

ВАРИАНТЫ СХЕМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ ДЛЯ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Шавелкин А.А., Сажин В.А., Шавелкин С.А.

Донецкий государственный технический университет

vladimir@koe.dgtu.donetsk.ua

The various types converters of frequency are considered. The areas of their application are determined optimal depending on a potency machines and requests to the electric drive. The variants construction the scheme a three-three-phase and one-three-phase converters of frequency is indicated. The material the article bases on experience introduction various converters of frequency in an industry.

Частотно-регулируемый электропривод с к.з. асинхронными двигателями (АД) в последнее время успешно конкурирует с электроприводами постоянного тока. Однако, преобразователи частоты по-прежнему отличает высокая стоимость и низкие массо-габаритные показатели, что оправдывает их применение в основном для приводов с высокими требованиями к качеству регулирования скорости. Практически отсутствуют решения во взрывозащищенном исполнении.

Вопрос создания достаточно простых и недорогих преобразователей частоты для массового электропривода ставится давно. В докладе Украинского центра экономических и политических исследований, посвященном проблеме энергосбережения (апрель 1997 года), говорится об особой важности разработки и быстрого внедрения в практику регулирующих устройств силовой электроники в электроприводах переменного тока, на которые приходится более половины электропотребления в стране.

Работы в этом направлении продолжительное время велись и ведутся в ДОНТУ, что позволило накопить некоторый опыт. В первую очередь это касается применения схем упрощенных преобразователей частоты с непосредственной связью (НПЧ) с числом вентилях на выходную фазу от 2 до 6. Имея достаточно простую силовую схему и систему управления, такие преобразователи позволяют осуществить частотное управление АД при приемлемых для многих электроприводов показателях. Так, в качестве пускорегулирующего, для приводов средней мощности может быть использован НПЧ, выполненный по трехфазно-трехфазной схеме, на 18 тиристорах [1]. Силовые цепи такого преобразователя частоты, при раздельном управлении группами тиристоров и применении разработанных усовершенствованных алгоритмов программного управления, могут быть предельно упрощены путем исключения токоограничивающих реакторов (дросселей), датчиков состояния (наличия тока) силовых цепей.

Сущность такого алгоритма сводится к тому, что выбор тиристоров: выходящего из работы и последующего, вступающего в работу, - при изменении полярности выходного напряжения осуществляется на определенном временном интервале τ (рис.1, а) длительность которого не зависит от частоты выходного напряжения и составляет $\tau \approx T_c/2$ (T_c - период напряжения сети). Для этого в схему распределителя импульсов управления тиристорами введены: формирователь импульсов выбора, привязанных к управляющему напряжению, и формирователь сигналов разрешения работы тиристоров в соответствии с синхронимпульсами, фиксирующими изменение полярности напряжения сети и импульсами выбора.

Длительность импульсов выбора равна τ , частота равна частоте выходного напряжения, а задний фронт совпадает с моментом изменения полярности напряжения управления. Определенная сложность состоит в том, что τ отсчитывается от заднего фронта изменения напряжения U_m , т.е. до того, как будет меняться его полярность (U_m - модулирующее напряжение выходной частоты f_2 определяющее продолжительность работы катодной и анодной группы соответствующей фазы преобразователя). Технически эта задача достаточно просто решается в аналоговом виде с помощью интегратора (DA 1) с ключом сброса S и компаратора K (DA 2) (рис. 1, в).

На вход интегратора поступает напряжение U_f , пропорциональное частоте выходного напряжения f_2 .

На ключ S подается синхронимпульс $U_{сн}$ соответствующий изменению полярности выходного напряжения, в результате чего интегратор периодически обнуляется.

$$U_{сн} = \text{sign } U_m$$

Выходное напряжение интегратора:

$$U_u = A \int u_f dt,$$

где A - коэффициент, определяемый из условия, что за время $T_c/2$ выходное напряжение DA1 достигает значения $U_{н} = 10$ В.

Напряжение U_u сравнивается с $U_{оп}$ компаратором K. Нетрудно показать, что выходной импульс компаратора (импульс выбора) имеет постоянную длительность равную τ при условии, что

$$U_{оп} = AU_f(T_c/2 - \tau) = AU_f T_c/2 - AU_f \tau = 10 - bU_f$$

При этом $b = A\tau$ - постоянный коэффициент.

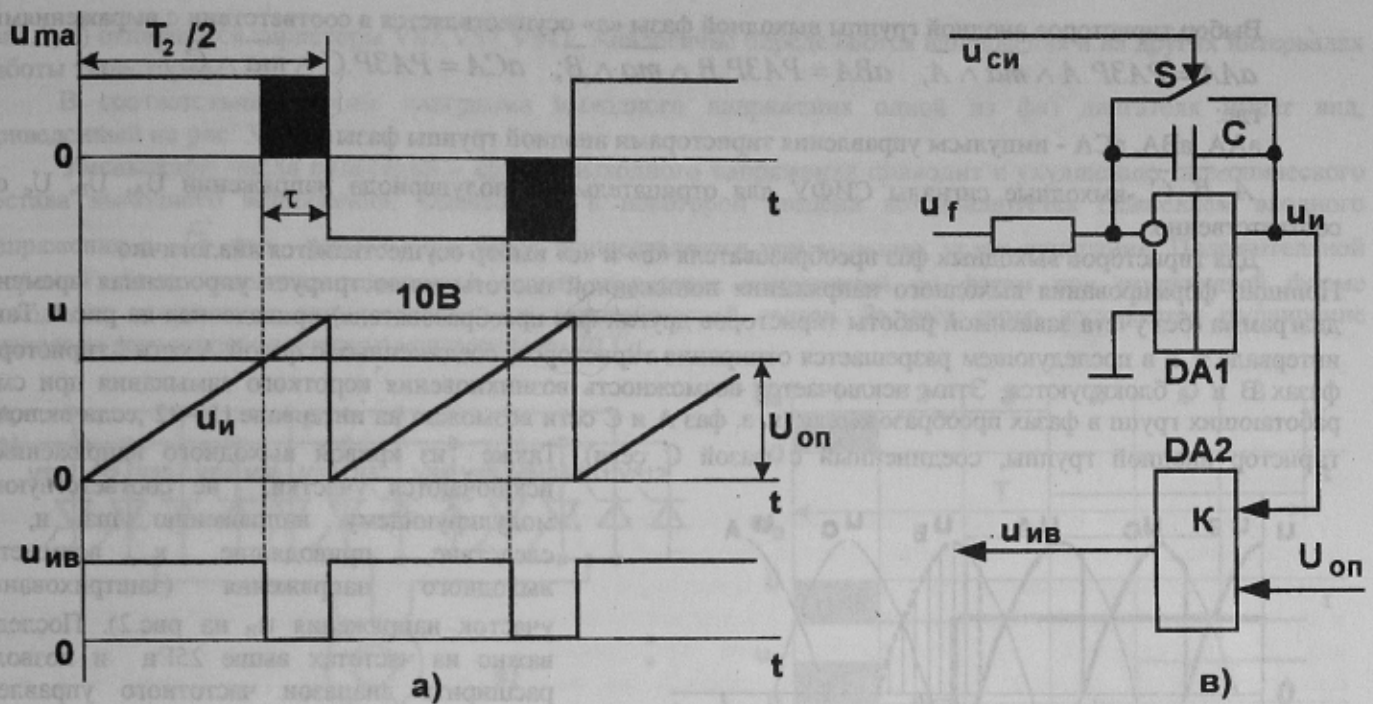


Рисунок 1 - К определению интервала выбора тиристоров:

- а) - диаграмма выбора тиристоров;
 в) - схема формирователя импульса выбора.

Формирователь сигналов разрешения работы тиристоров синтезирован как цифровой автомат. При этом сигналы разрешения для тиристоров выходной фазы «а» преобразователя, соединенных соответственно с фазами А, В, С сети, формируются в виде логических сигналов, условие перехода которых в «единичное» -П и обратно в «нулевое» - Z состояния:

$$\text{РАЗР. А} = \begin{cases} \text{П} = (\text{АП} \wedge \text{та} \vee \text{АЗ} \wedge \overline{\text{та}}) \wedge \text{ИВА}; \\ \text{Z} = \text{АПЗ} \wedge \text{РАЗР. В}; \end{cases}$$

$$\text{РАЗР. В} = \begin{cases} \text{П} = (\text{ВП} \wedge \text{та} \vee \text{ВЗ} \wedge \overline{\text{та}}) \wedge \text{ИВА}; \\ \text{Z} = \text{ВПЗ} \wedge \text{РАЗР. С}; \end{cases}$$

$$\text{РАЗР. С} = \begin{cases} \text{П} = (\text{СП} \wedge \text{та} \vee \text{СЗ} \wedge \overline{\text{та}}) \wedge \text{ИВА}; \\ \text{Z} = \text{СПЗ} \wedge \text{РАЗР. А}. \end{cases}$$

где:

АП, ВП, СП - синхриимпульсы, фиксирующие изменение полярности напряжения соответствующей фазы сети (U_A, U_B, U_C) от отрицательного к положительному;

АЗ, ВЗ, СЗ - синхриимпульсы, фиксирующие изменение полярности напряжения от положительного к отрицательному;

$$\text{АПЗ} = \text{АП} \vee \text{АЗ}; \quad \text{ВПЗ} = \text{ВП} \vee \text{ВЗ}; \quad \text{СПЗ} = \text{СП} \vee \text{СЗ};$$

ИВА - импульс выбора для тиристоров фазы «а»;

та - управляющее напряжение частотой f_2 (выходного напряжения) для катодной группы тиристоров фазы «а».

Выбор тиристоров выходной фазы «а» преобразователя (катодная группа) осуществляется в функции сигналов:

$$\text{аАК} = \text{РАЗР. А} \wedge \text{та} \wedge \text{А}; \quad \text{аВК} = \text{РАЗР. В} \wedge \text{та} \wedge \text{В}; \quad \text{аСК} = \text{РАЗР. С} \wedge \text{та} \wedge \text{С},$$

где:

аАК, аВК, аСк - импульсы управления тиристорами катодной группы фазы «а» преобразователя, соединенных соответственно с фазами А, В, С сети;

А, В, С - выходные сигналы системы импульсно-фазового управления (СИФУ), синхронизированные соответственно по напряжениям U_A, U_B, U_C сети (для положительного полупериода).

При зависимой коммутации тиристоров в фазах преобразователя использование синусоидальной модуляции углов отпирания тиристоров малоэффективно, поэтому в схеме использована прямоугольная модуляция. В этом случае СИФУ содержит три канала - общие для всех фаз преобразователя.

Выбор тиристоров анодной группы выходной фазы «а» осуществляется в соответствии с выражениями:

$$aAA = PA3P.A \wedge \overline{ma} \wedge \overline{A}; \quad aBA = PA3P.B \wedge \overline{ma} \wedge \overline{B}; \quad aCA = PA3P.C \wedge \overline{ma} \wedge \overline{C}$$

где:

aAA, aBA, aCA - импульсы управления тиристорами анодной группы фазы «а».

$\overline{A}, \overline{B}, \overline{C}$ - выходные сигналы СИФУ для отрицательного полупериода напряжений U_A, U_B, U_C сети соответственно.

Для тиристоров выходных фаз преобразователя «b» и «с» выбор осуществляется аналогично

Принцип формирования выходного напряжения пониженной частоты иллюстрирует упрощенная временная диаграмма (без учета зависимой работы тиристоров других фаз преобразователя) приведенная на рис.2. Так на интервале τ и в последующем разрешается отпирание тиристоров, соединённых с фазой А сети, тиристоры в фазах В и С блокируются. Этим исключается возможность возникновения короткого замыкания при смене работающих групп в фазах преобразователя (к. з. фаз А и С сети возможно на интервале $t1 - t2$, если включить тиристор анодной группы, соединённый с фазой С сети). Также из кривой выходного напряжения u_a

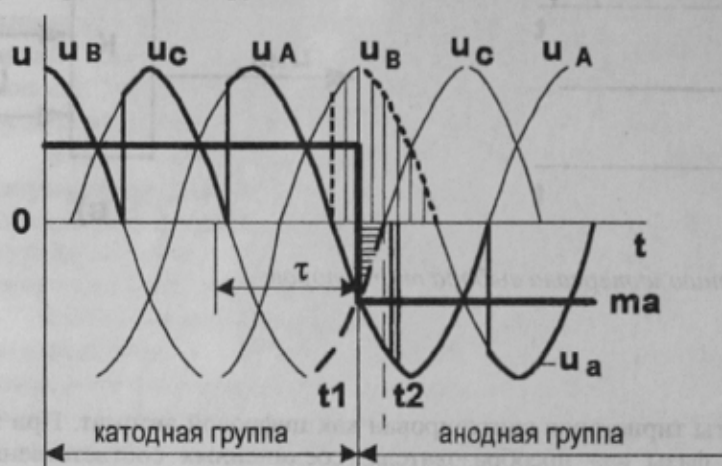


Рисунок 2 - Временная диаграмма выходного напряжения фазы «а» преобразователя

исключаются участки, не соответствующие модулирующему напряжению ma и, как следствие, приводящие к асимметрии выходного напряжения (заштрихованный участок напряжения u_B на рис.2). Последнее важно на частотах выше 25Гц и позволяет расширить диапазон частотного управления примерно до 40Гц, естественно при снижении нагрузки на двигатель.

Разработанный алгоритм обеспечивает улучшение гармонического состава выходного напряжения путём исключения бестоковых пауз и асимметрии выходного напряжения на промежуточных (не кратных частоте питающей сети) частотах. Одновременно достигается повышение надёжности за счёт исключения междуфазных коротких замыканий при изменении полярности выходного напряжения (тока) поскольку во вступающей в работу

группе тиристоров включается тиристор, соединённый с той же фазой сети, что и последний работающий из запираемой группы.

При использовании современной элементной базы, например, силовых тиристорных модулей типа МТТ, МТОТО и др. достигаются неплохие массо-габаритные показатели преобразователей частоты. Это позволяет встраивать НПЧ в стандартную взрывозащищенную оболочку /2/. Такие работы проводились для электроприводов подземных конвейеров, лебедок и других горных машин.

В простейшем варианте система регулирования разомкнута по скорости, с внутренним контуром по выходному напряжению. Закон изменения выходного напряжения от частоты задается функциональной зависимостью. Такой НПЧ в свое время был опробован для привода лебедки породного отвала ($P_{ном}=160$ кВт), ленточного конвейера типа КЛА-250, дымососа ($P_{ном}=160$ кВт). Испытания подтвердили его эффективность для формирования пусковых и тормозных режимов, получения пониженных скоростей вращения. В связи с тем, что возможности частотного управления непосредственного преобразователя частоты ограничены в диапазоне скоростей от 0 до 0,6...0,7 от номинальной скорости, более полное использование АД достигается при комбинированном управлении /1/. В этом случае при достижении предельной частоты осуществляется переход в режим фазового управления напряжением при частоте сети.

Для электроприводов малой мощности, до 5...10 кВт, в качестве пуско-регулирующего устройства может быть использован однофазно-трехфазный НПЧ на 12 тиристорах (4 на выходную фазу). Схема силовой цепи приведена на рис.3, а.

Обмотки статора асинхронного двигателя соединены в звезду. Выходное напряжение пониженной частоты образует трёхфазную симметричную систему (временная диаграмма модулирующих напряжений приведена на рис.3, б). В любой момент времени, в каждой фазе НПЧ открыто по одному тиристор. За период изменения частоты выходного напряжения можно выделить шесть различных сочетаний открытых и закрытых состояний тиристоров (рис. 3, б). Так на интервале 1 открыты тиристоры VS1, VS8, VS9. Начала фаз «а» и «с» соединены с фазой «А» сети, а начало фазы «b» - с нейтральным проводом «N» (рис.3, с). Полагая сопротивления фаз одинаковыми, получаем эквивалентное сопротивление параллельно соединённых фаз «а» и «с» в два раза меньше сопротивления фазы «b». Соответственно и напряжение в фазах «а» и «с» в два раза меньше, чем напряжение в фазе «b», и составляет $2U_{\phi}/3$. На фазе «b» напряжение равно $2U_{\phi}/3$. На интервале 2

(рис.3, d) отпираются тиристоры VS2, VS7, VS11. Аналогично определяются напряжения и на других интервалах работы тиристоров.

В соответствии с этим диаграмма выходного напряжения одной из фаз двигателя имеет вид, приведенный на рис. 3, e.

Уменьшение числа пульсаций в кривой выходного напряжения приводит к ухудшению гармонического состава выходного напряжения. Однако это в некоторой степени компенсируется снижением входного напряжения в $\sqrt{3}$ раз - работа тиристоров осуществляется при меньших углах отпираания. Положительной стороной такого управления является также симметрия напряжений по фазам при ступенчатой форме выходного напряжения, что улучшает его гармонический состав. За счёт этого достигается расширение диапазона регулирования частоты примерно до 30 Гц.

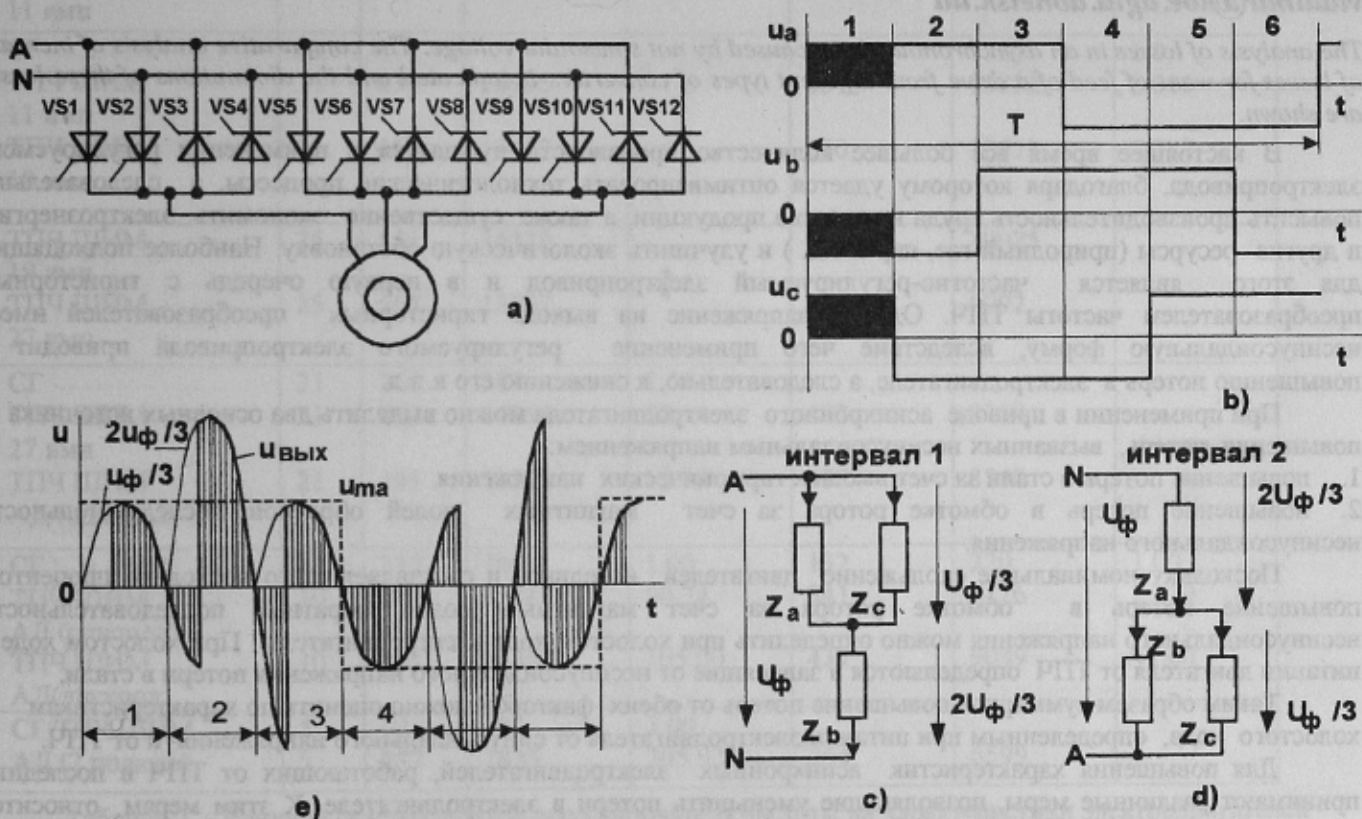


Рисунок 3 – Однофазно-трёхфазный НПЧ:

- a) – схема силовых цепей;
- b) – временная диаграмма модулирующих напряжений;
- e) – диаграмма выходного напряжения фазы двигателя;
- c), d) – распределение напряжений по фазам двигателя.

Система управления достаточно проста, имеет один канал СИФУ, синхронизированный по фазе А сети и распределитель импульсов. Импульсы подаются одновременно на три тиристора, выбор которых осуществляется в соответствии с модулирующим напряжением в функции выходных сигналов блока логики раздельного управления.

Рассмотренное решение, в ряде случаев, может заменить тиристорный привод постоянного тока, упростить кинематическую схему привода, исключив механические варианты и т.п. Такие схемы, в течение последних трех лет, используются для привода колосниковых решеток, забрасывателей на угольных котельных шахт ПО "Донецкуголь", "Артемуголь", "Красноармейскуголь", г.Селидово. Несомненным достоинством этого решения является возможность применения вместо двигателя постоянного тока типа ПН-90 практически любого АД мощностью от 3 до 7,5 кВт на 1500 об/мин или 3000 об/мин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Траубе Е.С., Багдасарян С.С., Потапов В.Б., Шавелкин А.А., Гейер Г.В. Регулируемый электропривод горных машин с непосредственными преобразователями частоты. / Известия вузов. Горный журнал, N 3, - 1991.
2. Шавелкин А.А., Сажин В.А., Шавелкина Н.В. Взрывозащищенный асинхронный электропривод с тиристорным преобразователем частоты. / Известия вузов. "Электромеханика", N 5-6, - 1996.