

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО
НАПРЯЖЕНИЯ НА АВМ**

В. И. СТЕПАНОВ, И. А. ГОНЧАР

(Представлена научно-техническим семинаром кафедры автоматики и телемеханики)

Для питания электронной аппаратуры широко используются стабилизированные преобразователи постоянного напряжения с широтно-импульсной модуляцией. При расчете таких преобразователей необходимо знать область устойчивости. Для определения границы области устойчивости целесообразно использовать аналоговые вычислительные машины.

На рис. 1 приведена электрическая схема тиристорного преобразователя постоянного напряжения в переменное.

Задающий генератор (ЗГ) выдает напряжение прямоугольной формы. Модулятор выполнен на транзисторе Т1 [1] с выходным трансформатором Тр4 и двумя переключающими трансформаторами Тр2 и Тр3. Длительность выходных импульсов пропорциональна разности токов резистора R2 и коллектора транзистора Т2. Напряжения с задающего генератора и модулятора через конденсаторы С1 и С2 соответственно передаются к управляющим электродам тиристоров Т1 + Т4 регулируемого параллельного инвертора тока [2]. Конденсаторы С1, С2 совместно с сопротивлениями обмоток и входными сопротивлениями тиристоров образуют дифференцирующие цепи. Запуск инвертора происходит после запуска задающего генератора. Время задержки задается параметрами резистора R3 и конденсатора С3 [3].

Со вторичной обмотки инверторного трансформатора Тр5 снимается переменное напряжение, близкое к синусоидальной форме. С другой вторичной обмотки инверторного трансформатора снимается напряжение обратной связи и через выпрямитель и Г-образный фильтр Др2, С5 подается на измерительный мост.

Задачу моделирования преобразователя можно свести к построению модели широтно-импульсного модулятора, инвертора, выпрямителя и модели непрерывной части.

Структурная схема модели преобразователя представлена на рис. 2, где модели инвертора, выпрямителя и фильтра показаны в виде одного блока ИВФ. Блок-схема элемента широтно-импульсной модуляции показана на рис. 3 [4]. Она включает в себя генератор развертки 1 (генератор пилообразного напряжения), устройство сравнения 2 и формирующее устройство 3. Входной сигнал u_m и сигнал от генератора развертки подаются на устройство сравнения с противоположными знаками. Формирующее устройство выдает прямоугольные импульсы, длительность которых пропорциональна u_m . Все составные части

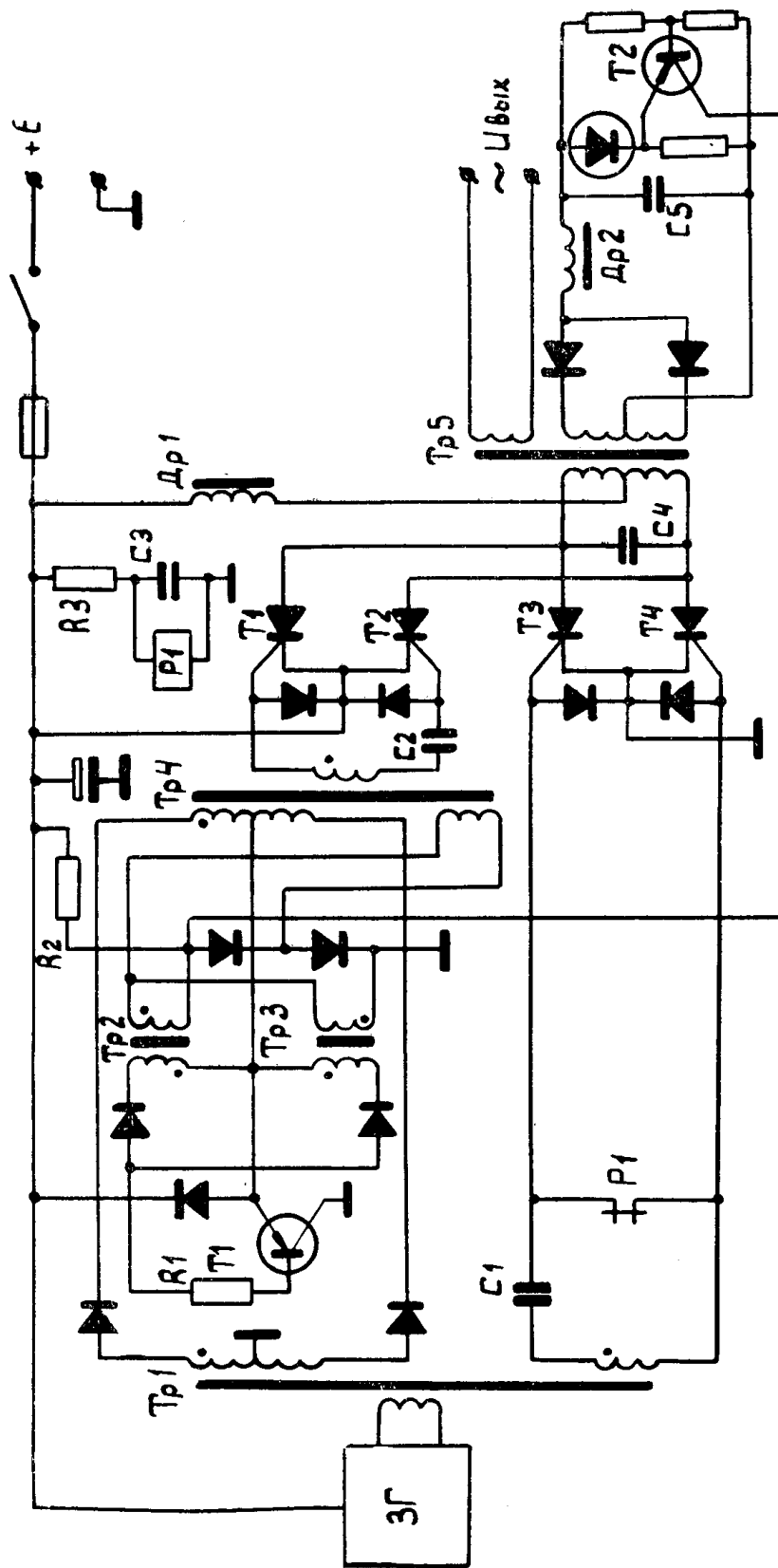


Рис. 1. Схема тиристорного преобразователя постоянного напряжения в переменное

блок-схемы строятся на базе комплекта стандартных решающих элементов любой аналоговой вычислительной машины.

В литературе [4, 5, 6] описано большое число схем генераторов пилообразного напряжения, однако наиболее полно отвечает требованиям точности и простоты схема с использованием быстрого разряда конденсатора через замкнутые контакты реле [7]. Для этого исполь-

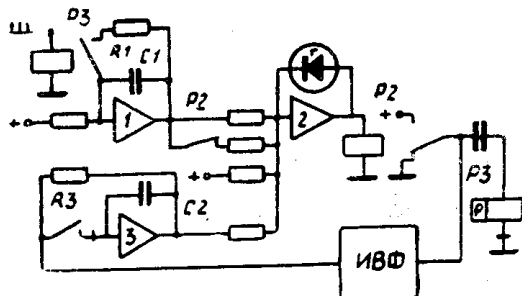


Рис. 2. Структурная схема модели преобразователя постоянного напряжения в переменное

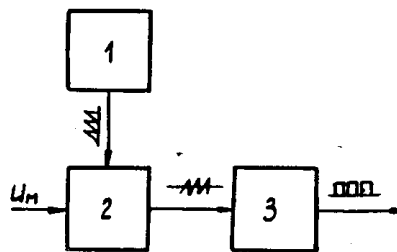


Рис. 3. Блок-схема элемента широтно-импульсной модуляции

зуется решающий усилитель в режиме интегрирования (усилитель 1, рис. 2). Прямоугольные кратковременные импульсы подаются на реле P1. Контакты этого реле периодически замыкаются на короткое время и вызывают разряд емкости C1 через резистор R1. На выходе интегратора образуются импульсы пилообразной формы, частота следования которых равна частоте f_r импульсов, подаваемых на реле P1, а амплитуда определяется соотношением:

$$u_m = \frac{U}{R_{11} C_1 f_r}, \quad (1)$$

где U — входное напряжение интегратора;
 R_{11} и C_1 — входное сопротивление и емкость обратной связи интегратора 1.

Функции сравнивающего и формирующего устройства выполняет блок нелинейностей (усилитель 2 с кремниевым стабилитроном). Такая схема ограничителя надежно сохраняет нулевой уровень на выходе усилителя при наличии на входе напряжения отрицательной полярности.

При моделировании быстродействующего магнитно-транзисторного модулятора в структурную схему был введен элемент (усилитель 3, конденсатор C2, контакты реле P3), запоминающий дискретные значения входного сигнала. Реле P3 периодически кратковременно срабатывает и на выходе усилителя 3 в течение полупериода сохраняется напряжение, равное входному в момент окончания импульса модулятора. Таким образом, процессы в модели будут аналогичны процессам в быстродействующем магнитно-транзисторном модуляторе [8]. Для предупреждения срабатывания реле P2 в момент смыкания контактов P3 в схеме использованы дополнительные контакты реле P2, которые соединяют через дополнительный резистор выход интегратора 1 со входом сумматора 2.

Для описания процессов в инверторе примем следующие допущения:

- 1) индуктивности рассеивания и потери в трансформаторе отсутствуют;
- 2) коммутирующий дроссель $Dp1$ имеет индуктивность L_k ;

3) сопротивления тиристоров в открытых состояниях равно нулю, в закрытом — бесконечности;

4) нагрузка R_n преобразователя приведена к половине первичной обмотке трансформатора.

В процессе работы инвертора можно выделить ряд интервалов, каждый из которых соответствует либо открытому состоянию одного из тиристоров Т1—Т4, либо закрытому состоянию всех тиристоров (режим прерывистого тока). Последовательность включения тиристоров следующая: Т4, Т1, Т3, Т2. Соответствующие этой последовательности схемы замещения инвертора приведены на рис. 4, а—4, г. Для интервала, когда все тиристоры закрыты и ток дросселя $i=0$, схема замещения инвертора представлена на рис. 4, д.

Процессы в инверторе для первых четырех интервалов описываются уравнениями

$$\left. \begin{aligned} L_k \frac{di}{dt} &= xE + u_c, \\ 4R_n C_k \frac{du_c}{dt} + u_c &= yiR_n \end{aligned} \right\} \text{при } i > 0, \quad (2)$$

где

При открытом тиристоре	Т4	Т1	Т3	Т2
x	1	0	1	0
y	-1	1	1	-1

Для интервала, когда $i=0$, процессы описываются уравнением

$$4R_n C_k \frac{du_c}{dt} + u_c = 0. \quad (3)$$

На основе дифференциальных уравнений (2), (3) составлена структурная схема модели инвертора (рис. 5, усилители 4, 5, 6, 7). На вход модели инвертора подаются прямоугольные импульсы, задающие значение x . Для определения значения y используется триггер Т со счетным входом и реле Р4. Переход от уравнений (2) к уравнению (3) и наоборот осуществляется диодом в усилителе 4.

Функции выпрямителя выполняет усилитель 8 с симметричным стабилитроном и реле Р5.

Непрерывная часть преобразователя, в данном случае Г-образного сглаживающего фильтра, описывается дифференциальным уравнением

$$a_2 \frac{d^2 u_n}{dt^2} + a_1 \frac{du_n}{dt} + u_n = U_{вх}(t), \quad (4)$$

где $U_{вх}(t)$, u_n — напряжения на входе и выходе, соответственно, непрерывной части, $U_{вх}(t) = u_c$;

$$a_2 = L_\phi C_\phi;$$

$$a_1 = \frac{L_\phi}{R_3};$$

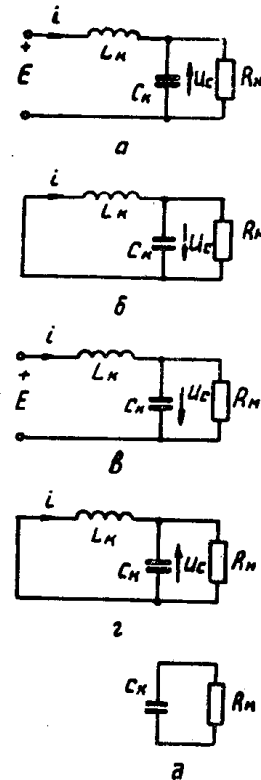


Рис. 4. Схемы замещения регулируемого инвертора

L_ϕ , C_ϕ — индуктивность и емкость соответственно дросселя Др2 и конденсатора С5 (рис. 1);

R_3 — сопротивление нагрузки на выходе непрерывной части.

Выражая уравнение (4) относительно первой производной, получим:

$$\left. \begin{aligned} R_3 C_\phi \frac{du_n}{dt} &= R_3 i_{др} - u_n, \\ L_\phi \frac{di_{др}}{dt} &= u_c - u_n, \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

где

$$i_{др} = \frac{1}{L_\phi} \int (u_c - u_n) dt.$$

Для решения уравнений (5) используются усилители 9, 10, 11 (рис. 5).

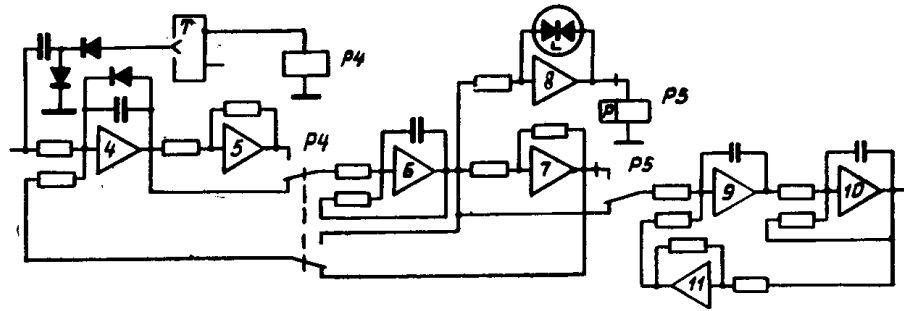
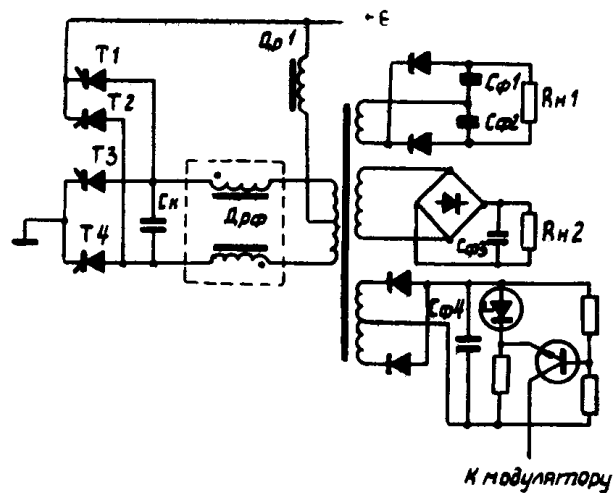


Рис. 5. Структурная схема модели блока ИВФ преобразователя постоянного напряжения в переменное

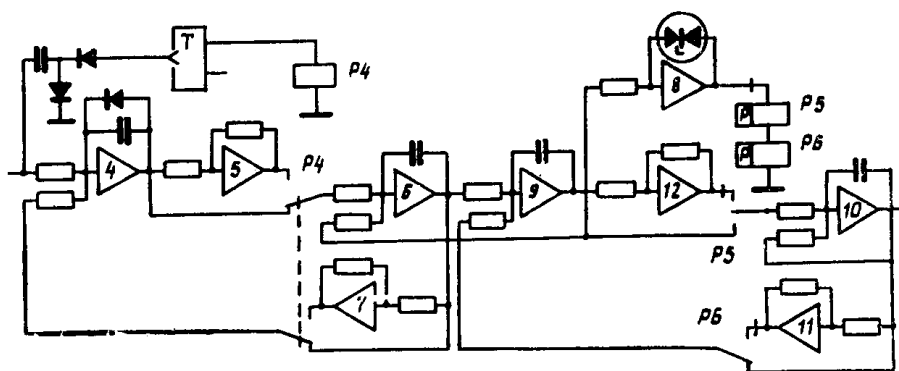
Модель преобразователя напряжения в ряд постоянных напряжений отличается от модели преобразователя в переменное схемой блока ИВФ. Принципиальная схема инвертора с фильтром преобразователя постоянного напряжения в ряд постоянных напряжений показана на рис. 6, а, а на рис. 6, б — структурная схема блока ИВФ.

В данном инверторе использован общий сглаживающий дроссель в цепи переменного тока $Др_\phi$, а сглаживающие конденсаторы C_ϕ подключены непосредственно к выходам выпрямителей [9]. Реле Р5 срабатывает при изменении полярности выходного напряжения усилителя 9, которое является аналогом тока сглаживающего дросселя $Др_\phi$. При $u_6 < u_{10}$, где u_6 , u_{10} — напряжения на выходе соответствующих усилителей, в замкнутом контуре, составленном из усилителей 9, 8 контактов реле Р6, будут присутствовать автоколебания. Если время переключения реле Р6 меньше времени срабатывания реле Р5, то контакты реле Р5 будут находиться в нейтральном положении, что аналогично в реальной схеме запирающему диодам выпрямителя при $u_c < u_n$.

Моделирование обоих типов преобразователей проведено на машине МН-7. При этом были найдены области устойчивости в плоскости параметров L_ϕ , C_ϕ и коэффициенты обратной связи $K_{ос}$ для преобразователя напряжения в переменное (рис. 7, а) и в плоскости параметров ΣC_ϕ (суммарная емкость конденсаторов фильтра) и $K_{ос}$ для преобразователя напряжения в ряд постоянных напряжений (рис. 7, б). Из анализа полученных зависимостей $K_{ос} = f(L_\phi C_\phi)$ и $K_{ос} = f(\Sigma C_\phi)$ можно заключить, что для увеличения запаса устойчивости необходимо в преобразователе напряжения в переменное увеличивать постоянную времени фильтра $L_\phi C_\phi$, а в преобразователе напряжения в ряд постоянных



а)



б)

Рис. 6. Блок ИВФ преобразователя постоянного напряжения в постоянное напряжение другой величины: а — принципиальная схема; б — структурная схема модели

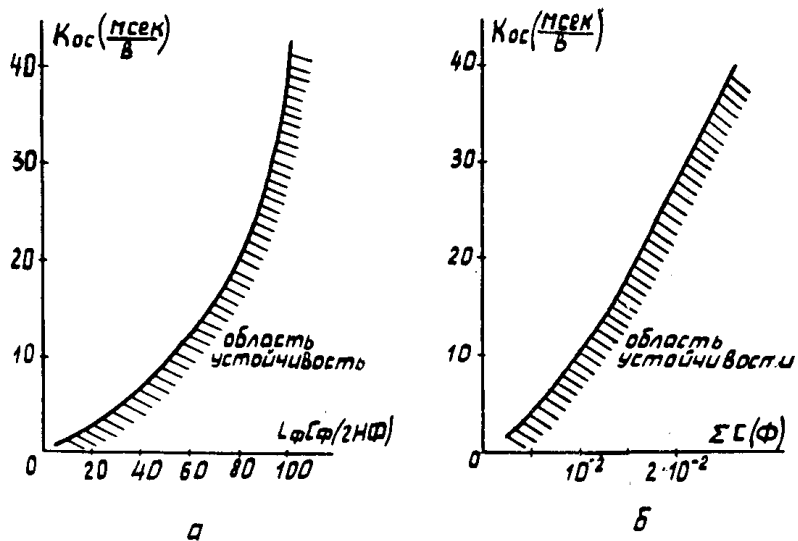


Рис. 7. Области устойчивости преобразователей: а — в переменное напряжение; б — в постоянное напряжение

янных напряжения увеличивать ΣC_{ϕ} , так как индуктивность дросселя $D_{\phi\phi}$ согласно [9] не варьируется. Полученные зависимости позволяют выбрать параметры фильтров при расчете преобразователей.

Формы токов и напряжений, полученные при моделировании, хорошо согласуются с кривыми токов и напряжений реальных преобразователей.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. И. Степанов. Полупроводниковый преобразователь. Авторское свидетельство СССР № 163262, кл. НО 2т, опубл. 22.7.64 г.
 2. В. И. Степанов. Параллельный инвертор. Авторское свидетельство СССР № 379965, опубл. Бюллетень изобретений, 1973, № 20.
 3. В. И. Степанов. Устройство для управления однофазным параллельным инвертором. Авторское свидетельство СССР № 379965, кл. НО2р, опубл. 20.4.73 г.
 4. М. А. Шнейдман. Элемент широтно-импульсной модуляции для исследования систем импульсного регулирования на электронной модели. Автоматика и телемеханика, т. 17, 1956, № 10.
 5. М. А. Шнейдман. Моделирование импульсных систем автоматического регулирования. Сб. Теория и применение дискретных автоматических систем. Изд-во АН СССР, 1960.
 6. Bedford B. D., Hoft R. G. Principles of Inverter Circuits, I. Wiley a. Sons, New York, 1964.
 7. И. А. Гончар. Вопросы исследования и проектирования регулятора напряжения с широтно-импульсной модуляцией. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Томск, 1967.
 8. В. И. Степанов, И. А. Гончар, Ю. С. Мельников. Двухтактный магнитно-транзисторный модулятор с положительной обратной связью. «Известия вузов. Электромеханика», 1974, № 7.
 9. В. И. Степанов, Ю. С. Мельников, И. А. Гончар. Сглаживающий дроссель в цепи переменного тока многоканального преобразователя постоянного напряжения. «Известия вузов. Электромеханика», 1975, № 6.
-