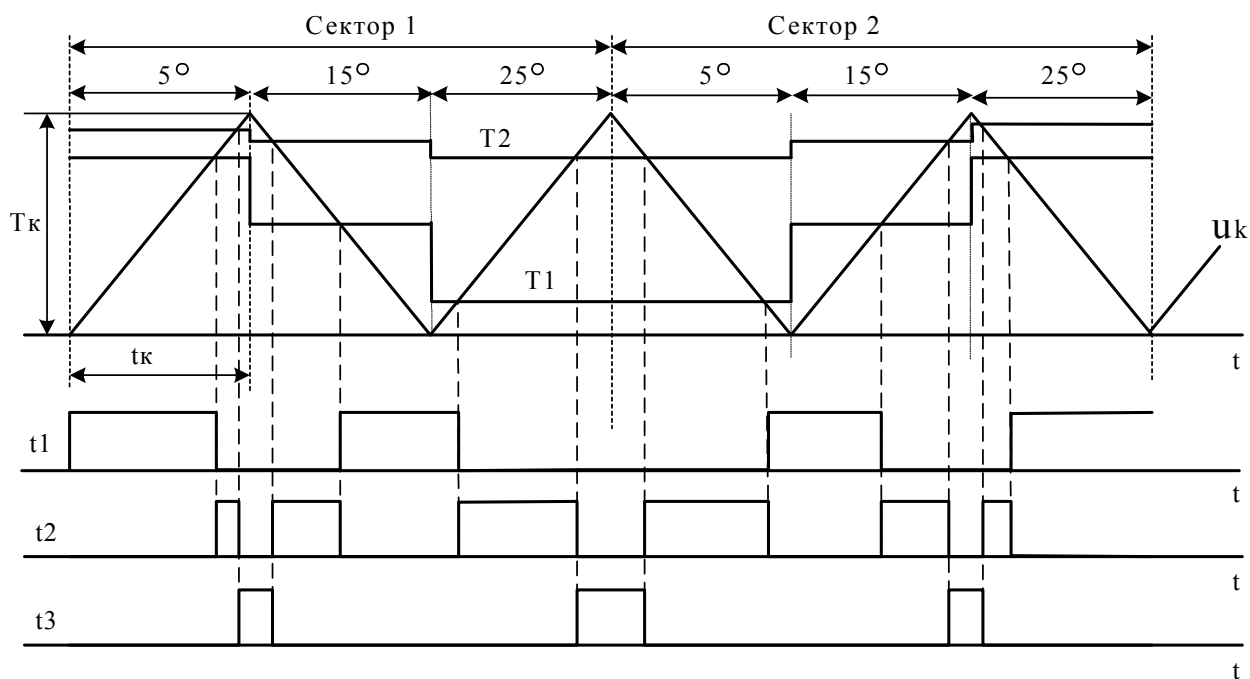


Рисунок 3 – принцип формирования длительностей нахождения АИН в состояниях соответствующих T_1, T_2, T_3

считывается дискретность перемещения вектора в 10° , чему соответствует 36 положений вектора напряжения за оборот (период).

Наличие нулевого вектора (состояния) T_0 увеличивает пульсации выходного напряжения АИН. Замена нулевого вектора на ненулевой вектор возможна на уровнях 2 и 3 путем использования ненулевого (но меньшего по амплитуде, чем базовый вектор) вектора T_3 из нижнего уровня, входящего в этот сектор. Длительность соответствующего базового вектора T_i (T_1 или T_2) при этом сокращается. Пусть величина вектора T_3 (см. рис.2) относительно базового T_i , с которым совпадает по направлению T_3 (или его проекция на базовый вектор) составляет $T_3 = T_i \cdot K$ ($K < 1$). Коэффициент модуляции выходного напряжения μ

($\mu=1$ – соответствует граничному вращающемуся вектору). Тогда из условия сохранения среднего значения напряжения на интервале T_k получаем:

$$\mu \cdot T_i \cdot t_i = \mu \cdot T_i (t_i - \Delta t) + (t_0 + \Delta t) \cdot T_3$$

где: $(t_0 + \Delta t) = t_3$ – длительность состояния соответствующего ненулевому вектору T_3 .

Отсюда значение $\Delta t = t_0 / (\mu/k - 1)$. При этом возможны ограничения, поскольку должно выполняться условие $(t_i - \Delta t) \geq 0$ или $t_i \geq \Delta t$. В противном случае необходимо корректировать также длительность и другого базового вектора T_i .

Полученные соотношения использованы при реализации модели рассмотренной схемы МАИН с использованием программы EWB. Осциллограмма выходного фазного напряжения и тока МАИН, соответствующая ($\mu=1$) для 3 уровня при дискретности изменения угла поворота вектора напряжения 10 градусов - 36 положений вектора приведена на рис.4.



Рисунок 4 – Осциллограммы выходного напряжения и тока фазы МАИН

Проведенные исследования подтверждают целесообразность использования метода векторной ШИМ в многоуровневых инверторах. Этот метод эффективен при изменении числа уровней в кривой выходного напряжения, а также при различных уровнях напряжения питания, позволяет уменьшить частоту и число коммутаций ключей схемы.

Перечень ссылок

1. Гречко Э., Кот Э. Многоуровневые трехфазные инверторы напряжения с поуровневой синусоидальной ШИМ. Технічна електродинаміка. Тематический выпуск. Силова електроніка та енергоефективність. Частина 2. Київ. 2002. с.50-53.
2. José Rodríguez, Jih-Sheng Lai, Fang Zheng Peng. Multilevel Inverters: A Survey of Topologies, Controls, and Applications. IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, VOL. 49, NO. 4, AUGUST 2002.