

А. И. ГОМОНОВА, В. И. КОЧЕТКОВА, К. Я. СЕНАТОРОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАСЧЕТ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ НА УПРАВЛЯЕМЫХ ЧЕТЫРЕХСЛОЙНЫХ ПРИБОРАХ

Проведен анализ физических процессов в преобразователях напряжения на мощных трехвыводных четырехслойных приборах. Дается схема расчета преобразователя по заданным его внешним характеристикам. Исследованы зависимости максимальной выходной мощности и к.п.д. преобразователя от напряжения источника питания.

Разработанные в течение последних лет мощные четырехслойные приборы, особенно управляемые, обладают исключительно выгодными ключевыми свойствами, благодаря чему применение этих приборов в преобразователях напряжения весьма перспективно.

Схема преобразователя с внешним возбуждением на четырехслойных приборах изображена на рис. 1. Как видим, эта схема аналогична преобразовательным схемам на газоразрядных вентильных элементах. Аналогичен и принцип действия этого преобразователя на полупроводниковых четырехслойных триодах. Схемы на тиратронах, ртутных лампах и других приборах хорошо исследованы. Существует также и методика инженерного расчета систем с тиратронами, работающих в различных режимах [1, 2, 4]. Поэтому далее в статье речь пойдет только об особенностях расчета преобразователей, связанных со спецификой работы четырехслойных приборов, и о конструировании преобразователей на отечественных приборах.

Принцип действия любого преобразователя с посторонним возбуждением состоит в том, что источник постоянного напряжения питания E поочередно с помощью ключей подключается к обмоткам трансформатора. Назначение деталей схемы: 1) включение ключей производится внешним сигналом; 2) выключение ключей производится с помощью конденсатора C , специально для этого вводимого в схему; 3) дроссель L_0 предохраняет от короткого замыкания источник питания E во время переключения схемы.

Приведенная схема позволяет осуществить два различных режима работы преобразователя: а) режим генерирования синусоидального напряжения и б) режим генерирования прямоугольной волны напряжения. Режимы эти определяются соотношением деталей R_B , L_0 , L_2 и C (см. рис. 1), в соответствии с этим получается различная структура

эквивалентных схем, с помощью которых можно проанализировать работу преобразователя. Эти схемы приведены на рис. 2.

Режим синусоидальных колебаний может быть получен, если выполняются соотношения $L_0 \gg L_2$ и $4R'_N > \rho^2$, где R'_N — пересчитанное сопротивление к половине вторичной обмотки, схема для этого случая дана на рис. 2, а. Режим прямоугольной волны получается при условии $4R'_N < \rho^2 L_0 \ll L_2$, где $\rho = \sqrt{\frac{L_0}{C'}}$. Случай а) (рис. 2, а) подробно разобран для преобразователя с четырехслойными приборами в работе

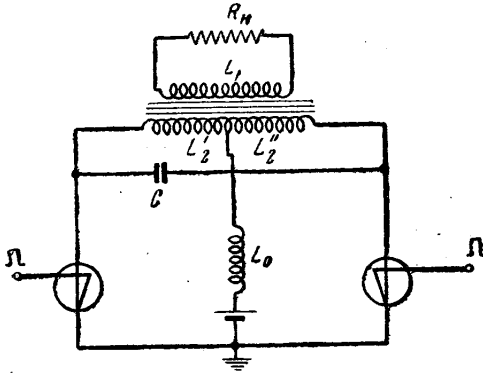


Рис. 1

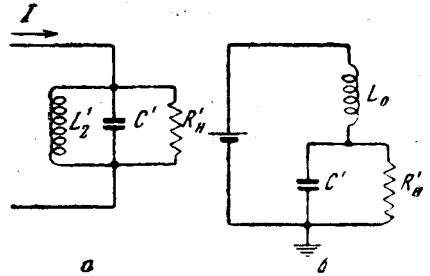


Рис. 2

[3], случай б) (рис. 2, б) до настоящего времени не рассматривался и имеет большое практическое значение.

Работа схемы связана с процессами, протекающими в четырехслойных полупроводниковых приборах. Полагая, что принцип действия этих приборов в настоящее время хорошо известен, ограничимся необходи-

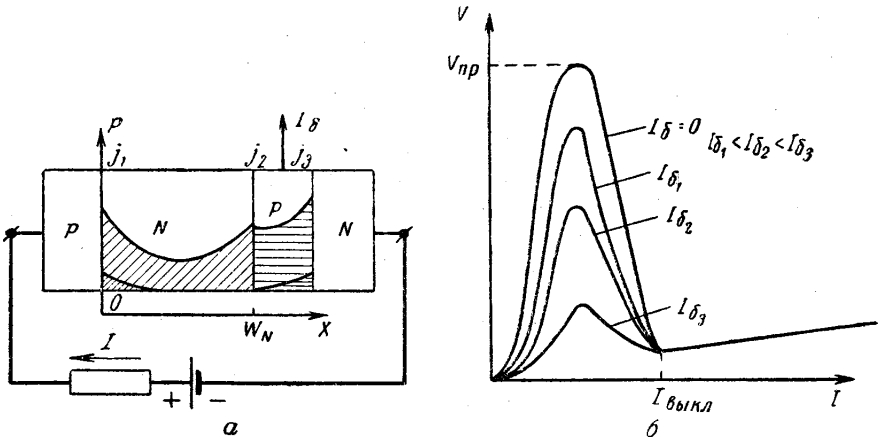


Рис. 3

мым для дальнейшего изложения схематическим изображением прибора и его вольтамперной характеристикой (рис. 3).

Состояние прибора («включен», «выключен») определяется зарядом неосновных носителей в его базах (рис. 3, а). В состоянии «включен» этот заряд может быть очень большим. Например, при токе 20 а и времени жизни неосновных носителей в широкой базе прибора

$\tau_p \approx 2 \cdot 10^{-6}$ сек получается заряд $4 \cdot 10^{-5}$ кулона. Прибор не может быть выключен раньше, чем будет достигнуто некоторое критическое значение заряда $Q_{кр}$. Ясно, что на рассасывание избыточного заряда нужно некоторое время. Поскольку время жизни неосновных носителей в широкой базе прибора существенно больше, чем в узкой, постольку время, необходимое для переключения, определяется главным образом процессом рассасывания заряда в широкой базе прибора.

Теоретические и опытные данные показывают, что при больших рабочих токах время переключения четырехслойного прибора относи-

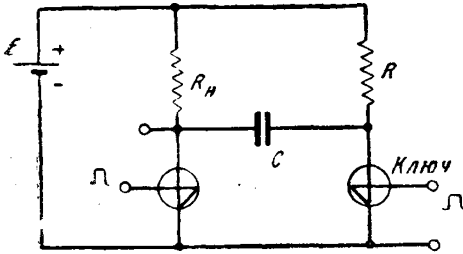


Рис. 4

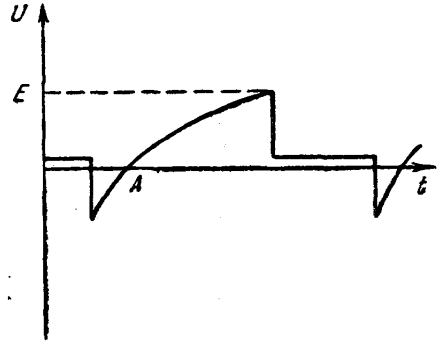


Рис. 5

тельно слабо зависит от режима переключения, т. е. от того, переключается ли прибор путем простого разрыва цепи или путем подачи на него напряжения обратной полярности. Это время определяется главным образом процессом рекомбинации носителей заряда в широкой базе, за счет которого и уничтожается избыточный заряд.

Нетрудно получить формулу для определения времени рассасывания $t_{рас}$, если считать известными начальный заряд в положении «включено» Q_0 , критический заряд $Q_{кр}$, обеспечивающий выключение прибора, и время жизни носителей тока, $\tau_{ж}$, в широкой базе прибора,

$$t_{рас} = \tau_{ж} \ln \frac{Q_0}{Q_{кр}} \quad \text{или} \quad t_{рас} = \tau_{ж} \ln \frac{I_0}{I_{выкл}}$$

где

$$I_0 = \frac{Q_0}{\tau_{ж}} \quad \text{и} \quad I_{выкл} = \frac{Q_{кр}}{\tau_{ж}}$$

Время жизни $\tau_{ж}$ в трехвыводных четырехслойных приборах можно определить опытным путем; ток I_0 — рабочий ток — является всегда известным; $I_{выкл}$ можно определить из вольтамперной характеристики (см. рис. 3, б).

Время переключения четырехслойного прибора можно измерять непосредственно с помощью установки, близкой по принципу действия к обсуждаемому преобразователю и позволяющей вести измерения в рабочем режиме. Схема установки показана на рис. 4. Ход напряжений в схеме во времени дан на рис. 5. В этой схеме испытуемый четырехслойный прибор и ключ поочередно включаются посредством подачи коротких импульсов тока в цепь управляющего электрода. Измерение состоит в том, что при заданном режиме, определяемом напряжением E и нагрузкой R_n , подбирается минимальная емкость C , при которой еще возможно устойчивое переключение схемы.

На эпюрах напряжения в указанной на рис. 5 точке A находят момент прохода кривой заряда емкости C через нуль. Промежуток вре-

мени между моментом подачи пускового импульса на ключевой прибор и моментом прохода упомянутого напряжения через нуль и является временем выключения испытуемого прибора в заданном режиме. Ясно, что таким путем определяется сразу и минимальная емкость, необходимая для работы преобразователя в заданном режиме E и R_n . Поэтому если мы хотим надежно выключить прибор, то необходимо, чтобы постоянная времени $R_n C$ оказалась достаточно большой и обеспечивала бы проход напряжения на приборе через нуль не ранее, чем в нем закончится процесс рассасывания избыточного заряда.

Все сказанное выше является достаточным для построения инженерного расчета преобразователя, формирующего прямоугольную волну напряжения.

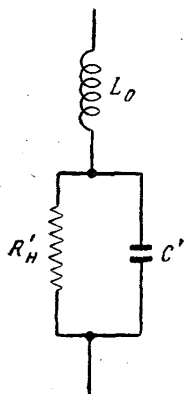


Рис. 6

Рассмотрим предпосылки, необходимые для построения расчета. Роль элементов L_0 и C существенна только в процессе переключения. Для формирования плоской части волны эти элементы не нужны. Поэтому необходимо стремиться к малым величинам C и L_0 . В таком случае уменьшаются потери мощности и размер деталей, предельно укорачивается фронт прямоугольной волны, т. е. улучшается форма волны. С учетом этого расчет выглядит следующим образом. Пусть P_n — рассеиваемая на нагрузке мощность, R_n — сопротивление нагрузки, E — напряжение питания, η — к.п.д., который желательно получить в схеме. Ограничений на частотные пределы работы преобразователя не накладывается, так как преобразователь работает в области низких частот (50—2000 гц). Требуется рассчитать C , L_0 , коэффициент трансформации n . Для удобства расчета введем эквивалентную

схему преобразователя для случая прямоугольной волны напряжения с учетом пересчитанных параметров (рис. 6). Как известно, напряжение на пересчитанной нагрузке и ток, протекающий в ней, определяется с помощью следующих формул:

$$u_n = \eta E \quad \text{и} \quad I_n = \frac{P_n}{u_n} = \frac{P_n}{\eta E}$$

Однако знание этих формул еще недостаточно. Для проверки реальности полученных величин необходимо воспользоваться следующим выражением для коэффициента полезного действия:

$$\eta = 1 - \frac{R_{\text{потерь}} I_n}{E} - \frac{u_{\text{остаток}}}{E}.$$

Как известно, величина пересчитанной нагрузки определяется

$$R'_n = \frac{P_n}{I_n^2} = \frac{\eta^2 E^2}{P_n}.$$

Так как $L'_2 = L_2 = \frac{1}{2} L_0$, то величина емкости $C = \frac{C'}{4}$. Зная время выключения четырехслойного прибора $t_{\text{выкл}}$, которое в свою очередь должно удовлетворять соотношению $t_{\text{выкл}} = 0,7 R'_n C'$, можно определить значение емкости C

$$C' = \frac{t_{\text{выкл}}}{0,7 R'_n}, \quad \text{отсюда} \quad C = \frac{t_{\text{выкл}}}{2,8 R'_n} = \frac{t_{\text{выкл}} P_n}{2,8 \eta^2 E^2}.$$

Поскольку расчет преобразователя ведется для случая формирования прямоугольной волны напряжения, должно выполняться условие $4R'_H < \rho^2$. Отсюда определяем значение величины L_0 , т. е. $L_0 \gg 4(R'_H)^2 C'$. Полупериод колебаний определяем как $T = 10 \div 30 R'_H C'$. Выбираем $T = 15 t_{\text{выкл}}$. Коэффициент трансформации n определяется следующим образом:

$$n^2 = \frac{R'_H}{R_H}, \quad n = \sqrt{\frac{\eta^2 E^2}{P_H R_H}}$$

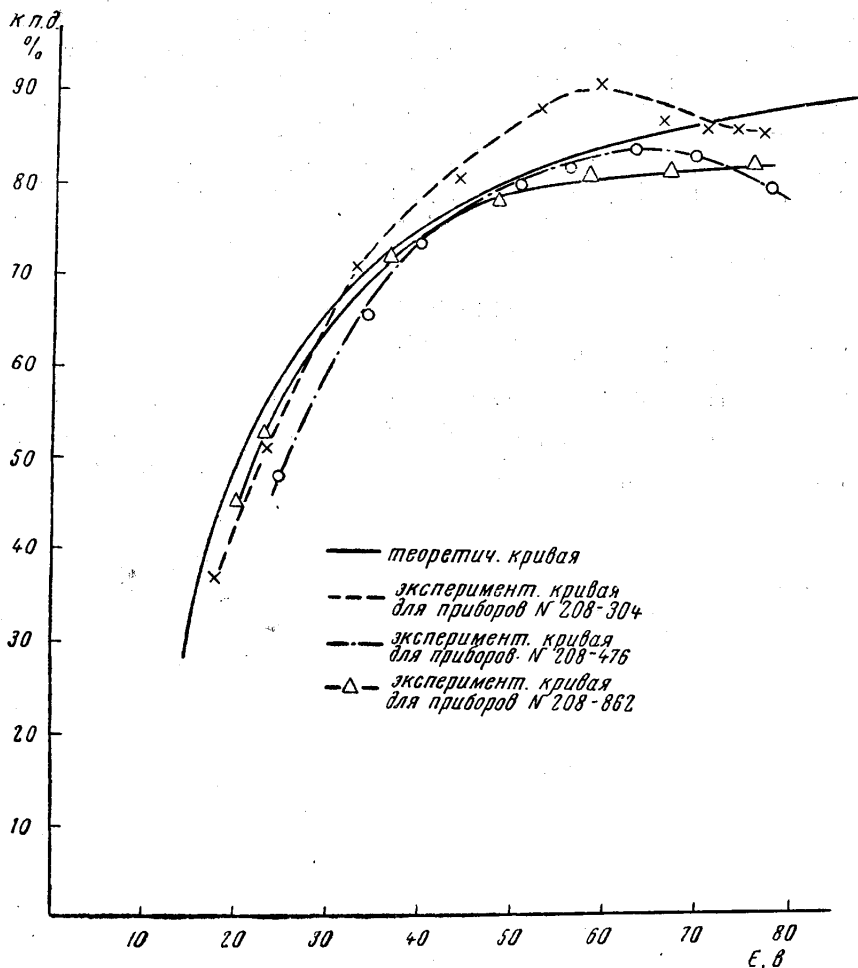


Рис. 7

В описываемых преобразователях испытывались отечественные управляемые приборы, рассчитанные на работу с постоянным током до 10 а в режиме «включен». В преобразователе через эти приборы в течение половины периода протекал максимальный ток 20 а, в течение другой половины периода триод был выключен.

Схемы преобразователя типа, приведенных на рис. 1, следующие: $L_0 = 2,7 \cdot 10^{-3}$ гн, $C_{\text{мин}} = 2$ мкф, $C_{\text{макс}} = 3$ мкф (в зависимости от напряжения питания), $L_2' = L_2'' = 0,4$ гн, $r_{\text{дрос}} = 0,32$ ома, $R_{H \text{ мин}} = 1,5$ ома, $R_{H \text{ макс}} = 13$ ом (в зависимости от напряжения питания), $r_{L_2'} = r_{L_2''} = 0,3$ ома.

На рис. 7 показан экспериментально полученный график зависимости к.п.д. η от напряжения питания E .

Максимальная мощность, рассеиваемая в сопротивлении нагрузки при этом, была порядка 1,3 кВт, и к.п.д. достигал при максимальных напряжениях E — 85—90%.

Приборы устанавливались на массивных медных радиаторах. В режимах максимальных мощностей в каждом из приборов рассеивалась мощность около 15 вт. В этих режимах необходимо было дополнительное охлаждение радиаторов с помощью потока воздуха от вентилятора. При этом поддерживалась температура корпуса прибора $45 \div 50^\circ$.

В заключение следует сказать. Расчет преобразователя напряжения на мощных управляемых четырехслойных приборах и проведенный эксперимент показывают, что разрабатываемые отечественными предприятиями мощные триоды, рассчитанные на переключение средних токов до 10 а, позволяют получить на сопротивлении нагрузки 10 ом мощность порядка 1,3 кВт при к.п.д. всей установки 70+90%. Работа преобразователя напряжения исследовалась в диапазоне частоты переключения триодов 50—2000 гц.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шиллинг В. Схемы выпрямителей, инверторов и преобразователей. Госэнергоиздат, 1950.
2. Свечников С. В. Основы теоретической электроники. Гостехиздат, Киев, 1961.
3. Colloque international sur les dispositifs a semiconducteurs, v. II. Paris, 1961, p. 78.
4. Коганов И. Л. Электронные и ионные преобразователи. Госэнергоиздат, 1955.

Поступила в редакцию
4. 4 1963 г.

Кафедра
теории колебаний