

УДК 621.314

В.П. Епифанов, к.т.н. доцент, ФГБОУ ВО «ВГУВТ»,
Ю.С. Малышев, к.т.н. доцент, ФГБОУ ВО «ВГУВТ»
603951 Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5

СТАТИЧЕСКИЙ ГЕНЕРАТОР ЭНЕРГИИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Ключевые слова: статический генератор, полупроводниковый преобразователь, электромагнитная индукция.

Предложена схема статического генератора энергии переменного тока выполненная на основе полупроводникового преобразователя с улучшенным качеством выходного напряжения при использовании более дешевых комплектующих. Рассмотрена особенность формирования кривой выходного напряжения при использовании энергии конденсатора и катушки индуктивности. Приведены схема статического генератора энергии переменного тока и временные диаграммы его работы.

В последнее время с увеличением распространения возобновляемых источников энергии в качестве статического генератора энергии переменного тока целесообразно применять полупроводниковые преобразователи, которые преобразуют постоянный ток, например, химического источника или солнечной батареи, в переменный ток необходимый для питания судовых потребителей.

На данный момент применяются три основных типа преобразователей имеющих следующие формы выходного напряжения (рис.1): а) ступенчатая; б) аппроксимированная синусоида; в) синусоидальная [1, 2, 3].

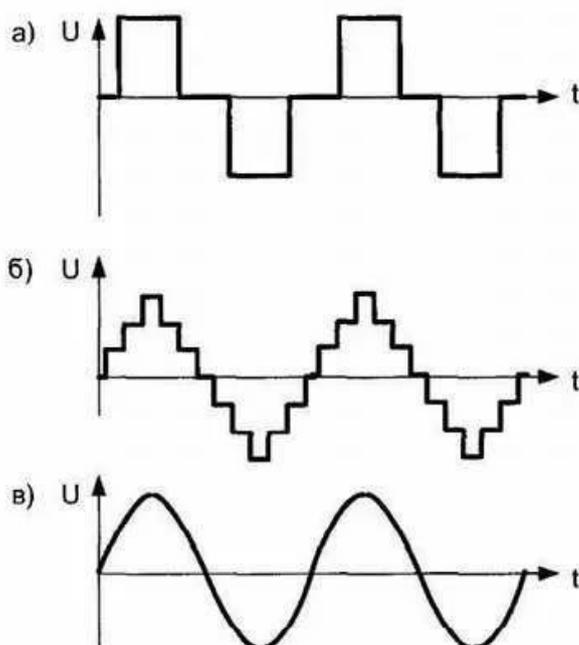


Рис. 1. Форма выходного напряжения преобразователей: а) ступенчатая; б) аппроксимированная синусоида; в) синусоидальная

Первые не рекомендуется применять из-за большого количества гармонических составляющих. Последние имеют сложную и дорогую систему управления и длительный режим работы электронных ключей, что требует применения более мощных и дорогих электронных элементов [1, 2, 3].

Преобразователи с аппроксимированной синусоидой не имеют указанных недостатков, но количество гармонических составляющих достаточно велико [2].

Учитывая выше сказанное, предлагается использовать в качестве статического генератора энергии переменного тока генератор, выполненный по схеме (рис.2).

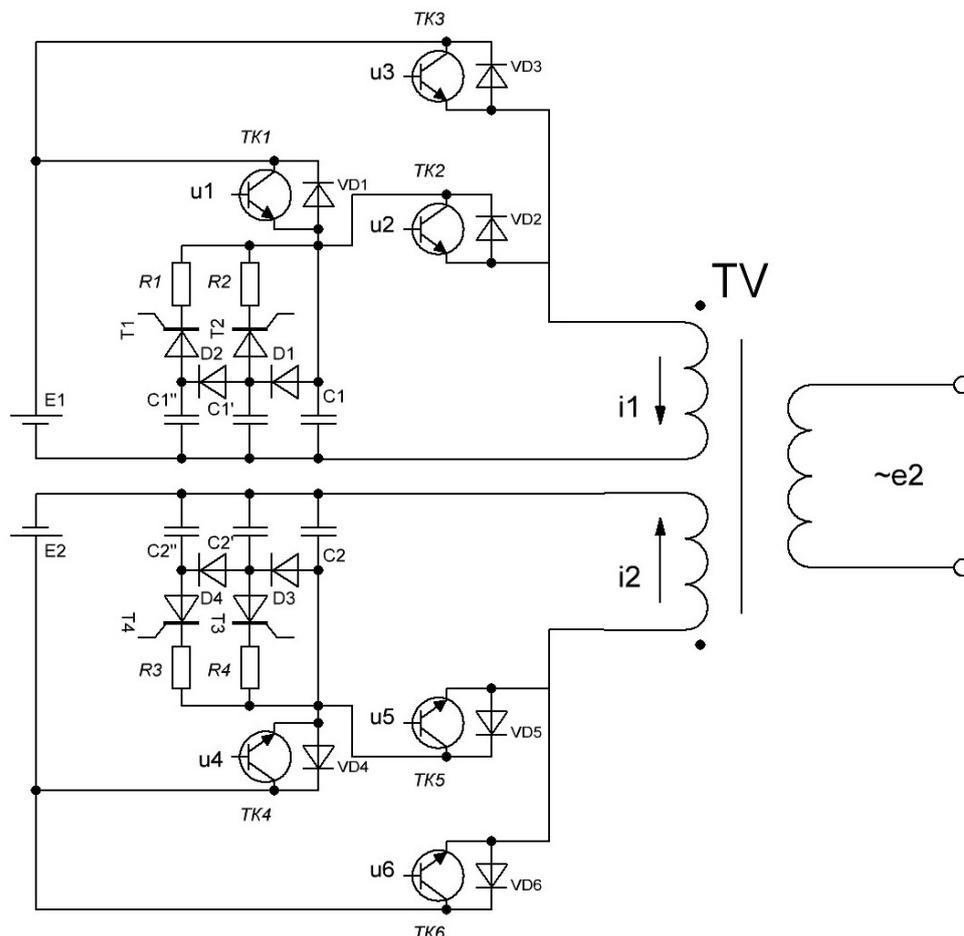


Рис. 2. Статический генератор энергии переменного тока

Схема работает следующим образом. При включении и отключении транзисторных ключей ТК2 – ТК6 по левым обмоткам проходят токи i_1 и i_2 и вызывают в магнитопроводе трансформатора TV переменные магнитные потоки, которые направлены в разные стороны и сдвинуты один относительно другого на 180° . Они замыкаются по ферромагнитному сердечнику, в котором значение магнитной проницаемости μ изменяется во всем диапазоне изменения магнитного потока. Явления самоиндукции сказываются в процессе включения цепи постоянного тока, когда ток возрастает от нуля до своего конечного значения, и при отключении, когда ток спадает от значения максимум до нуля, а также при резком изменении направлении тока в первичных обмотках трансформатора TV. Это приводит к замедленному нарастанию тока, при включении в цепь индуктивности или снижению его до нуля, при разряде конденсатора.

Действительно, при нарастании тока в цепи трансформатора, обмотка которого обладает индуктивностью L , производная тока di/dt положительна, а э.д.с. e_1 отрицательна, она направлена против тока в цепи и противодействует его нарастанию. При уменьшении

тока в цепи производная тока di/dt меньше нуля,, а э.д.с. e_1 положительна, совпадает с направлением тока в цепи, и э.д.с. поддерживает убывающий по величине ток [4].

$$I_L = E(1 - e^{-t/\tau}).$$

Полученный закон изменения тока показывает, что в цепи с индуктивностью (R и L), включаемой на постоянное напряжение, ток не сразу принимает свое конечное значение $I=U/R$, а нарастает постепенно, по мере того как величина $e^{-t/\tau}$ уменьшается, стремясь к нулю при $t = \text{бесконечности}$.

Так как постоянная времени в цепи с индуктивностью зависит от соотношения L и R и тем больше, чем больше L/R , то скорость нарастания тока в цепи с индуктивностью при ее включении на постоянное напряжение можно регулировать, изменяя параметры цепи L и R . При возникновении магнитного поля катушки, в нем накапливается энергия. Энергия магнитного поля катушки равна $W_M = L i^2 / 2$, поступающая или от источника постоянного тока или от конденсатора [4]. Так как сердечник выполнен из ферромагнитного материала, то при изменении магнитной индукции B изменяется и энергия материала, которая равна $W_{mo} = 0,4 B^2$. Потери энергии от гистерезиса при перемагничивании может быть определена по эмпирической формуле:

$$P_r = \delta_r \cdot G \cdot f / 100 \cdot (B_M / 10000)^2, \text{ Вт}$$

где B_M – магнитная индукция, в гс; G – масса металла, кг; f – число циклов перемагничивания, 1/сек; δ_r – постоянный коэффициент.

Численно потери от вихревых токов выражаются эмпирической формулой:

$$P_v = \delta_v \cdot G \cdot (f / 100 \cdot B_M / 10000)^2, \text{ Вт.}$$

Потери от гистерезиса и вихревых токов можно использовать в технических устройствах, таких как электрическая схема рис. 1.

Трансформатор TV работает в импульсном режиме. При увеличении тока i_1 от 0 до максимального при $\tau=L/R$, где L – статическая индуктивность определяется из выражения

$$L = B S w^2 / H l_{ch} = \mu_a S w^2 / l_{ch}.$$

За время нарастания тока от $t=0$ до $t=0,005$ с. получаем синусоидальную величину выходной e_2 . При открытии транзисторного ключа ТК2 идет процесс разрядки конденсатора C_1 и ток i_1 в этом случае состоит из двух составляющих: тока конденсатора C_1 и тока убывающего магнитного поля трансформатора, созданного источником E_1 при увеличении тока i_1 . В этом случае e_2 приближается к синусоидальному закону в момент изменения t от $0,005$ с до $0,01$ с за счет уменьшения энергии магнитного поля трансформатора. Проведенный анализ требует еще раз подчеркнуть, что явление самоиндукции и взаимоиндукции связаны с переменным магнитным полем, которые могут поддерживаться только изменяющимися токами. При выборе трансформатора необходимо учитывать магнитный поток, магнитную индукцию кривой намагничивания материала и учитывать длину магнитопровода и площадь поперечного сечения. Время увеличения и уменьшения мгновенного значения e_2 будет зависеть от параметров обмоток L , R и конструкции трансформатора.

На рис.2 показаны временные диаграммы при подаче управляющих сигналов на транзисторные ключи.

На рис. 1 индуктивностью служит обмотка трансформатора TV, а конденсатор C_1 заряжается от источника постоянного тока при открытом транзисторе ТК1 (напряжение зарядки изменяется по закону $U_c = E(1 - e^{-t/\tau})$). Конденсатор C_2 заряжается от источника постоянного тока при открытом транзисторе ТК4. При закрытом транзисторе ТК1 и открытом транзисторе ТК2 напряжение изменяется на конденсаторе C_1 по закону $U_c = Ee^{-t/\tau}$, а при закрытом транзисторе ТК4 и открытом транзистор ТК5 аналогичным образом изменяется напряжение на конденсаторе C_2 . По обмоткам трансформатора (1) и (2) проходит переменный ток разряда конденсатора $I_c = dQ/dt = dCU_c/dt = CdU_c/dt$, при изменении напряжения $U_c = Ee^{-t/\tau}$.

По обмотке трансформатора TV проходит переменный ток, возникает переменное магнитное поле и во вторичной обмотке трансформатора наводится e_2 (положительная полуволна), при работе транзисторов ТК3 и ТК2, а при работе транзисторов ТК6 и ТК5

индуцируется отрицательная полуволна. Таким образом, согласно схемы рис.1 идет процесс выработки энергии переменного тока при отсутствии движущихся элементов в электрической цепи.

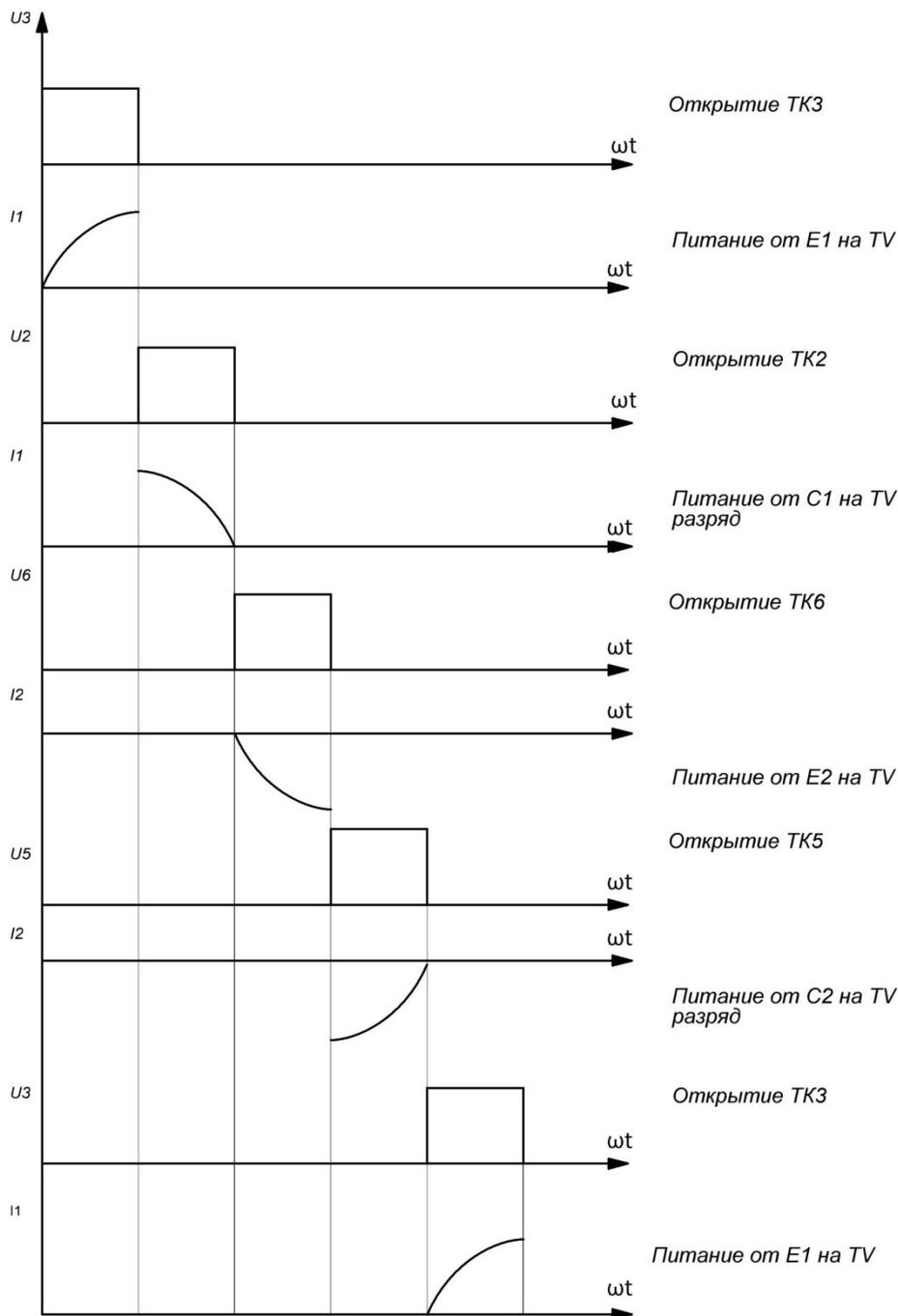


Рис. 2. Временные диаграммы работы схемы

Для компенсации провала синусоиды, особенно при подключении повышенной нагрузки, параллельно конденсаторам C_1 и C_2 посредством тиристорov T1-T4 подключаются конденсаторы C_1' , C_1'' и C_2' , C_2'' соответственно.

Таким образом, предложенная схема статического генератора энергии переменного тока позволяет генерировать практически синусоидальное напряжение при более кратковременном режиме работы электронных ключей.

Список литературы:

- [1]. Гельман М.В. Преобразовательная техника: учебное пособие / М.В. Гельман, М.М. Дудкин, К.А. Преображенский. - Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2009. - 425 с.
- [2]. Розанов Ю.К. Силовая электроника : учебник для вузов / Ю.К. Розанов, М.В. Рябчицкий, А.А. Кваснюк. — М. : Издательский дом МЭИ, 2016.
- [3]. Попков О.З. Основы преобразовательной техники: учеб. пособие для вузов / О.З. Попков. 2-е изд., стереот. — М. : Издательский дом МЭИ, 2007. — 200 с: ил.
- [4]. Курс электротехники. А.С.Касаткин, М.В.Немцов. Высшая школа. Москва. 2005 г 531 с.

STATIC ALTERNATING CURRENT ENERGY GENERATOR

V.P. Epifanov, Y.S. Malyshev

Keywords: Static generator, Semiconductor converter, electromagnetic induction.

A scheme of a static alternator of a current generated on the basis of a semiconductor converter with an improved quality of the output voltage with the use of cheaper components are proposed. The peculiarity of formation of the output voltage curve when using the energy of the capacitor and the inductor is considered. The scheme of a static generator of AC power and time diagrams of its operation are presented.