

УДК 621.314.57

**ИНВЕРТОР С УЛУЧШЕННЫМ ВЫХОДНЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ****АХУНДОВА М.М., АХУНДОВ Р.Ф., ПАШАЕВА С.Ю., ГУСЕЙНОВА С.А.***Азербайджанский Технический Университет*

Прогресс в области полупроводниковой техники и, особенно, освоение мощных тиристоров, открыл дорогу разработке и производству статических преобразователей частоты для управления бесколлекторными двигателями переменного тока средней и большой мощности.

Транзисторные преобразователи, несмотря на ограничения по мощности и напряжению, нашли широкое применение в различных областях техники в качестве вторичных источников с постоянными или изменяющимися по заданному закону частотой и напряжением переменного тока для питания асинхронных и синхронных двигателей электроприводов, различных типов датчиков и приборов систем автоматического управления.

Оценивая КПД привода, необходимо отметить, что за счет улучшенной формы питающего напряжения удастся снизить потери в асинхронном двигателе.

Мостовая схема инвертора, питаемая от нерегулируемого выпрямителя или аккумулятора, стабилизирующая переменное напряжение на нагрузке фазовым способом, имеет высокий КПД, благодаря минимальному содержанию полупроводниковых ключей. Но при этом форма напряжения на нагрузке прямоугольная, содержащая 33,3% третьей гармоники, 20% - пятой и 14,3% - седьмой гармоники. Когда основная гармоника выходного напряжения снижается посредством фазового регулирования в процессе стабилизации, процентное содержание гармоник ещё более увеличивается, что недопустимо для многих потребителей.

В случае же если мостовой инвертор работает с ШИМ по синусоидальному закону, то для стабилизации напряжения, система управления (СУ) должна обеспечивать синхронное изменение всех импульсов за период выходного напряжения при условии строгого сохранения закона построения кривой. Это усложняет СУ, а элементы инвертора функционируют в неблагоприятном режиме, так как инвертор выполняет одновременно функции инвертирования, приближения формы кривой напряжения к синусоидальной и стабилизацию её. При этом полупроводниковые ключи работают на повышенных частотах из-за многократной коммутации за период выходного напряжения, что увеличивает динамические потери в них.

Улучшить форму выходного напряжения инвертора при сохранении её гармонического состава в процессе стабилизации амплитуды возможно при применении предварительного звена постоянного тока. Это несколько снижает КПД всей установки, но зато даёт большие преимущества в отношении формы, гармонического состава, стабильности выходного напряжения, существенного упрощения СУ.

На рис.1 показана схема со стабильными выходными параметрами и повышенной устойчивостью при работе на резко изменяющуюся нагрузку. Звено постоянного тока здесь представляет собой широтно-импульсный регулятор (ШИР) с улучшенной динамикой, работающий на частоте около 1000Гц. Балластный резистор ( $r_{бал}$ ) подключается и отключается автоматически параллельно выходу ШИР с помощью ключа VT2. Это позволяет исключить рост напряжения на входе инвертора при сбросах нагрузки на стороне переменного тока и минимизировать выбросы напряжения, обусловленные накопленной в дросселе L1 энергией, при резких колебаниях нагрузки RН. Это очень

важно для поддержания установленного гармонического состава переменного напряжения в условиях меняющегося напряжения питания УИП, резких колебаний и коммутаций нагрузки  $R_H$ .

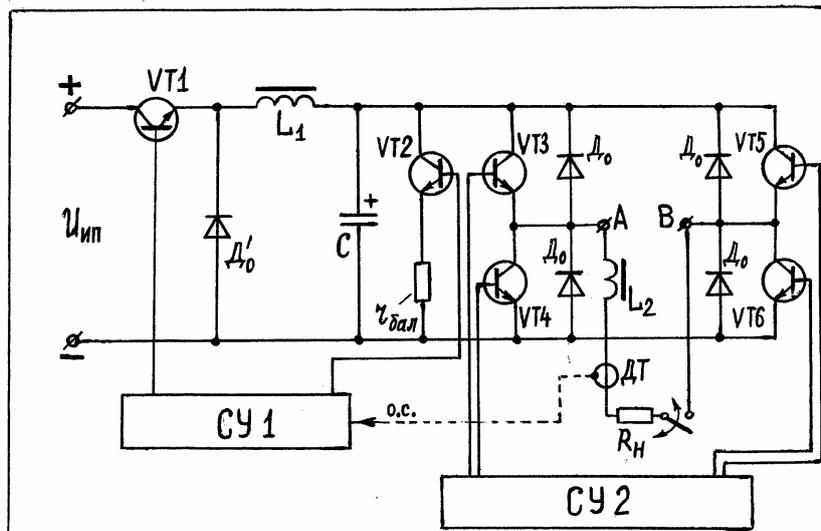


Рис.1 Принципиальная схема инвертора

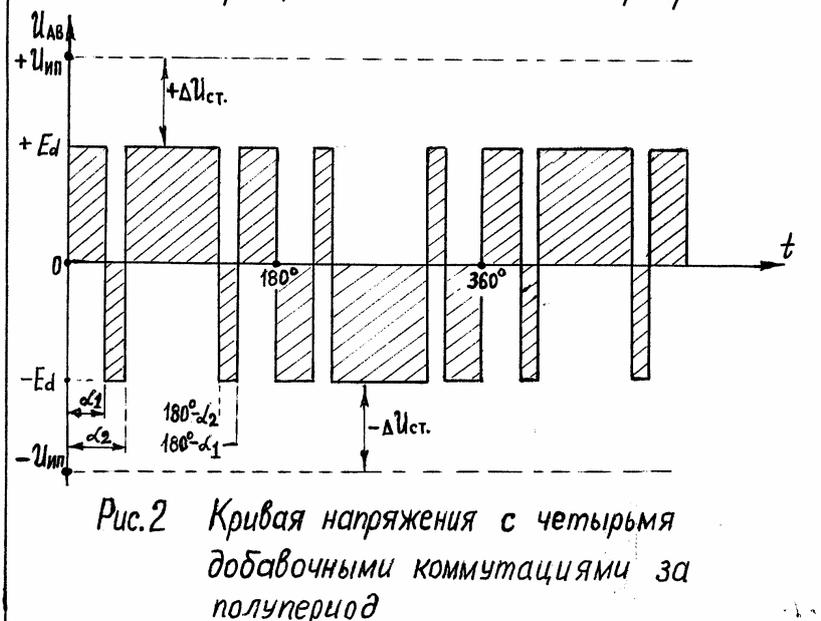


Рис.2 Кривая напряжения с четырьмя добавочными коммутациями за полупериод

Кроме того, это позволяет разделить функции стабилизации амплитуды выходного напряжения и формирования переменного напряжения с неизменным необходимым гармоническим составом. Отпадает также необходимость в жесткой привязке несущей частоты к выходной частоте, что существенно упрощает СУ и расширяет диапазон регулирования частоты и амплитуды выходного напряжения.

Форма и гармонический состав напряжения диктуются потребителем. Наиболее часто используемая форма кривой показана на рис.2. На рис.2 представлена кривая с четырьмя добавочными коммутациями за полупериод, где  $E_d$ -амплитуда выходного напряжения;  $\pm \Delta U_{ст}$  - запас напряжения для стабилизации при снижении  $U_{ип}$ . Разложение в ряд Фурье этой кривой приводит к выражениям:

$$U_{AB(n,m)} = \frac{4}{\pi} \int_0^{\alpha_1} E_d \cdot \sin n\omega t d\omega t - \frac{4}{\pi} \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} E_d \sin n\omega t d\omega t + \frac{4}{\pi} \int_{\alpha_2}^{90^\circ} E_d \sin n\omega t d\omega t \quad (1)$$

$$U_{AB(n,m)} = \frac{4}{\pi} Ed \cdot \frac{1 - 2 \cos n\alpha_1 + 2 \cos n\alpha_2}{n} \quad (2)$$

Если числитель выражения (2) станет равным нулю для данного значения (n), то выбранная гармоника исключается из напряжения нагрузки. Наиболее трудноподавляемые гармоники - третья, пятая, седьмая. Допустим, необходимо исключение для данной нагрузки 3 и 5 гармоник.

Напряжения этих гармоник можно выразить так:

$$U_{AB(3,m)} = \frac{4}{\pi} Ed \cdot \frac{1 - 2 \cos 3\alpha_1 + 2 \cos 3\alpha_2}{3} \quad (3)$$

$$U_{AB(5,m)} = \frac{4}{\pi} Ed \cdot \frac{1 - 2 \cos 5\alpha_1 + 2 \cos 5\alpha_2}{5} \quad (4)$$

Приравняем значения 3 и 5 гармоник нулю:

$U_{AB(3,m)} = U_{AB(5,m)} = 0$ , то есть:

$$\begin{aligned} 1 - 2 \cos 3\alpha_1 + 2 \cos 3\alpha_2 &= 0 \\ 1 - 2 \cos 5\alpha_1 + 2 \cos 5\alpha_2 &= 0 \end{aligned} \quad (5)$$

Решение этих уравнений дает следующие результаты:

$$\alpha_1 \approx 23,62^\circ \quad ; \quad \alpha_2 \approx 33,3^\circ$$

Сравнение процентных значений гармоник в кривой на рис.2 показывает, что содержание 3 и 5 гармоник равно нулю, а 7, 9 и 11-й гармоник возрастает. Но эти высокочастотные гармоники легко отфильтровываются. При этом масса и габариты фильтра переменного тока существенно уменьшаются.

Схема на рис.1 позволяет держать напряжение на выходе инвертора неизменным по амплитуде при сбросах нагрузки, за счет цепи VT2;  $r_{бал}$ . При сбросе нагрузки датчик тока ДТ посылает сигнал отсутствия тока в СУ1, которая включает транзистор VT2 и блокирует работу VT1. Транзистор VT2 будет открыт до тех пор, пока напряжение на конденсаторе С1 не станет равным ранее действовавшему среднему напряжению. Далее он запирается, а на конденсаторе С1 фиксируется действовавшее до сброса нагрузки значение напряжения. Это напряжение инвертируется и на выходе инвертора формируется неизменное по амплитуде переменное напряжение, которое ранее действовало на нагрузке до сброса. Так исключается рост напряжения инвертора при сбросах нагрузки. А при наличии нагрузки RH, но при её резких колебаниях, напряжение стабилизируется быстродействующим ШИР. СУ1 отвечает за стабилизацию входного напряжения инвертора, а СУ2-только за процесс инвертирования. В случае неизменной выходной частоты, например, 50Гц, синхронизации между СУ1 и СУ2 не требуется и они работают автономно. При регулируемой выходной частоте, например, для частотного регулирования скорости вращения двигателей переменного тока, синхронизация необходима для обеспечения необходимого соответствия между амплитудой и частотой выходного напряжения. Таким образом, применяя схему на рис.1, удастся легко сохранить установленный гармонический состав выходного напряжения при колебаниях напряжения питания УИП и коммутациях нагрузки. Так, при формировании кривой на рис.2, уже не нужно изменять установленные углы  $\alpha_1$ ;  $\alpha_2$  для компенсации колебаний напряжения.

1. Доклад 5-го Международного Конгресса «Энергия, Экология, Экономика» Баку-1999, « Perspectives of application of power electronics in wind-electric plants», ст.78-83, Ахундов Р.Ф., Алиев Ф.Ф., Ахундова М.М.
2. “Energy, Ecology, Economy” International Ecoenergy Academy 5-1999, “Stabilization of amplitude and frequency of target voltages of wind-energetic plants” ст.71-73. Ахундова М.М., Алиев Ф.Г., Ахундов Р.Ф.
3. «Системы и средства управления и их программное обеспечение» (сб. науч. трудов) АзПИ, Баку-1989, «Инвертор с ШИМ и умножителем выходного напряжения», Ахундов Р.Ф., ст.32-35.

## **ÇIXIŞ GÄRGİNLIYİ TƏMİNEDİCİ OLAN İNVERTOR**

**AXUNDOVA M.M., AXUNDOV R.F., PAŞAYEVA S.Y., HÜSEYNOVA S.A.**

Çıxış gərginliyinin harmonikasının tərkibi təminedicisi olan inverter şərh olunur. Kommütasiyalarda çıxış gərginliyinin harmonikasının tərkibi sabit olan inverterin sxemi təklif olunur.

## **INVERTER WITH IMPROVED OUTPUT VOLTAGE**

**AKHOUNDOVA M.M., AKHOUNDOV R.F., PASHAEVA S.Y., HUSEYNOVA S.A.**

In this article it is considered the inverters with improved harmonic composition of output voltage. It has been shown their merits and demerits. It's suggested the scheme of inverter, which keeps constant the harmonic composition of output voltage when commutating the load.