

УДК 62-83:621.313.333.3

<https://doi.org/10.62595/1819-5245-2024-4-99-104>

СХЕМОТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ЧАСТОТНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ РОТОРОВ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

А. В. КОЗЛОВ, М. П. ТИЛИЧЕНКО

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого»,
Республика Беларусь*

Рассмотрены простые по реализации и эффективные способы частотного регулирования скорости вращения роторов асинхронных электродвигателей, которые можно использовать в лабораторных установках для научно-исследовательских и учебных целей.

Ключевые слова: однофазный асинхронный электродвигатель, пусковой конденсатор, однофазный автономный инвертор, формирователь импульсов управления, трансформатор, фильтр, частота, частотное регулирование, схема управления, транзисторный ключ, широтно-импульсное питание.

Для цитирования. Козлов, А. В. Схемотехническая реализация частотного регулирования скорости вращения роторов асинхронных электродвигателей / А. В. Козлов, М. П. Тиличенко // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого. – 2024. – № 4 (99). – С. 99–104. <https://doi.org/10.62595/1819-5245-2024-4-99-104>

CIRCUIT IMPLEMENTATION OF FREQUENCY REGULATION OF ROTATION SPEED OF ASYNCHRONOUS ELECTRIC MOTOR ROTORS

A. V. KOZLOV, M. P. TILICHENKO

*Sukhoi State Technical University of Gomel,
the Republic of Belarus*

The article considers simple to implement and effective methods of frequency regulation of the rotation speed of the rotors of asynchronous electric motors, which can be used in laboratory installations for scientific research, development and educational purposes.

Keywords: single-phase asynchronous electric motor, starting capacitor, single-phase autonomous inverter, control pulse generator, transformer, filter, frequency, frequency regulation, control circuit, transistor switch, pulse-width power supply.

For citation. Kozlov A. V., Tilichenko M. P. Circuit implementation of frequency regulation of rotation speed of asynchronous electric motor rotors. *Vestnik Gomel'skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta imeni P. O. Sukhogo*, 2024, no. 4 (99), pp. 99–104 (in Russian). <https://doi.org/10.62595/1819-5245-2024-4-99-104>

Введение

Существенным недостатком асинхронных электродвигателей является сложность и стоимость оборудования, применяемого для обеспечения плавного регулирования скорости вращения ротора путем изменения частоты переменного тока, питающего статорные обмотки электродвигателя [1, 2].

Сложность оборудования обусловлена не только тем, что требуется трехфазный генератор необходимой мощности с плавно регулируемой частотой, но и тем, что одновременно с уменьшением частоты генератора следует уменьшать и величину напряжения.

В исследовательских лабораториях чаще используют электродвигатели небольшой мощности, поэтому решением указанной проблемы по разработке простых лабораторных установок для изучения рабочих режимов асинхронных электродвигателей может быть применение автономных силовых инверторов на основе трансформаторов [1, 3, 5].

Цель работы – освещение результатов экспериментальных исследований по разработке и изготовлению простых и дешевых лабораторных установок, позволяющих регулировать частоту вращения роторов и действующего значения питающего напряжения однофазного асинхронного электродвигателя с пусковым конденсатором и трехфазного асинхронного электродвигателя.

Основная часть

Необходимость одновременного регулирования напряжения асинхронного электродвигателя и частоты связана с уменьшением индуктивных сопротивлений статорных обмоток электродвигателя, вследствие чего растет ток при неизменном напряжении генератора, что недопустимо.

При номинальном токе $I_{\text{ном}}$ и магнитном потоке $\Phi_{\text{ном}}$, соответствующих номинальному напряжению, вращающий момент M пропорционален произведению магнитного потока и тока. Таким образом, условием поддержания постоянства вращающего момента при регулировании частоты будет соотношение

$$\frac{U}{f} = \text{const.}$$

Если регулировать частоту f тока, питающего статор электродвигателя, и величину U , соблюдая это соотношение, то механические характеристики электродвигателя остаются жесткими, а максимальный момент M_{max} будет пропорционален частоте f . Одновременно при этом мощность изменяется пропорционально частоте, так как

$$P = M\omega.$$

В составе широко используемых на практике трехфазных преобразователей частоты содержится управляемый выпрямитель, звено постоянного тока, регулируемый инвертор и блок управления [4].

Управление блоком выпрямления служит для регулирования напряжения на выходе преобразователя, т. е. на зажимах асинхронного электродвигателя, а управление инвертором связано с регулированием частоты.

В данной статье приведены результаты исследований по разработке простых и относительно дешевых установок, позволяющих реализовать частотный метод регулирования скорости вращения ротора однофазного асинхронного электродвигателя с пусковым конденсатором и трехфазного асинхронного электродвигателя – с короткозамкнутым ротором.

На основании изучения литературы по рассматриваемой проблематике была принята к экспериментальной апробации схема инвертора для однофазного асинхронного электродвигателя с пусковым конденсатором, приведенная на рис. 1. Она содержит питающий трансформатор $\text{Tr}1$, выпрямитель $VD1 \div VD4$ с фильтром L_0C_0 , трансформатор инвертора $\text{Tr}2$, два силовых ключа $VT1$ и $VT2$ и схему управления.

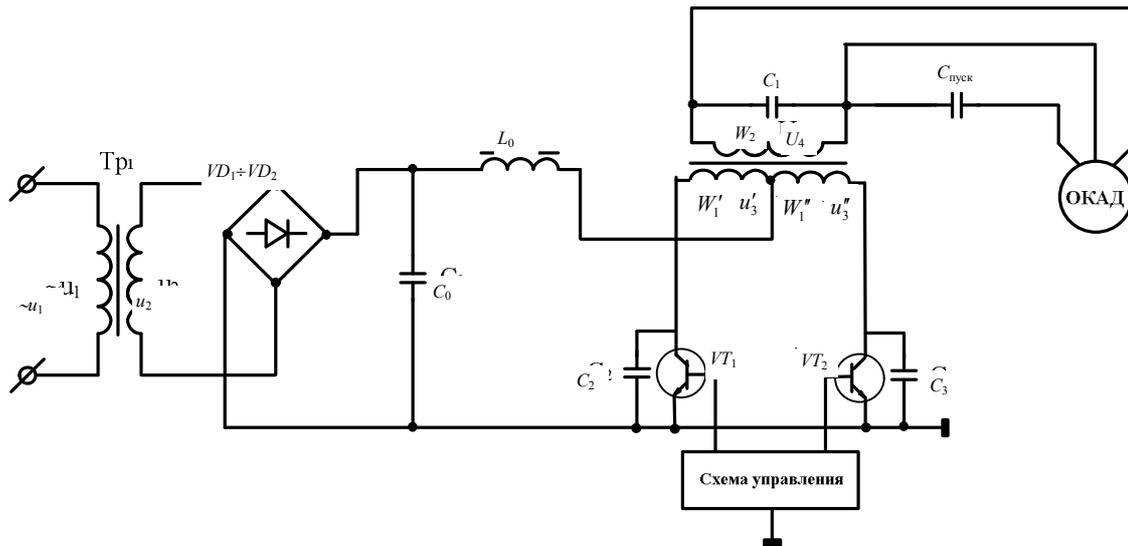


Рис. 1. Схема однофазного инвертора

Параметры элементов схемы управления (рис. 2) определялись исходя из номинальных параметров однофазного конденсаторного асинхронного электродвигателя ($U_{\text{ном}}$, $P_{\text{ном}}$, $I_{\text{пуск.ном}}$).

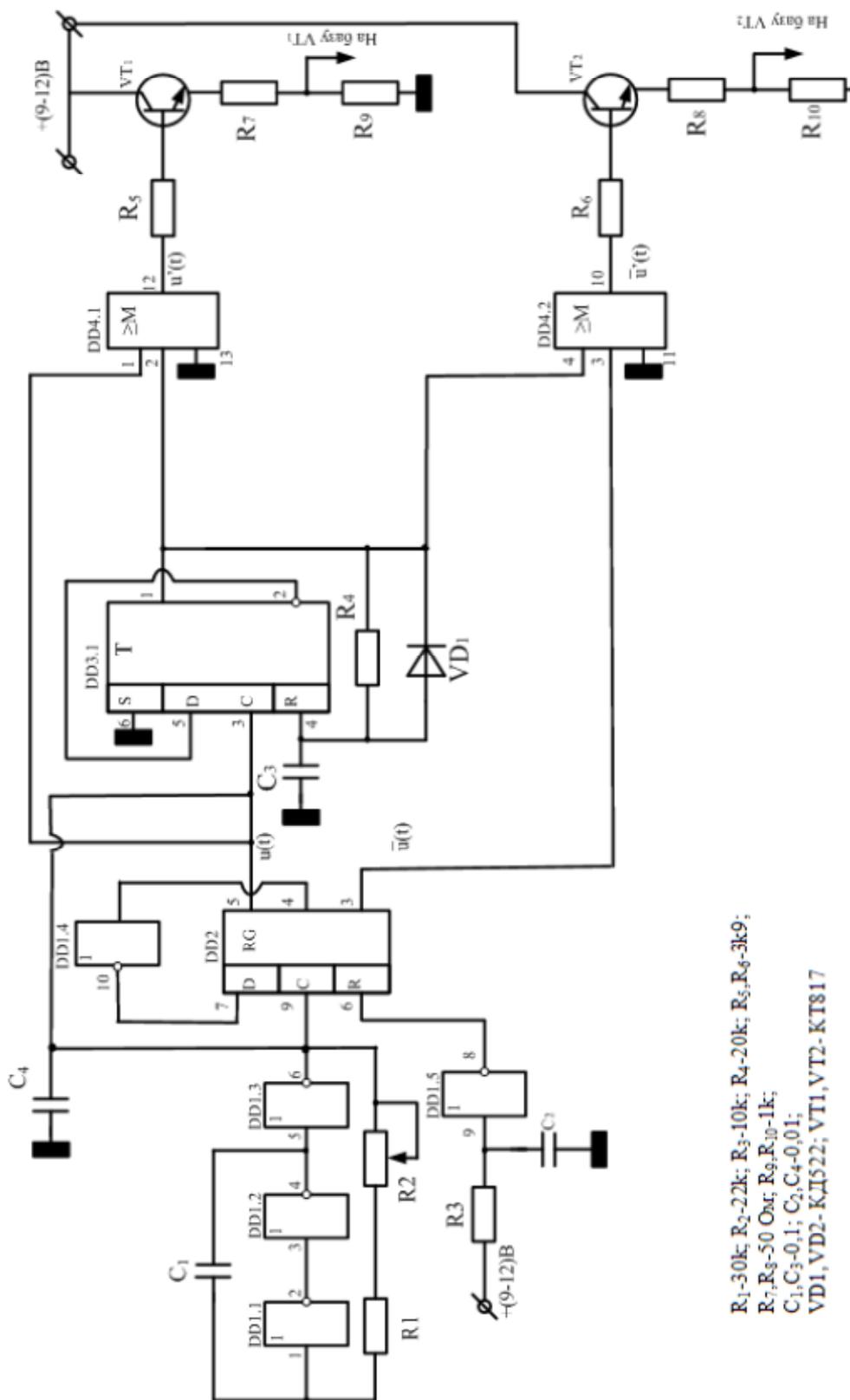
Схема управления содержит генератор тактовых импульсов с регулируемой частотой f_1 на микросхеме К561ЛН2 (элементы $DD1.1$, $DD1.2$, $DD1.3$), сдвиговый регистр К561ИР2, работающий в режиме ждущего мультивибратора (элементы $DD2$, $DD1.4$, $DD1.5$), одновибратор на микросхеме К561ТМ2 (элемент $DD3.1$), микросхему К561ЛП13 (элементы $DD4.1$, $DD4.2$), выполняющую операцию «логическое умножение» (2И) и выходные эмиттерные повторители на транзисторах КТ817.

Эта схема обеспечивает регулировку частоты переключения силовых ключей $VT1$, $VT2$ инвертора в противофазе, что необходимо для получения двухполярного напряжения $U_4(t)$ на выходе инвертора. Регулировка действующего напряжения U_4 обеспечивается изменением скважности управляющих импульсов путем соответствующего выбора параметров конденсатора C_3 и резистора R_4 одновибратора [3].

При этом схемой обеспечивается и одновременное изменение частоты. Временные синхронизированные диаграммы напряжений на выходах схемы управления представлены на рис. 3.

При установлении частоты вращения ротора однофазного конденсаторного асинхронного электродвигателя меньше номинальной, длительность импульсов на выходе одновибратора сохраняется, а длительность паузы между импульсами увеличивается, что эквивалентно уменьшению действующего значения напряжения U_4 на выходе инвертора. Величина емкости C_1 подбирается экспериментально.

Конденсаторы C_2 , C_3 (рис. 1) защищают ключи $VT1$ и $VT2$ от бросков напряжений. Транзисторы $VT1$ и $VT2$ должны выбираться по пусковому току электродвигателя и по напряжению исходя из того, чтобы допустимое напряжение «коллектор – эмиттер» было больше удвоенного значения напряжения на выходе выпрямителя.



R₁-30k; R₂-22k; R₃-10k; R₄-20k; R₅,R₆-3k9;
 R₇,R₈-50 Ом; R₉,R₁₀-1k;
 C₁,C₃-0,1; C₂,C₄-0,01;
 VD1,VD2- КД522; VT1,VT2- КТ817

Рис. 2. Схема управления ключами однофазного инвертора

Частота тактовых импульсов генератора в схеме управления (рис. 2) должна быть в четыре раза больше, чем частота на выходе преобразователя, что следует из принципа работы сдвигового регистра *DD2* [5], выполняющего функции мультивибратора, поочередно включающего ключи *VT1* и *VT2*.

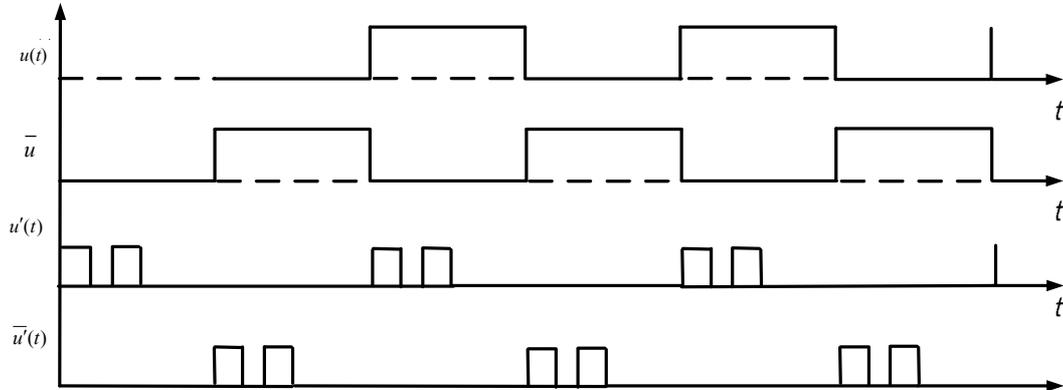


Рис. 3. Временные синхронизированные диаграммы напряжений на выходах схемы управления ключами однофазного инвертора

Частоту напряжения, питающего однофазный конденсаторный асинхронный электродвигатель, не рекомендуется брать выше величины $1, 2 f_{\text{ном}}$, так как падает развиваемая электродвигателем мощность, а минимальная частота f_{min} не должна быть менее половины значения от $f_{\text{ном}}$, потому что происходит искажение формы напряжения $u_3(t)$.

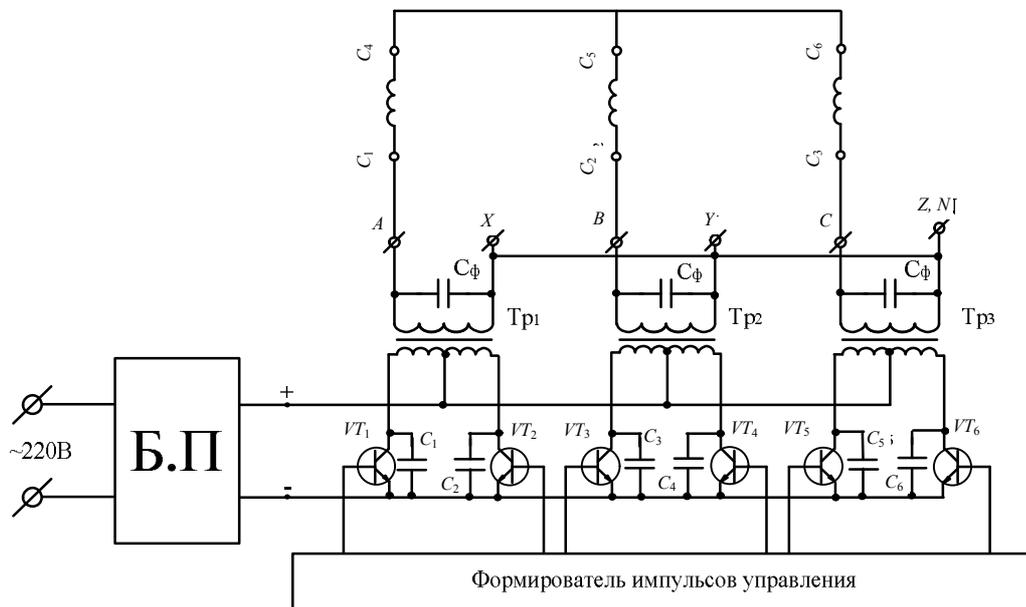


Рис. 4. Преобразователь однофазного сетевого напряжения в трехфазное напряжение на основе трех однофазных инверторов

На рис. 4 изображена схема преобразователя однофазного напряжения в трехфазное на основе трех однофазных инверторов с соединением выходных (повышающих) обмоток трансформаторов *Tr1*, *Tr2*, *Tr3* в звезду.

Формирователь импульсов обеспечивает регулировку частоты вращения ротора трехфазного асинхронного электродвигателя и действующее значение напряжения, подаваемого на статорные обмотки электродвигателя.

Он реализован по аналогии со схемой, представленной на рис. 2, и содержит генератор тактовых импульсов с регулируемой частотой f_1 , преобразователь тактовых импульсов в трехфазную систему однополярных импульсов, логические элементы и триггеры.

При этом, как и в схеме (рис. 2), управляющие импульсы подаются на базы транзисторов $VT1-VT6$ через эмиттерные повторители.

Заключение

В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований осуществлено следующее:

- разработана схема управления и выполнена экспериментальная оптимизация параметров ее элементов для однофазного инвертора (рис. 2);
- изготовлена и отлажена экспериментальная установка для демонстрации частотного регулирования скорости вращения ротора однофазного асинхронного электродвигателя с пусковым конденсатором;
- разработана схема простого преобразователя однофазного сетевого напряжения в трехфазное на основе трех однофазных инверторов (рис. 4);
- разработана схема управления и выполнена экспериментальная оптимизация параметров ее элементов для трехфазного инвертора;
- изготовлена и отлажена экспериментальная установка для демонстрации частотного регулирования скорости вращения ротора трехфазного асинхронного электродвигателя.

Литература

1. Запольский, А. Я. Система управления для маломощных асинхронных двигателей : дис. ... магистра техн. наук / А. Я. Запольский ; Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. – Гомель, 2023. – 65 с.
2. Современное состояние и тенденции в асинхронном частотно-регулируемом электроприводе / Л. Х. Дацковский, В. И. Роговой, В. А. Абрамов // Электротехника. – 1996. – № 10. – С. 18–28.
3. Усманходжаев, Н. М. Методы регулирования скорости однофазных конденсаторных асинхронных двигателей / Н. М. Усманходжаев. – М. : Энергия, 1980. – 120 с.
4. Томашевский, Д. Н. Автономные инверторы : учеб. пособие / Д. Н. Томашевский. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2019. – 120 с.
5. Зельдин, Е. А. Импульсные устройства на микросхемах / Е. А. Зельдин. – М. : Радио и связь, 1991. – 160 с.

Reference

1. Zapol'skii A. Ya. *Control system for low-power induction motors*. Diss. mag. tekhn. nauk. Gomel', 2023. 65 p. (in Russian).
2. Datskovskii L. Kh., Rogovoi V. I., Abramov V. A. Current State and Trends in Asynchronous Variable Frequency Drive. *Elektrotekhnika*, 1996, no. 10, pp. 18–28 (in Russian).
3. Usmankhodzhaev N. M. *Methods for controlling the speed of single-phase capacitor induction motors*. Moscow, Energiya Publ., 1980. 120 p. (in Russian).
4. Tomashevskii D. N. *Self-contained inverters*. Ekaterinburg, Izdatel'stvo Ural'skogo universiteta, 2019. 120 p. (in Russian).
5. Zel'din E. A. *Pulse devices on microcircuits*. Moscow, Radio i svyaz' Publ, 1991. 160 p. (in Russian).