

## Домашнее задание по дисциплине «Электроника»

для направления 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника» подготовки бакалавра

<b>Пункты задания</b>	<b>Комментарий</b>
1) описать принцип работы схемы;	Не просто таблица истинности! Нужно описание на электрическом уровне: подать напряжения, соответствующие $U_1$ или $U_0$ ; показать, какие транзисторы открываются и закрываются и почему; показать, где течёт ток и как считается выходное напряжение.
2) рассчитать параметры элементов схемы;	все формулы приведены
3) изобразить на одном чертеже разрезы структур различных элементов схемы (в масштабе и с учётом изолирующих структур);	На одном чертеже! Области одного типа должны иметь одинаковую глубину и штриховку/заливку. Изоляция: обратно смещёнными переходами или щелевая (STI/DTI). Проверять выполнение норм (расстояния между границами в одном слое должны быть не меньше $\lambda$ ).
4) с помощью SPICE рассчитать:	
а. передаточную характеристику схемы: $U_{\text{вых}}(U_{\text{вх}})$ ; по ней – уровни логического нуля ( $U^0$ ) и единицы ( $U^1$ ), запас помехоустойчивости;	характеристика должна иметь достаточно резкое переключение при половине питания. Регулировать можно размерами транзисторов.
б. потребляемый ток: $I_{\text{потр}}(U_{\text{вх}})$ ;	аналогично
в. переходную характеристику схемы: $U_{\text{вых}}(t)$ ; по ней – времена задержек и фронтов переключения, максимальную рабочую частоту схемы ( $f_{\text{max}}$ );	в спайсе использовать три схемы (+входная, +нагрузочная) должна быть приведена характеристика при максимальной частоте. Определение параметров подтверждается курсорами в спайсе
г. статическую и динамическую потребляемую мощность;	должна быть рассчитана входная ёмкость
5) изобразить топологию всей схемы (в масштабе и с изолирующими структурами; подписать компоненты схемы и выводы);	Масштаб должен быть подписан. Выполнение норм ( $\lambda$ ) Затворы могут быть поликремниевыми или металлическими достоинство polySi: поверх них можно проводить металлические линии, недостаток polySi: другие линии нельзя делать в этом слое должно остаться не больше двух слоёв разводки (включая затворы) Выводы не выводить наружу: нужно, чтобы к ним можно было подключиться (должна быть возможность подвести линию в каком-либо слое Изоляция между всеми элементами (только резисторы можно делать все в одном кармане) Области одного типа должны иметь одинаковую заливку/штриховку. Когда линия подходит к контактному окну, она должна его охватывать (т.е. контактная площадка должна быть должна быть шире во всех направлениях). Линии в более низких слоях должны везде на чертеже быть перекрыты фигурами в более высоких слоях

## Параметры биполярных транзисторов

Табл. 1.1 Параметры SPICE-модели биполярного транзистора (тип модели – npn):

Парам.	Описание	Значение		
		$N \bmod 3$ , где $N$ – № варианта		
		0	1	2
BF	коэффициент усиления тока базы в нормальном режиме, ед.	200	150	100
BR	коэффициент усиления тока базы в инверсном режиме, ед.	0,1		
IS	ток насыщения, А	$1 \cdot 10^{-13}$	$1 \cdot 10^{-12}$	$1 \cdot 10^{-11}$
RB	сопротивление базы, Ом	рассчитать <sup>1</sup>		
RC	сопротивление коллектора, Ом	рассчитать <sup>1</sup>		
RE	сопротивление эмиттера, Ом	рассчитать <sup>1</sup>		
TF	время пролета базы в прямом включении, с	$1,5 \cdot 10^{-10}$	$1,2 \cdot 10^{-10}$	$1,0 \cdot 10^{-10}$
TR	время пролета базы в обратном включении, с	$1,3 \cdot 10^{-10}$	$1,0 \cdot 10^{-10}$	$0,7 \cdot 10^{-10}$
CJE	ёмкость эмиттерного p-n-перехода, Ф	рассчитать <sup>2</sup>		
CJC	ёмкость коллекторного p-n-перехода, Ф	рассчитать <sup>2</sup>		
NF	коэффициент эмиссии эмиттерного перехода, ед.	1,05	1,1	1,15
NR	коэффициент эмиссии коллекторного перехода, ед.	1,3	1,35	1,4
VA	коэффициент Эрли в прямом включении, ед.	74	64	54
VAR	коэффициент Эрли в обратном включении, ед.	40	30	20

Табл. 1.2 Технологические и геометрические параметры биполярного транзистора, значения которых необходимо выбрать для расчёта параметров SPICE-модели и топологии:

Парам.	Описание	Значение		
		$N \bmod 3$ , где $N$ – № варианта		
		0	1	2
$\lambda$	Минимальный топологический размер, мкм	0,5	1	1,5
$R_{SB}$	Поверхностное сопротивление пассивной области базы, Ом/□	300	230	160
$x_{jk}$	глубина залегания p-n перехода база-коллектор, м	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$1,8 \cdot 10^{-6}$	$2,5 \cdot 10^{-6}$
$x_{jэ}$	глубина залегания p-n перехода база-эмиттер, м	$0,5 \cdot 10^{-6}$	$0,8 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$
$W_{эпи}$	толщина эпитаксиального слоя, м	$5 \cdot 10^{-6}$	$7 \cdot 10^{-6}$	$9 \cdot 10^{-6}$
$x_{jn}$	толщина скрытого $n^+$ слоя, м	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$	$2,0 \cdot 10^{-6}$
$C_{pn0}$	удельная ёмкость p-n-перехода, Ф/м <sup>2</sup>	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$
$l_э, d_э$	длина и ширина эмиттера, м	→ подобрать минимально возможные значения		
$l_эк, d_эк$	длина и ширина контакта к эмиттеру, м			
$l_б, d_б$	длина и ширина базы, м			
$l_{бк}, d_{бк}$	длина и ширина контакта к базе, м			
$l_{кк}, d_{кк}$	длина и ширина контакта к коллектору, м			
$d_{эб}$	расстояние между контактом базы и границей эмиттера, м			

Дополнительные формулы для расчёта:

<sup>1</sup> Сопротивление базы:  $R_б = R_{SB} (d_{эб} / l_э)$ ; сопротивление коллектора взять равным  $R_к = R_б / 3$ , а сопротивление эмиттера взять равным  $R_э = R_б / 100$ .

<sup>2</sup> Ёмкости p-n-переходов:  $C_{pn} = S_{\Sigma} C_{pn0}$ , где  $S_{\Sigma} \approx LZ = 2x_j (L + Z)$  – площадь перехода,  $L$ ,  $Z$ ,  $x_j$  – длина, ширина, глубина p-n-перехода (длина измеряется по направлению движения тока).

### Параметры МОП-транзисторов

Табл. 2.1 Параметры SPICE-модели МОП-транзистора (тип модели – nmos и pmos):

Парам.	Описание	Значение		
		$N \bmod 3$ , где $N$ – № варианта		
		0	1	2
L	длина канала, м	$1,0 \lambda$	$1,5 \lambda$	$2,0 \lambda$
W	ширина канала, м	рассчитать <sup>1</sup>		
AS	площадь истока, м <sup>2</sup>	→ подобрать минимально возможные значения		
AD	площадь стока, м <sup>2</sup>			
PS	периметр истока, м			
PD	периметр стока, м			
LEVEL	уровень подключаемой модели	3		
VTO	пороговое напряжение, В	0,6 (n) –0,6 (p)	0,7 (n) –0,7 (p)	0,8 (n) –0,8 (p)
TOX	толщина подзатворного окисла, м	$4,5 \cdot 10^{-9}$	$9,0 \cdot 10^{-9}$	$18,0 \cdot 10^{-9}$
XJ	глубина залегания р-п переходов исток–подложка и сток–подложка, м	$0,6 \cdot 10^{-6}$	$0,7 \cdot 10^{-6}$	$0,8 \cdot 10^{-6}$
NSUB	концентрация примеси в подложке МОПТ, м <sup>-3</sup> (подставить в SPICE в виде см <sup>-3</sup> )	$2 \cdot 10^{21}$ (n); $9 \cdot 10^{20}$ (p)	$7 \cdot 10^{21}$ (n); $4 \cdot 10^{21}$ (p)	$2 \cdot 10^{22}$ (n); $1 \cdot 10^{21}$ (p)
LD	длина области перекрытия затвор-исток и затвор-сток, м	$0,05 \lambda$	$0,07 \lambda$	$0,10 \lambda$
UO	подвижность электронов/дырок в канале МОПТ, м <sup>2</sup> /(В·с); (подставить в SPICE в виде см <sup>2</sup> /(В·с) )	0,08 (n); 0,05 (p)	0,06 (n); 0,04 (p)	0,03 (n); 0,02 (p)
CGSO	удельная ёмкость перекрытия затвор-исток, Ф/м	рассчитать <sup>2</sup>		
CGDO	удельная ёмкость перекрытия затвор-сток, Ф/м	рассчитать <sup>2</sup>		
CJ	удельная донная ёмкость перехода исток– подложка и сток–подложка, Ф/м <sup>2</sup>	рассчитать <sup>3</sup>		
CJSW	удельная боковая ёмкость перехода исток– подложка и сток–подложка, Ф/м <sup>2</sup>	рассчитать <sup>3</sup>		

Табл. 2.2 Технологические и геометрические параметры МОП-транзистора, значения которых необходимо выбрать для расчёта параметров SPICE-модели и топологии:

Парам.	Описание	Значение		
		$N \bmod 3$ , где $N$ – № варианта		
		0	1	2
$\lambda$	Минимальный топологический размер, мкм	0,5	1	1,5
	Размеры контактных окон	$\lambda * \lambda$		
$C_{pn0}$	Удельная ёмкость р-п-перехода исток– подложка и сток–подложка, Ф/м <sup>2</sup>	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$

Дополнительные формулы для расчёта:

<sup>2</sup> Удельная ёмкость подзатворного оксида:  $C_{ox} = \epsilon_0 \epsilon_{ox} / t_{ox}$ ;

Ёмкости перекрытия затвор–исток и затвор–сток:  $CGDO = CGSO = C_{ox} \cdot LD$

<sup>3</sup> Ёмкость р-п-перехода донная:  $CJ = C_{pn0}$ , боковая:  $CJSW = C_{pn0} x_j$ .