

12. ИМПУЛЬСНЫЕ УСТРОЙСТВА

Импульсные сигналы и электронный ключ

В цифровых устройствах, в компьютерах используются *импульсные сигналы* (рис. 1). В этом случае для передачи информации используется факт наличия или отсутствия импульса.

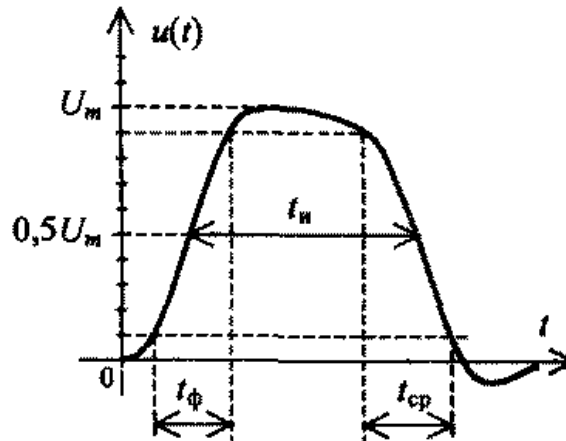


Рис. 1

Электронный ключ — это устройство, выполненное, как правило, на транзисторе и предназначенное для получения импульсного (логического) сигнала. Электронный ключ — основа для построения более сложных цифровых устройств, включая микропроцессоры.

Простейшая схема ключа с резистивной нагрузкой приведена на рис.2.

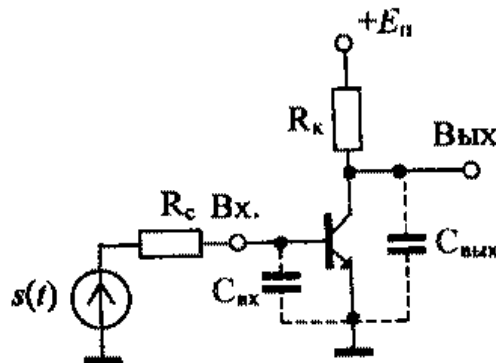


Рис.2

Переключательная характеристика ключа приведена на рис.3.

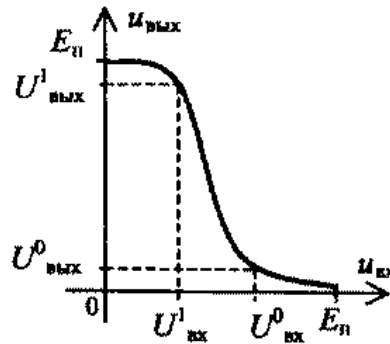


Рис. 3

На рис.4 показаны переходные процессы ключа на биполярном транзисторе.

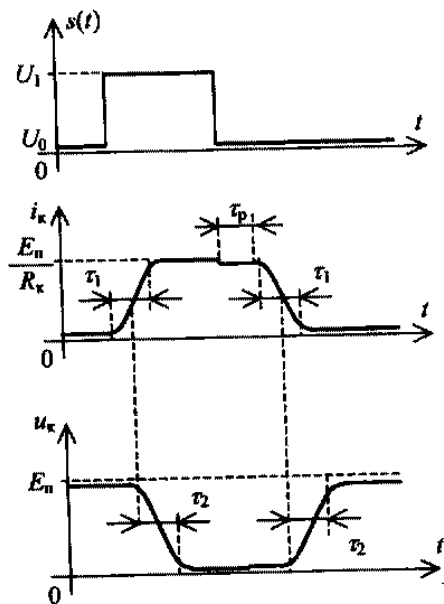


Рис. 4

Ограничители

Ограничителем (амплитудным ограничителем) называют устройство, предназначенное для ограничения амплитуды или изменения формы сигнала. Различают ограничители по максимуму, или ограничители «сверху», ограничители по минимуму, или ограничители «снизу», и двусторонние ограничители.

В ограничители по максимуму:

$$\begin{aligned} u_{\text{вых}} &= E_0 = \text{const} \quad \text{if} \quad u_{\text{вх}}(t) \geq E_0; \\ u_{\text{вых}}(t) &= k \cdot u_{\text{вх}}(t) \quad \text{if} \quad u_{\text{вх}}(t) < E_0; \\ u_{\text{вх.min}} &< E_0 < u_{\text{вх.max}} \end{aligned}$$

В ограничители по минимуму:

$$u_{\text{ВЫХ}}(t) = k \cdot u_{\text{ВХ}}(t) \quad \text{if} \quad u_{\text{ВХ}}(t) > E_0;$$

$$u_{\text{ВЫХ}} = E_0 = \text{const} \quad \text{if} \quad u_{\text{ВХ}}(t) \leq E_0;$$

$$u_{\text{ВХ.мин}} < E_0 < u_{\text{ВХ.макс}}$$

Двусторонний ограничитель имеет два порога ограничения: $E_{01} > U_{\text{ВХ.мин}}$, $E_{02} < U_{\text{ВХ.макс}}$ и $E_{01} < E_{02}$. Выходной сигнал определяется соотношениями:

$$u_{\text{ВЫХ}} = E_{01} = \text{const} \quad \text{if} \quad u_{\text{ВХ}}(t) \leq E_{01};$$

$$u_{\text{ВЫХ}} = E_{02} = \text{const} \quad \text{if} \quad u_{\text{ВХ}}(t) \geq E_{02};$$

$$u_{\text{ВЫХ}}(t) = k \cdot u_{\text{ВХ}}(t) \quad \text{if} \quad E_{01} < u_{\text{ВХ}}(t) < E_{02}.$$

Самые простые схемы ограничителей – с использованием диодов.

Схема последовательного диодного ограничителя приведена на рис.1.

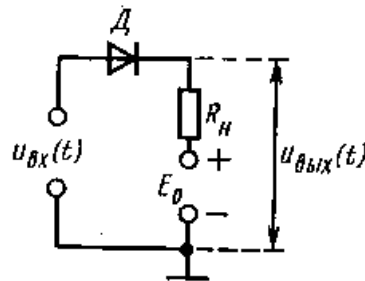


Рис. 1

Временная диаграмма выходного напряжения показана на рис.2.

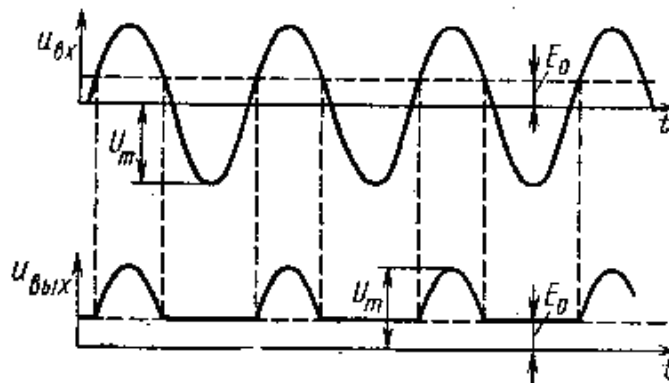


Рис.2

Схема ограничителя, в которой диод заменен стабилитроном, показана на рис.3, а временная диаграмма выходного напряжения – на рис.4.

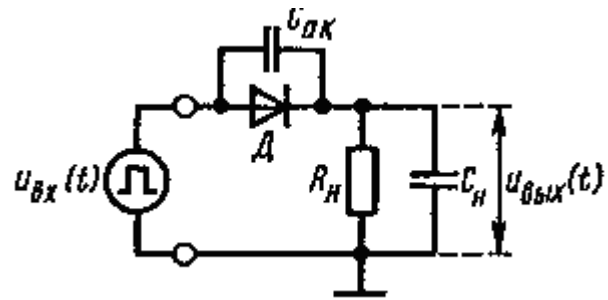


Рис.3

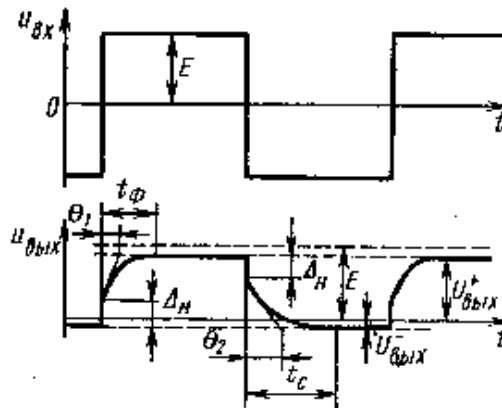


Рис.4

Схема параллельного диодного ограничителя приведена на рис.5

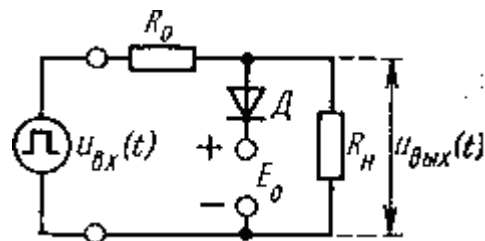


Рис. 5

Временная диаграмма выходного напряжения показана на рис.6.

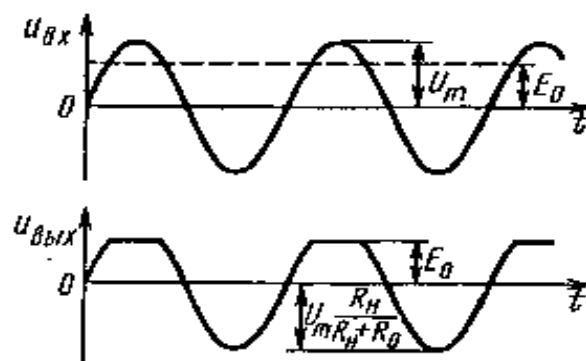


Рис.6

Схема двустороннего диодного ограничителя приведена на рис.7.

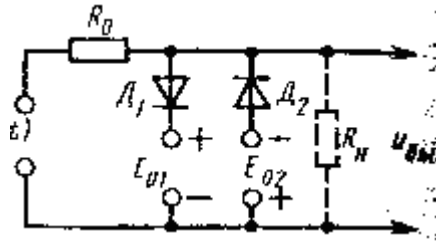


Рис. 7

Временная диаграмма выходного напряжения показана на рис.8.

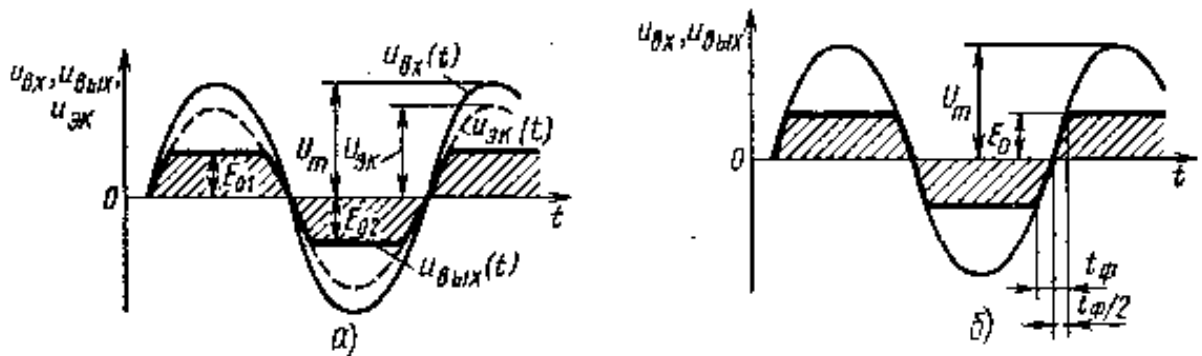


Рис.8

Схема двустороннего диодного ограничителя со стабилитроном приведена на рис.9.

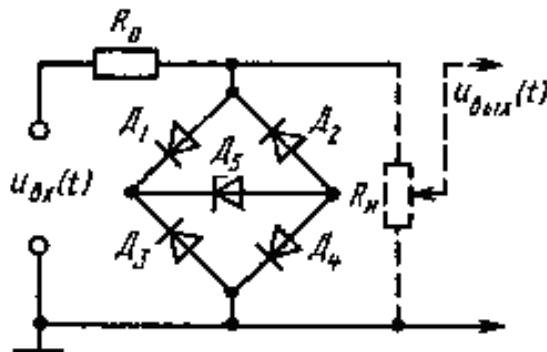


Рис.9

Типы выходных каскадов

Выходной каскад предназначен для отдачи заданной мощности в нагрузку, сопротивление которой тоже задано. Так как мощность поступает от источника питания усилителя через выходной каскад, его КПД должен быть высоким, иначе устройство будет неэкономичным, а габаритные размеры (поверхность

охлаждения) раздутыми для отвода выделяющейся в каскаде теплоты. Выходные каскады выполняют одноктактными и двухтактными.

Одноктактный каскад. Все элементы выходного каскада выполняют те же функции, что и в схеме усилителя на биполярном транзисторе. Отличие состоит лишь в том, что вместо резистора R_k в коллекторную цепь включена нагрузка и разделительный конденсатор C_p отсутствует.

Одноктактный каскад, работающий в режиме А, обеспечивает наименьшие нелинейные искажения, но обладает рядом недостатков: а) низким КПД; б) невозможностью его работы в режимах В и АВ из-за больших нелинейных искажений в этих режимах. Из-за этих недостатков одноктактные каскады применяют только при относительно небольших мощностях нагрузки.

Двухтактный каскад. Он позволяет избавиться от недостатков, присущих одноктактному каскаду. Такие каскады выполняют на транзисторах, включенных по схемам с общим эмиттером или общим коллектором.

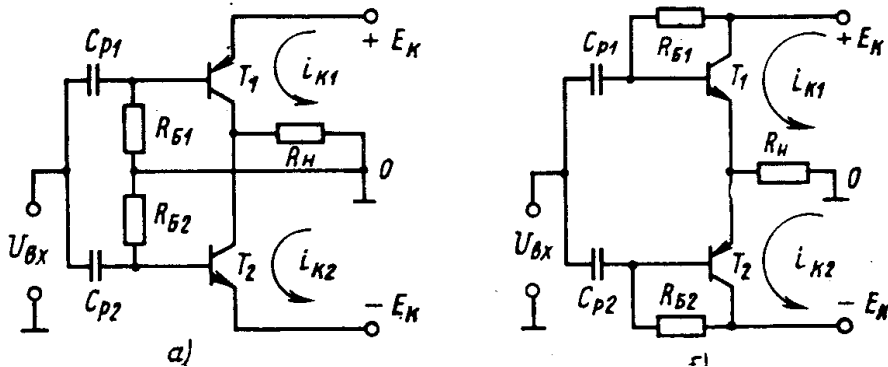


Рис. 2.1. Двухтактные бестрансформаторные каскады на транзисторах, включенных по схемам: а — с общим эмиттером; б — с общим коллектором

Наиболее просты схемы на транзисторах с разными типами проводимости, т. е. PNP и NPN. Пример такой схемы приведен на рис. 2.1, а. Каждое плечо каскада представляет собой резистивную усилительную схему на транзисторе с общим эмиттером. Резисторы R_{B1} и R_{B2} создают смещение с помощью протекающих по ним постоянных базовых токов, но противоположной полярности. Поэтому сигнал U_{BX} , поступающий через параллельно соединенные разделительные конденсаторы C_{P1} и C_{P2} на базы обоих транзисторов, складывается с напряжением смещения $U_{БЭ}$ транзистора T_1 в положительный, а транзистора T_2 — в отрицательный полупериоды. Если каскад работает в режиме АВ (или В), то импульсы коллекторных токов i_{K1} и i_{K2} имеют вид, приведенный на рис. 2.2, а, б, а ток в нагрузке (как нетрудно убедиться, учитывая полярность источников питания и направления пропускания токов поочередно открывающихся транзисторов) оказывается близким к синусоидальному. При отсутствии синусоидального сигнала U_{BX} ток в нагрузке $\neq 0$, потому что постоянный коллекторный ток, соответствующий исходным точкам транзисторов $i_{Kp1}=i_{Kp2}$ (для режима АВ или А), протекает по цепи $(+E_K)$ -(эмиттер-коллектор T_1) - (коллектор-эмиттер T_2) - $(-E_K)$, минуя R_N .

В ряде случаев согласование нагрузки с выходным сопротивлением каскада удобнее получить в схеме транзисторов с общим коллектором (эмиттерных

повторителей). Пример такого двухтактного каскада приведен на рис. 2.2,б. Работа его аналогична работе предыдущего каскада.

Особенно эффективная работа двухтактного каскада в режиме В (или АВ с небольшим смещением). В этом режиме плечи каскада работают со сдвигом в полпериода напряжения сигнала, поэтому коллекторные токи i_{k1} и i_{k2} , имеющие вид полусинусоид с амплитудой $i_{k\max}$, располагаются во времени. Хотя каждое плечо работает с большим искажением синусоидального сигнала, результирующий ток в нагрузке $i = i_{k1} - i_{k2}$ (а следовательно, и напряжение на ней) имеет форму, близкую к синусоидальной, с амплитудой равной $i_{k\max}$.

Оценим энергетические свойства двухтактного каскада. Если принять импульсы коллекторного тока за правильные полусинусоиды с амплитудой i_{km} , то, как известно из разложения в ряд Фурье, среднее значение коллекторного тока каждого транзистора $I_{Kcp} = I_{k\max}/\pi$ И, значит, мощность, потребляемая каскадом от источника питания и пропорциональная сумме токов $I_{k1} + I_{k2} = 2I_{Kcp}$,

$$P_{\text{потр}} = 2I_{Kcp}E_K = 2I_{k\max}E_K/\pi. \quad (13.1)$$

Согласно (13.1) мощность, выделяющаяся в нагрузке,

$$P_{\text{вых}} = U_{Km}I_{k\max}/2 \quad (13.2)$$

где U_{km} — амплитуда переменной составляющей напряжения в коллекторной цепи.

Поэтому на основании (13.1) и (13.2) КПД двухтактного каскада в режиме В

$$\eta = \frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{потр}}} = \frac{nI_{k\max}}{2 \cdot 2I_{k\max}} \cdot \frac{U_{k.m}}{E_K} \quad (13.3)$$

Если принять, что коэффициент использования напряжения в двухтактной схеме $k_n = U_{km}/E_K \approx 0,9$, то из (13.3) следует, что КПД $\eta = 0,9\pi/4 \approx 0,7$. Поэтому при неизменной допустимой для транзисторов мощности $P_{k\max}$ двухтактный каскад, работающий в режиме В, может передать нагрузке в несколько раз большую мощность, чем при работе в режиме А.

Общим недостатком бестрансформаторных каскадов является требование высокой идентичности параметров и характеристик транзисторов с разными типами проводимости.