

МОДУЛЯЦИОННЫЙ ЦИКЛОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ АВТОНОМНЫХ ИСТОЧНИКОВ СТАБИЛЬНОЙ ЧАСТОТЫ

В. А. ДЕНИСОВ, Ш. С. РОИЗ

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин и общей электротехники)

В настоящей статье в качестве модуляционного циклопреобразователя рассматривается однофазный полупроводниковый преобразователь частоты с непосредственной связью, питаемый модулированным по амплитуде напряжением повышенной частоты. Названный модуляционный циклопреобразователь является основной составной частью модуляционного машинно-вентильного автономного источника стабильной частоты [1, 2].

Силовая часть модуляционного циклопреобразователя (рис. 1) выполнена по мостовой схеме и содержит четыре полностью управляемых двунаправленных полупроводниковых вентиля. Схема управления построена на логических элементах.

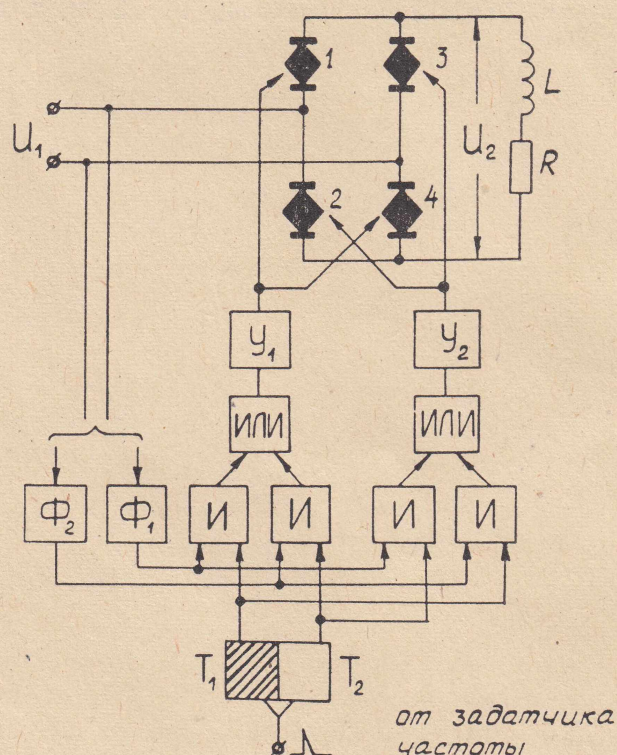


Рис. 1. Принципиальная схема модуляционного циклопреобразователя

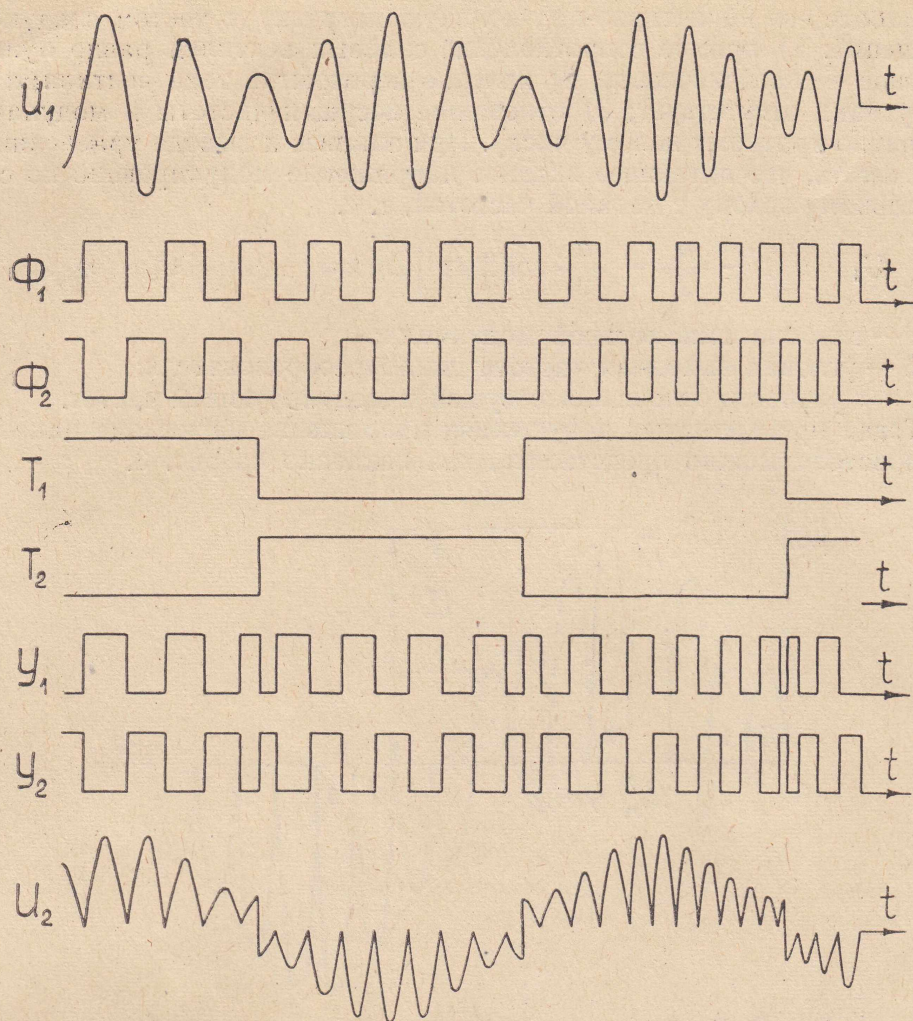


Рис. 2. Временные диаграммы, иллюстрирующие работу модуляционного циклопреобразователя

Принцип действия схемы пояснен рис. 2 и состоит в следующем. Формирователи импульсов Φ_1 и Φ_2 преобразуют модулированное входное напряжение U_1 в прямоугольные импульсы. Импульсы Φ_1 соответствуют положительной полуволне U_1 , а импульсы Φ_2 — отрицательной полуволне. Далее Φ_1 и Φ_2 поступают в схему совпадения, образованную из четырех элементов И, в которую также поступают импульсы с триггера (состояния триггера обозначены на диаграмме через T_1 и T_2), управляемого от задатчика частоты. Полученные таким образом импульсы управления усиливаются на усилителях U_1 и U_2 и затем воздействуют на силовые вентили 1, 2, 3 и 4.

Для положительной полуволны напряжения U_2 положительные импульсы Φ_1 управляют вентилями 1 и 4, а отрицательные импульсы Φ_2 — вентилями 2 и 3. Для отрицательной полуволны напряжения U_2 положительные импульсы Φ_1 управляют вентилями 2 и 3, а отрицательные импульсы Φ_2 — вентилями 1 и 4. Такое управление и применение в силовой схеме полностью управляемых двунаправленных вентилей обеспечивает четкую стабилизацию частоты выходного напряжения U_2 , двухсторонний обмен энергией между источником и нагрузкой независимо от характера нагрузки и значительно упрощает структуру логической схемы управления.

Рассмотрим электромагнитные процессы в циклопреобразователе

при работе его на активно-индуктивную нагрузку с учетом следующих допущений: 1) прямое сопротивление силовых вентиляй равно нулю, а обратное — бесконечности; 2) явление перекрытия тока вентилями при коммутации отсутствует; 3) отношение несущей частоты к модулирующей равно кратному целому числу. При анализе и выводе уравнений будем считать, что питающее входное напряжение модулировано по синусоидальному закону с двойной частотой, т. е.

$$U_1 = \left(1 - \frac{a}{2} - \frac{a}{2} \cos 2\omega t \right) \sin k\omega t \quad \text{для } 0 \leq \omega t \leq \pi,$$

где a — глубина амплитудной модуляции;

ω — угловая выходная частота циклопреобразователя;

k — кратность отношения несущей и модулирующей частот.

Тогда при принятых допущениях напряжение на выходе циклопреобразователя можно представить, как показано на рис. 3.

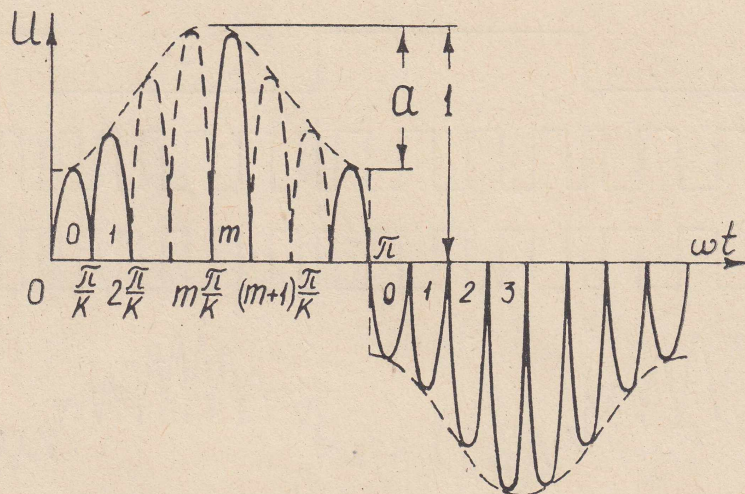


Рис. 3. Приближенная форма выходного напряжения циклопреобразователя

В интервале $0 \leq \omega t \leq \frac{\pi}{k}$ для цепи нагрузки справедливо следующее уравнение

$$L \frac{di_0}{dt} + Ri_0 = \left(1 - \frac{a}{2} - \frac{a}{2} \cos 2\omega t \right) \sin k\omega t,$$

где R и L — активное и индуктивное сопротивления цепи нагрузки.

После интегрирования и выполнения условия $i_0(t=0) = 0$ получим

$$i^0(t) = f(t) - f(0) \exp(-\omega t \operatorname{ctg} \varphi), \quad (1)$$

$$\text{где } \operatorname{ctg} \varphi = \frac{R}{\omega L};$$

$$\begin{aligned} f(t) = & \frac{1 - \frac{a}{2}}{\sin \varphi (\operatorname{ctg}^2 \varphi + k^2)} (\operatorname{ctg} \varphi \sin k\omega t - k \cos k\omega t) - \\ & - \frac{a}{4 \sin \varphi [\operatorname{ctg}^2 \varphi + (k+2)^2]} [\operatorname{ctg} \varphi \sin (k+2)\omega t - (k+2) \cos (k+2)\omega t] - \\ & - \frac{a}{4 \sin \varphi [\operatorname{ctg}^2 \varphi + (k-2)^2]} [\operatorname{ctg} \varphi \sin (k-2)\omega t - (k-2) \cos (k-2)\omega t]. \end{aligned}$$

В интервале $\frac{\pi}{k} \leq \omega t \leq 2 \frac{\pi}{k}$ выражение для тока принимает вид

$$i_1(t) = -f(t) + 2f\left(\frac{\pi}{k\omega}\right) \exp\left[\left(\frac{\pi}{k} - \omega t\right) \operatorname{ctg} \varphi\right] - f(0) \exp(-\omega t \operatorname{ctg} \varphi) \quad (2)$$

Аналогично находим уравнение тока в интервале m , когда

$$m \cdot \frac{\pi}{k} \leq \omega t \leq (m+1) \frac{\pi}{k};$$

$$i_m(t) = (-1)^m f(t) + 2 \sum_{n=1}^m (-1)^{n+1} f\left(\frac{n\pi}{k\omega}\right) \exp \times$$

$$\times \left[\left(\frac{n\pi}{k} - \omega t \right) \operatorname{ctg} \varphi \right] - f(0) \exp(-\omega t \operatorname{ctg} \varphi). \quad (3)$$

Уравнение (3) позволяет определить значение тока в нагрузке в любой точке участка $0-\pi$.

Для определения тока в интервалах второй половины периода $\pi-2\pi$ можно воспользоваться (3), если учесть начальное значение тока

$$i_{\text{нач}} = i_{m=k-1} \left(t = \frac{\pi}{\omega} \right),$$

$$i_m(t) = (-1)^m f(t) + 2 \sum_{n=1}^m (-1)^{n+1} f\left(\frac{n\pi}{k\omega}\right) \exp \times$$

$$\times \left[\left(\frac{n\pi}{k} - \omega t \right) \operatorname{ctg} \varphi \right] - [i_{\text{нач}} + f(0)] \exp(-\omega t \operatorname{ctg} \varphi), \quad (4)$$

$$\text{где } i_{\text{нач}} = (-1)^{k-1} f\left(\frac{\pi}{\omega}\right) + 2 \sum_{n=1}^{k-1} (-1)^{n+1} f \times$$

$$\times \left(\frac{n\pi}{k\omega} \right) \exp \left[\left(\frac{n\pi}{k} - \pi \right) \operatorname{ctg} \varphi \right] - f(0) \exp(-\pi \operatorname{ctg} \varphi).$$

Так как значение начального тока $i_{\text{нач}}$ в последующих полупериодах возрастает незначительно, то уравнение (4) справедливо и для установившегося режима.

Произведенные расчеты кривых тока на ЭЦВМ по уравнению (4) позволили найти оптимальное значение глубины амплитудной модуляции ($a=0,6$), при которой форма тока в нагрузке практически синусоидальна. Такая кривая тока показана на рис. 5, а в сравнении с кривой тока в нагрузке при отсутствии амплитудной модуляции ($a=0$).

Для проверки теоретических результатов при сделанных допущениях проведен эксперимент на опытной установке.

Здесь в качестве полностью управляемых двунаправленных вентилях применены четыре вентильных моста, построенных на диодах Д245А и нагруженных на силовые триоды (КТ-805А). Логическая схема построена на базе элементов серии «Логика Т» и содержит два усилителя Т-403, четыре элемента Т-107; триггер Т-102 и два релейных элемента Т-202. Последние связаны с входным напряжением через трансформатор с установкой стабилитронов на вторичных обмотках (рис. 4).

Сопоставление экспериментальных осциллограмм (рис. 5, б) с расчетными кривыми (рис. 5, а) свидетельствует об их удовлетворительном соответствии.

Выводы

1. Проведенные исследования полностью подтвердили работоспособность предложенной схемы модуляционного циклопреобразователя.
2. Полученные уравнения электромагнитных процессов позволяют

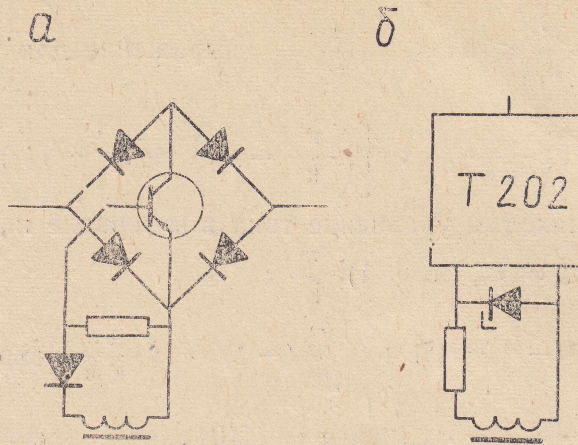


Рис. 4. Схемы узлов модуляционного цикло-преобразователя:
 а — модуль полностью управляемого двунаправленного вентиля,
 б — формирователь прямоугольных импульсов управления

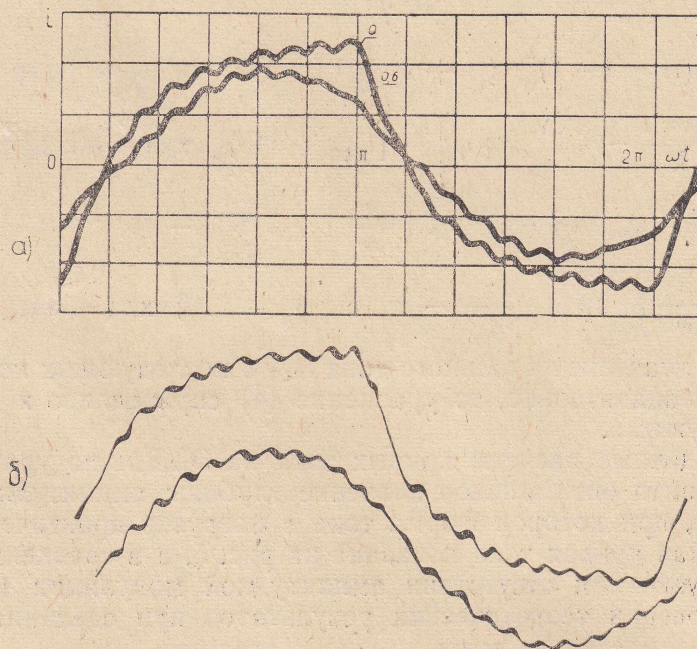


Рис. 5. Кривые тока в нагрузке при $k=10$ и $\cos\varphi=0,8$:
 а — расчетные кривые, б — экспериментальные осциллограммы

построить и оценить кривую тока нагрузки для любого значения глубины амплитудной модуляции.

ЛИТЕРАТУРА

1. М. П. Попов, И. И. Лукин. К вопросу получения переменного тока постоянной частоты при изменяющейся скорости вращения привода генератора. Известия вузов, «Энергетика», 1970, № 1.
2. В. А. Денисов, Ш. С. Ройз. Однофазный автономный источник заданной стабильной частоты. Тезисы итоговой научно-технической конференции. И. Э. И. г. Иваново, 1973.