



Рис. 8.8

Быстродействие МДП-транзисторных ключей обусловлено главным образом временем перезаряда паразитных емкостей. Паразитные емкости МДП-транзисторного ключа показаны на рис. 8.8, где схема ключа на транзисторе T_1 , нагруженного на аналогичный ключ T_2 , заменена эквивалентной схемой с одной суммарной емкостью:

$$C_{\text{вых}} = C_{\text{сп}} + C_{\text{м}} + C_{\text{зк}} + C_{\text{зи}} + C_{\text{зс}} K_U. \quad (8.15)$$

Здесь $C_{\text{сп}}$ — емкость p - n -перехода сток — подложка; $C_{\text{м}}$ — монтажная емкость проводников; $C_{\text{зк}}$ — емкость затвор — канал; $C_{\text{зи}}$ — емкость затвор — исток; $C_{\text{зс}}$ — емкость затвор — сток; K_U — коэффициент усиления второго ключа при его работе в активном режиме.

Длительность включения $t_{\text{вкл}}$ ключа с резистивной нагрузкой можно определить по формуле

$$t_{\text{вкл}} \approx 1,5 \frac{E_c C_{\text{вых}}}{I_c(0)}, \quad (8.16)$$

где

$$I_c(0) = \frac{b}{2} (E_{\text{з.вкл}} - U_0)^2.$$

Длительность выключения определяют по формуле

$$t_{\text{выкл}} = 2,2 R_c C_{\text{вых}}. \quad (8.17)$$

Основным путем увеличения быстродействия ключа является уменьшение емкости $C_{\text{вых}}$. При заданной емкости быстродействие можно увеличить путем увеличения рабочего тока $I_c(0)$, в частности путем уменьшения напряжения U_0 .

ПРИМЕРЫ И ЗАДАЧИ

8.15. Определить крутизну МДП-транзистора в схеме ключа с резистивной нагрузкой, необходимую для получения остаточного напряжения $U_{\text{ост}} = 0,1$ В, при следующих параметрах

схемы: $E_c = E_{з.вкл} = 30$ В, $R_c = 100$ кОм, пороговое напряжение $U_0 = 5$ В.

Решение

Определим удельную крутизну МДП-транзистора, воспользовавшись выражением (8.14):

$$b = \frac{E_c}{U_{ост} R_c (E_{з.вкл} - U_0)} = \frac{30}{0,1 \cdot 100 \cdot 10^3 (30 - 5)} = 0,12 \text{ мА/В}^2.$$

Крутизну S определим по формуле

$$S = b(E_{з.вкл} - U_0) = 3 \text{ мА/В}.$$

8.16. Рассчитать отношение ширины канала w к длине канала L у МДП-транзистора в схеме ключа с резистивной нагрузкой, если $U_{ост} = 0,5$ В, $E_c = E_{з.вкл} = 9$ В, $U_0 = 3$ В, $R_c = 10$ кОм, удельная емкость подзатворного диэлектрика $C_0 = 2 \cdot 10^{-8}$ Ф/см², подвижность носителей в канале $\mu = 500$ см²/(В·с).

Ответ: $w/L = 30$.

8.17. Определить мощность, потребляемую ключом (см. схему на рис. 8.6), если $E_c = 15$ В, $R_c = 5,1$ кОм, удельная крутизна МДП-транзистора $b = 100$ мкА/В², $U_0 = 4$ В. Ключ управляется последовательностью импульсов с амплитудой $E_{з.вкл} = 15$ В и скважностью $Q = 2$.

Решение

Определим напряжение $U_{ост}$ в соответствии с формулой (8.14):

$$U_{ост} = \frac{E_c}{R_c b (E_{з.вкл} - U_0)} = \frac{15}{5,1 \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 10^{-6} (15 - 4)} = 3,3 \text{ В}.$$

Определим значение тока I_c открытого ключа:

$$I_c = I_{сн} = \frac{E_c - U_{ост}}{R_c} = \frac{15 - 3,3}{5,1 \cdot 10^3} = 2,3 \text{ мА}.$$

Считая, что в закрытом состоянии ключ не потребляет мощность от источника питания, определим мощность $P_{пот}$ по формуле

$$P_{пот} = \frac{1}{Q} I_c E_c = \frac{1}{2} \cdot 2,3 \cdot 10^{-3} \cdot 15 = 17 \text{ мВт}.$$

8.18. Сравнить длительности включения и выключения МДП-транзисторного ключа с резистивной нагрузкой при $E_c = 15$ В, $R_c = 1$ кОм, паразитных емкостях МДП-транзистора $C_{сн} = C_{зк} = C_{зи} = C_{зс} = 2$ пФ, $E_{з.вкл} = 15$ В, $U_0 = 3$ В, $b = 0,5$ мА/В².

По формуле (8.16) находим

$$t_{\text{вкл}} = 1,5 \frac{2E_c C_{\text{вых}}}{b(E_{\text{з.вкл}} - U_0)^2},$$

где $C_{\text{вых}} = C_{\text{сп}} + C_{\text{зк}} + C_{\text{зи}} + C_{\text{зс}} K_U$.

Коэффициент усиления K_U определяем по формуле $K_U = SR_c$, где $S = b(E_{\text{з.вкл}} - U_0) = 0,5(15 - 3) = 6$ мА/В.

Подставив значение $K_U = 6$ в формулу для $C_{\text{вых}}$, получим $C_{\text{вых}} = 18$ пФ. Подставив значения $C_{\text{вых}} = 18$ пФ, $E_c = 15$ В, $b = 0,5$ мА/В², $E_{\text{з.вкл}} = 15$ В, $U_0 = 3$ В в формулу для $t_{\text{вкл}}$, находим, что $t_{\text{вкл}} = 11,5$ нс.

Длительность выключения определяем по формуле (8.17):

$$t_{\text{выкл}} = 2,2R_c C_{\text{вых}} = 2,2 \cdot 10^3 \cdot 18 \cdot 10^{-12} = 40 \text{ нс.}$$

Вычисляем отношение длительностей выключения и включения:

$$t_{\text{выкл}}/t_{\text{вкл}} = 40/11,5 \approx 4.$$

8.19. Определить крутизну МДП-транзистора в схеме ключа с резистивной нагрузкой, необходимую для получения времени включения $t_{\text{вкл}} \leq 1$ мкс, если $E_c = 9$ В, $E_{\text{з.вкл}} = 9$ В, $U_0 = 3$ В, $C_{\text{вых}} = 200$ пФ.

Ответ: 0,76 мА/В.

8.20. Для схемы, приведенной на рис. 8.6, определить величину сопротивления R_c , при которой длительность переключения $t_{\text{пер}} \leq 600$ нс. Выходную емкость ключа принять равной 40 пФ, крутизна МДП-транзистора $S = 5$ мА/В.

Ответ: 7 кОм.

8.21. Рассчитать геометрические размеры канала МДП-транзистора (отношение w/L) в схеме ключа, приведенной на рис. 8.6, при которых время включения $t_{\text{вкл}} = 100$ нс. Принять $E_c = E_{\text{з.вкл}} = 15$ В, $C_{\text{вых}} = 100$ пФ, $U_0 = 3$ В, удельная емкость подзатворного диэлектрика $C_0 = 2 \cdot 10^{-8}$ Ф/см², подвижность носителей в канале $\mu = 500$ см²/(В·с).

Ответ: $w/L = 32$.

ГЛАВА 9

ЛОГИЧЕСКИЕ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ МИКРОСХЕМЫ

§ 9.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

В большинстве современных ЭВМ и цифровых устройств различного назначения обработка информации осуществляется с помощью двоичных чисел, операции над которыми выполняют логические элементы. Схемотехническая реализация со-