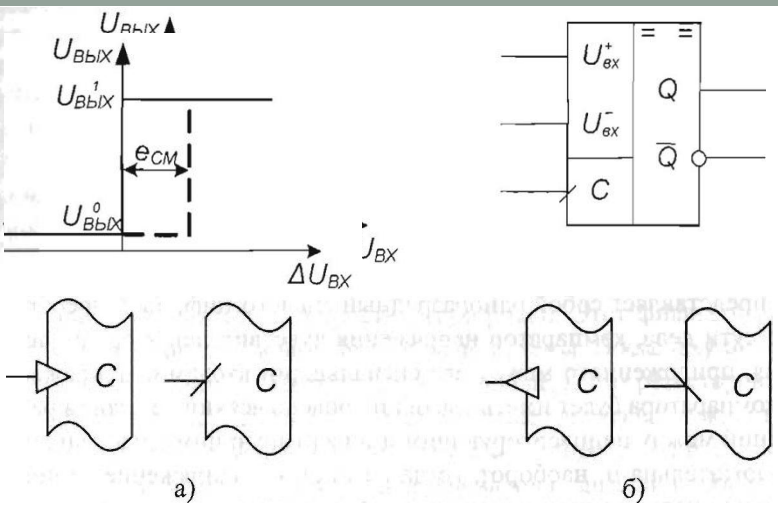


# Схемотехника электронных средств

---

# Аналоговые компараторы

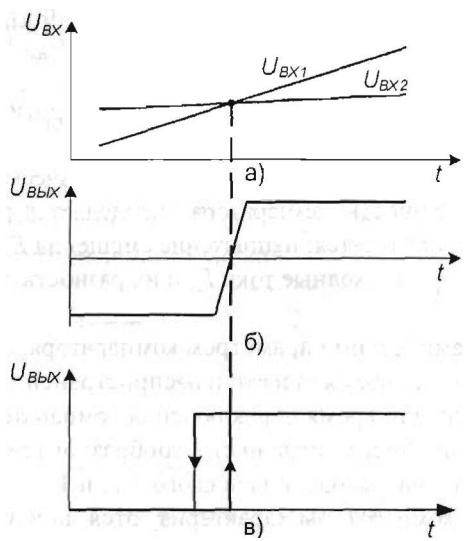


Аналоговые компараторы напряжения предназначены для определения момента равенства двух напряжений и выработки цифровых выходных сигналов 0 или 1 в зависимости от знака разности сравниваемых сигналов.

Входы стробирования предназначены для фиксации момента времени сравнения входных сигналов и выдачи результата сравнения на выход.

Результаты сравнения могут появляться на выходе компаратора только во время строба (компаратор со стробом без памяти) или могут фиксироваться в элементах памяти компаратора до прихода очередного импульса строба (компаратор с памятью).

Стробирование может выполняться по уровню импульса или по его фронту.



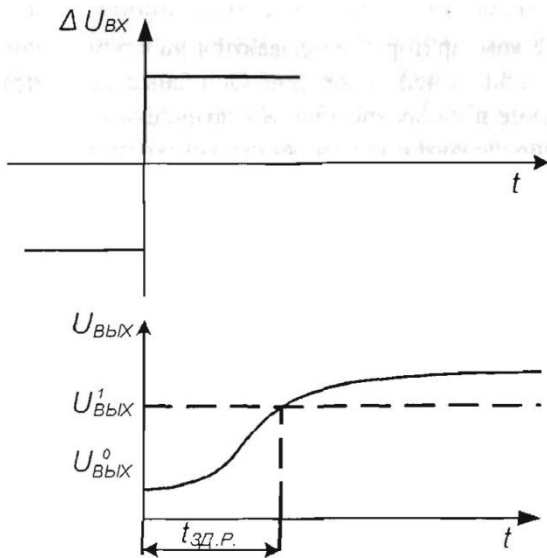
Компараторы напряжения делятся на две группы в соответствии с временными диаграммами: с характеристикой без гистерезиса и с гистерезисом.

## Характеристики аналоговых компараторов

Основные параметры можно разделить на статические и динамические. К статическим параметрам относятся такие, которые определяют его состояние в установившемся режиме:

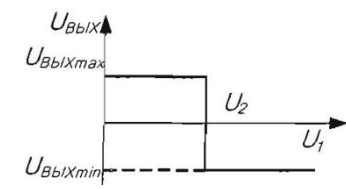
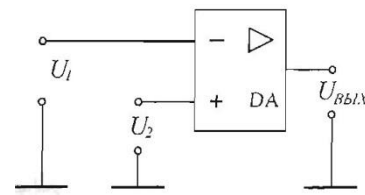
1. Пороговая чувствительность - минимальный разностный сигнал, который можно обнаружить компаратором и зафиксировать на выходе как логический сигнал.
2. Напряжение смещения  $\epsilon_{СМ}$  - определяет смещение передаточной характеристики компаратора относительно идеального положения. Для коррекции этого смещения используют балансировку.
3. Входные токи  $I_{+вх}$  и  $I_{-вх}$  - токи, протекающие через входные выводы компараторов.
4. Разность входных токов  $\Delta I_{вх} = I_{+вх} - I_{-вх}$  - токи, протекающие через закороченные входы.
5. Напряжение гистерезиса  $U_{Г}$  - разность входных напряжений, вызывающих срабатывание компаратора при увеличении или уменьшении входного напряжения.
6. Коэффициент ослабления синфазного сигнала КОСС - отношение синфазного сигнала  $U_{СФ}$  к дифференциальному сигналу  $\Delta U_{вх}$ , вызывающему срабатывание компаратора  $КОСС = 20 \lg(U_{СФ}/\Delta U_{вх})$ .
7. Входное сопротивление - полное входное сопротивление для малого разностного сигнала.
8. Выходные логические уровни - напряжения логического 0 и 1 на выходе.

# Аналоговые компараторы

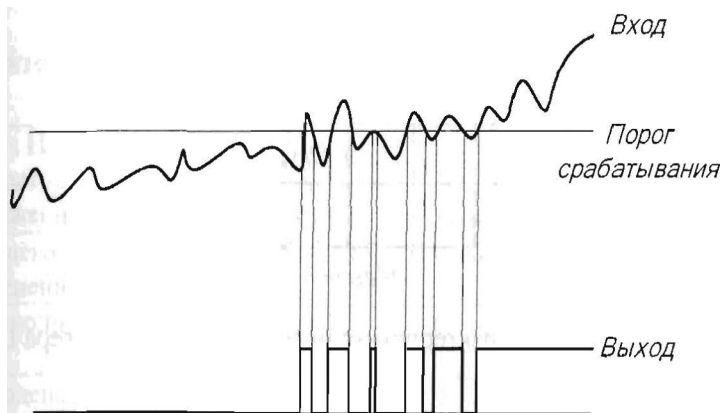


Основным динамическим параметром компаратора, определяющим его быстродействие, является время задержки распространения  $t_{зд.р.}$  скачкообразного входного сигнала или время переключения компаратора. Это время от момента подачи скачкообразного входного сигнала до момента установления на выходе логического 0 или 1.

Строблируемые компараторы характеризуются: временем разрешения выборки и максимальной частотой стробирования. Качество стробируемых компараторов тем выше, чем меньше время разрешения выборки и чем больше допустимая частота стробирования.

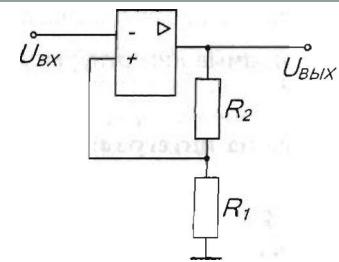


## Триггер Шмитта

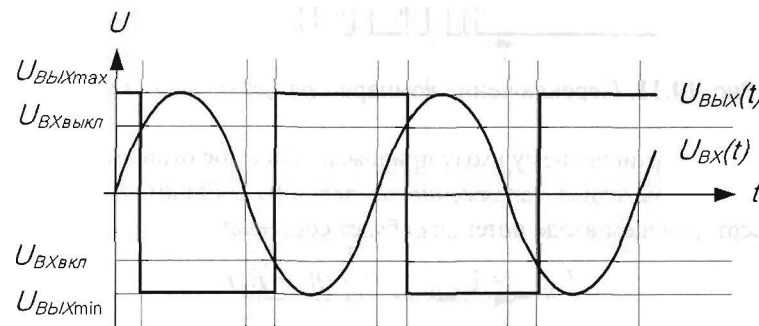
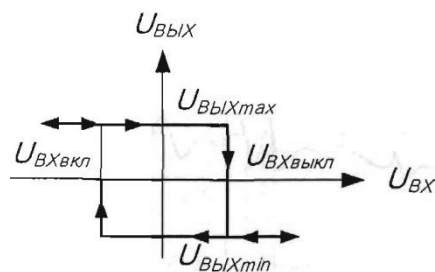


Триггер Шмитта – компаратор, уровни включения и выключения которого не совпадают, а различаются на величину гистерезиса переключения  $U_{Г.}$  У простейшего компаратора два недостатка. При медленно изменяющемся входном сигнале напряжение на выходе изменяется медленно. Если во входном сигнале присутствует шум, то на выходе дребезг в те моменты, когда напряжение на входе проходит через точку переключения. Устраняет положительная обратная связь через делитель напряжения R1R2 (инвертирующий триггер Шмитта).

# Аналоговые компараторы



Если к инвертирующему входу приложено большое отрицательное напряжение  $-U_{ВХ}$ , то  $U_{ВЫХ} = U_{ВЫХmax}$ . На неинвертирующем входе потенциал будет составлять  $U_{Нmax} = U_{ВЫХmax} \cdot R_1 / (R_1 + R_2)$ . При повышении  $U_{ВХ}$   $U_{ВЫХ}$  сначала не меняется. Но как только  $U_{ВХ}$  достигает значения  $U_{Нmax}$ , выходное напряжение начинает падать, а вместе с ним и потенциал на неинвертирующем входе  $U_{Н}$ . Благодаря действию этой положительной обратной связи  $U_{ВЫХ}$  скачком падает до величины  $U_{ВЫХmin}$ , а  $U_{Н}$  будет достаточно большой отрицательной величиной, и достигнутое состояние - стабильным. Теперь выходное напряжение изменится опять до значения  $U_{ВЫХmax}$  только тогда, когда входное напряжение  $U_{ВХ}$  достигнет значения  $U_{Нmax}$ .



## Компараторы на интегральных микросхемах

три группы:

общего применения ( $t < 300$ нс,  $K_u < 100$ дБ);

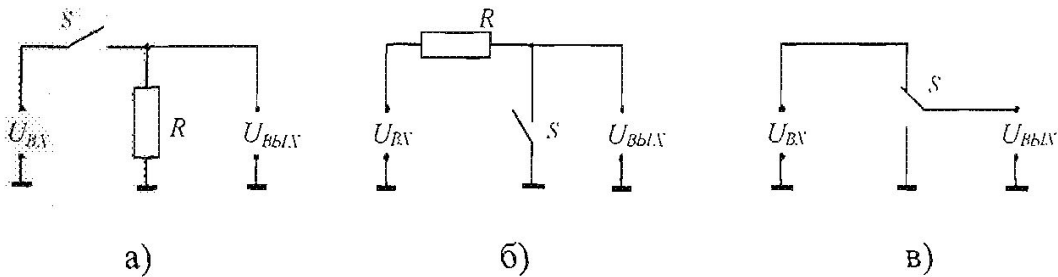
быстродействующие ( $t < 30$ нс);

прецизионные ( $K_u > 100$ дБ,  $E_{CM} < 3$ мВ,  $\Delta I_{ВХ} < 10$ нА).

Компараторы общего назначения: преимущества - они потребляют меньшую мощность, могут работать при низком напряжении питания и в одном корпусе располагается до четырех компараторов. Многие компараторы общего назначения имеют на выходе транзистор с открытым коллектором, что позволяет подключать нагрузку этого транзистора к внешнему источнику питания, напряжение которого выбирается в зависимости от типа используемой логики. Прецизионные компараторы отличаются рядом улучшенных характеристик. Они имеют повышенный коэффициент усиления, меньшее пороговое напряжение переключения, пониженное напряжение смещения нулевого уровня и малый входной ток. Быстродействие этих компараторов обычно не очень высокое, время переключения обычно меньше 300 нс.

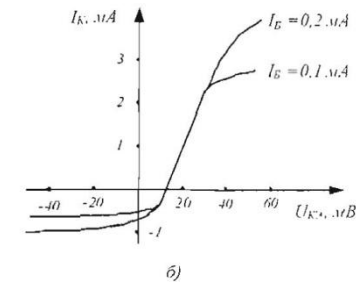
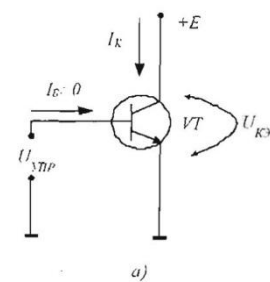
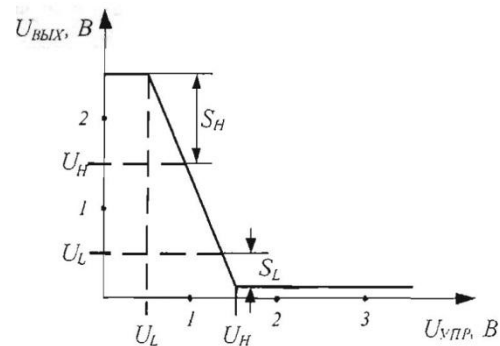
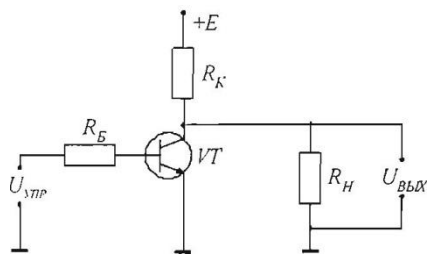
# ЭЛЕКТРОННЫЕ КЛЮЧИ

## Аналоговые коммутаторы



- а) последовательный;
- б) параллельный;
- в) последовательно-параллельный

## Ключи на биполярных транзисторах

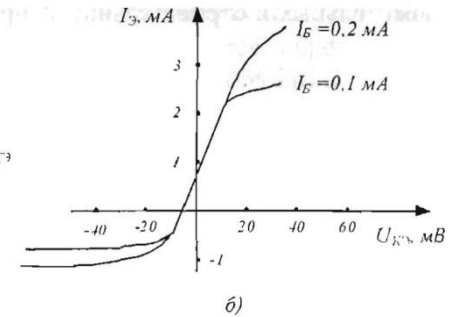
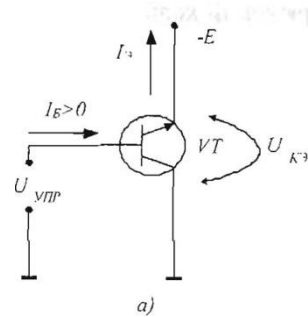


В схеме должны выполняться следующие условия:

$$U_{\text{вых}} > U_H \text{ при } U_{\text{упр}} < U_L$$

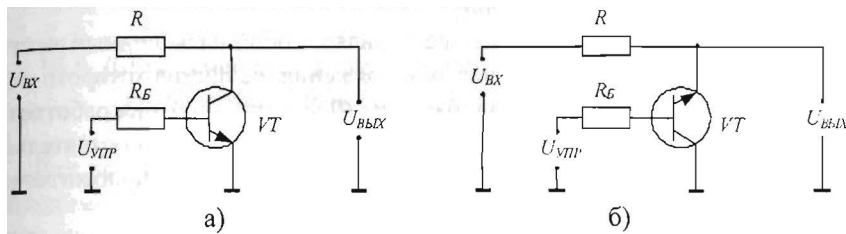
$$U_{\text{вых}} < U_L \text{ при } U_{\text{упр}} > U_H$$

Эти условия должны выполняться даже для самого неблагоприятного случая, т.е.  $U_{\text{вых}}$  не должно быть меньше, чем при  $U_{\text{упр}} = U_L$ , и  $U_{\text{вых}}$  не должно быть больше, чем при  $U_{\text{упр}} = U_H$ . Такие условия могут быть выполнены соответствующим выбором уровней  $U_H$  и  $U_L$ , также величин сопротивлений  $R_K$  и  $R_B$ .



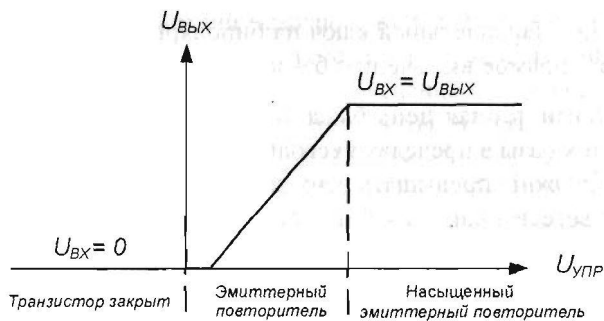
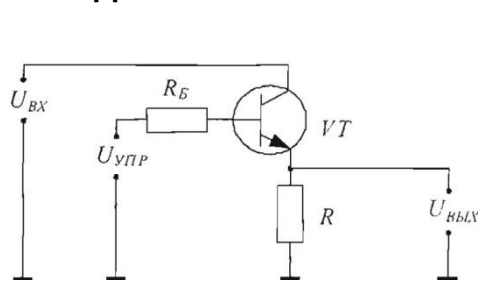
# ЭЛЕКТРОННЫЕ КЛЮЧИ

## Параллельный ключ

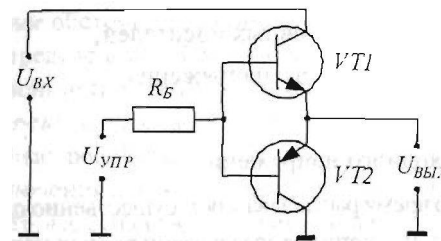


а - прямое включение;  
б - инверсное включение

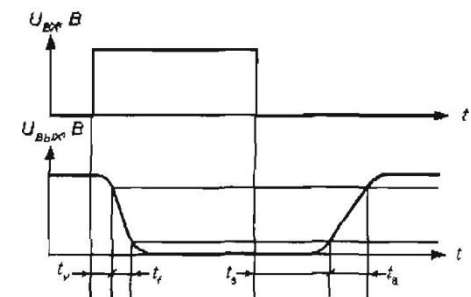
## Последовательный ключ



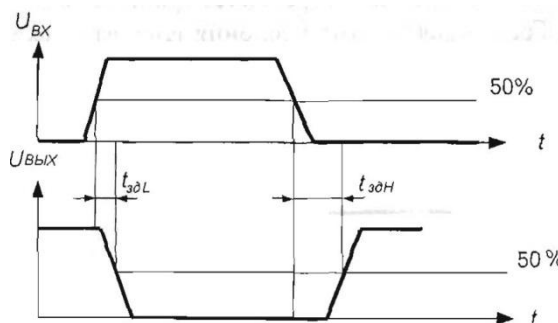
## Последовательно-параллельный ключ



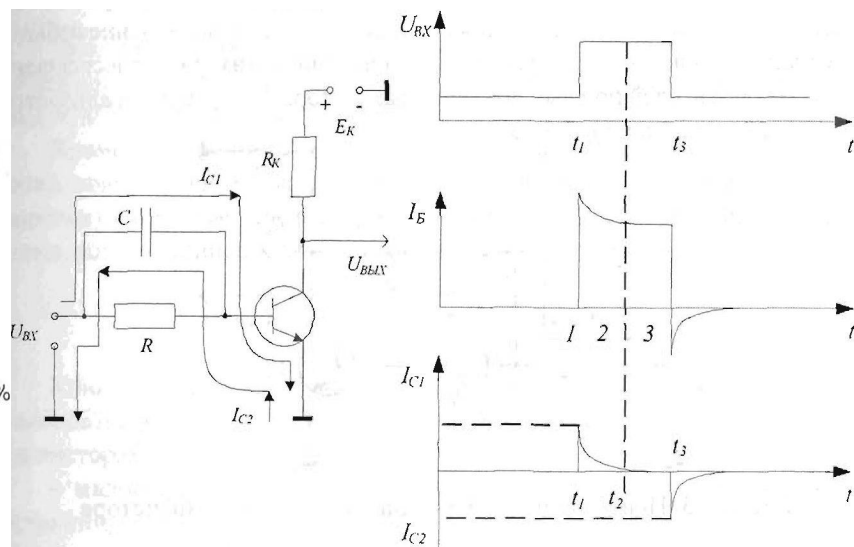
## Динамические характеристики ключей на биполярных транзисторах и повышение их быстродействия



$$t_{зд} = (t_{здL} + t_{здH}) / 2$$

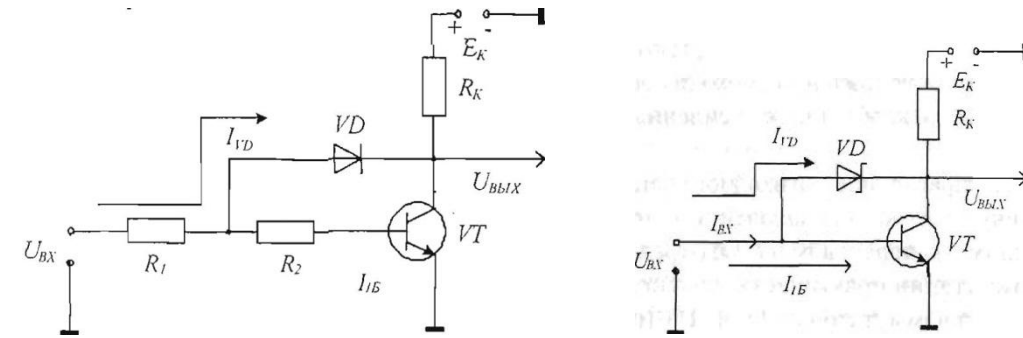


Ключ с форсирующим конденсатором



# ЭЛЕКТРОННЫЕ КЛЮЧИ

## Ненасыщенные ключи на биполярных транзисторах



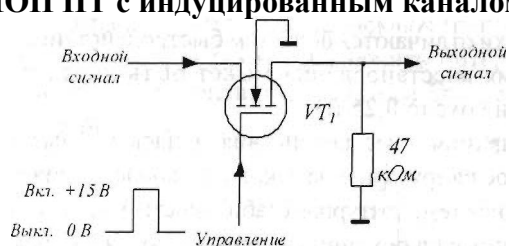
## Ключи на полевых транзисторах

Ключи на полевых транзисторах используются для коммутации как аналоговых, так и цифровых сигналов. Достоинства :

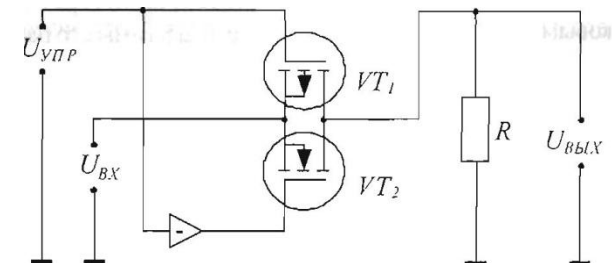
- малое остаточное напряжение на ключе, находящемся в открытом состоянии;
- высокое сопротивление в непроводящем состоянии и, как следствие, малый ток, протекающий через транзистор, канал которого перекрыт;
- малая мощность, потребляемая от источника управляющего напряжения;
- хорошая электрическая развязка между цепью управления и цепью коммутируемого сигнала;
- возможность коммутации электрических сигналов очень малого уровня (порядка мкВ).

По быстродействию ключи на полевых транзисторах обычно уступают ключам на биполярных транзисторах. Кроме того, у них наблюдается проникновение в коммутируемую цепь дополнительных импульсов, параметры которых зависят от управляющего сигнала. Причиной их появления является наличие емкостей затвор-сток и затвор-исток.

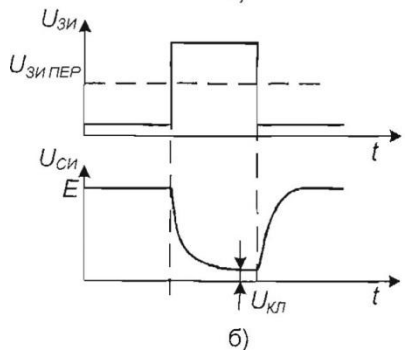
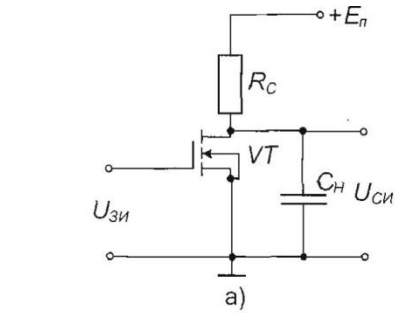
## аналоговый коммутатор на *n*-канальном МОП ТТ с индуцированным каналом



## аналоговый коммутатор на комплементарных МОП ТТ



## Динамические характеристик ключей на полевых транзисторах и повышение их быстродействия



### аналоговый коммутатор на МОП ПТ с динамической нагрузкой

