

Базовый структурный кристалл МН2ХА010 – средство проектирования многоканальных аналоговых микросхем для жестких условий эксплуатации

О.В. Дворников, В. Л. Дятлов
oleg_dvornikov@tut.by

Для создания многоканальных аналоговых интегральных микросхем (ИС) разработан базовый структурный кристалл (БСК) МН2ХА010, который содержит функциональные ячейки с аналоговыми компонентами и базовые ячейки с несоединенными интегральными элементами: п-р-п- и р-п-р-транзисторами, полевыми транзисторами с р-п-переходом и каналом р-типа (р-ПТП), полупроводниковыми резисторами и конденсаторами со структурой металл-диэлектрик-полупроводник.

БСК, упрощенная структурная схема которого приведена на рис. 1, состоит из 8-ми одинаковых усилительных каналов и двух дополнительных каналов и включает следующие функциональные ячейки:

- 2хПНВ1-2хПНВ8 – сдвоенный повторитель напряжения входной (8 шт.) с головным р-ПТП и входным током в нормальных условиях не превышающим 0,1 нА;

- ПНМ1-ПНМ16 – повторитель напряжения маломощный (16 шт.);

- ИТУН1-ИТУН16 – источник тока, управляемый напряжением. Последовательное соединение ИТУН и ПНМ образует операционный усилитель (ОУ), который характеризуется напряжением смещения нуля - 5 мВ; входным током - 10 мкА, коэффициентом усиления напряжения - 60 дБ, полосой пропускания при десятикратном усилении - 20 МГц;

- ПН1-ПН8 – повторитель напряжения выходной (8 шт.), который рекомендуется применять при работе с низкоомной нагрузкой $R_L > 100 \text{ Ом}$;

- УЗЧ1, УЗЧ2 – усилитель зарядочувствительный (2 шт.) с головным р-ПТП и максимальным коэффициентом преобразования входного заряда в выходное напряжение - 1 В/пКл;

- КОМ1, КОМ2 – компаратор (2 шт.) с входным током - 5 мкА, чувствительностью - 10 мВ, задержкой распространения - 5 нс;

- ИОН1-ИОН3 – источник опорного напряжения величиной 1,22 В (3 шт.);

- СН1, СН2 – стабилизатор напряжения величиной $\pm 3 \text{ В}$ (2 шт.);

- ДТ – датчик температуры, для которого температурный коэффициент выходного тока - 2,0 мкА/°С.

Всего на БСК имеется несоединенных резисторов – 2056 шт., конденсаторов – 784 шт., транзисторов – 56 шт., защитных диодов – 6 шт., контактных площадок – 80 шт.

Наличие в БСК МН2ХА010 достаточно большого количества заранее сформированных активных компонентов является основой для

Таблица 1. Электрические параметры БСК при напряжении питания $\pm (5,0 \pm 0,5)$ В

Наименование параметра, единица измерения, режим измерения	Обозначение	Норма параметра		Температура среды, °С
		не менее	не более	
1	2	3	4	5
<i>Операционный усилитель, состоящий из ИТУН и повторителя напряжения маломощного</i>				
1 Входной ток, мкА	I_I	-10,0	10,0	25±10
		-15,0	15,0	-60; 125
2 Напряжение смещения нуля, мВ, при $R_L=2$ кОм	$U_{Ю}$	-5,0	5,0	25±10
		-10,0	10,0	-60; 125
3 Ток потребления, мА	I_{CC}	-	8,0	25±10
			12,0	-60; 125
4 Коэффициент усиления напряжения, дБ, при $R_L=2$ кОм	A_U	60	-	25±10
		55		-60; 125
5 Максимальное выходное напряжение, В, при $R_L=2$ кОм	$U_{O\text{MAX}}$	-2,5	2,5	25±10
6 Полоса пропускания, МГц, при $A_U = -10$, $R_L=2$ кОм, $C_L=14$ пФ	BW	20	-	25±10
7 Максимальная скорость нарастания выходного напряжения, В/мкс, при $A_U = -10$, $R_L=2$ кОм, $C_L=14$ пФ	SR	100,0	-	25±10
8 Коэффициент ослабления синфазных входных напряжений, дБ, при $R_L=2$ кОм	K_{CMR}	70,0		25±10
9 Максимальное синфазное входное напряжение, В	U_{ICMMAX}	-2,0	2,0	25±10
<i>Компаратор</i>				
10 Входной ток, мкА	I_I	-	5,0	25±10
			10,0	-60; 125
11 Ток потребления, мА	I_{CC}	-	8,0	25±10
			10,0	-60; 125
12 Максимальный выходной ток, мА	$I_{O\text{MAX}}$	3,5	-	25±10
		3,0		-60; 125
13 Чувствительность, мВ, при $R_L=100$ Ом	S	-	10,0	25±10
			15,0	-60; 125
14 Время задержки распространения при включении, нс, при $R_L=100$ Ом	t_{PHL}	-	5,0	25±10
15 Время задержки распространения при выключении, нс, при $R_L=100$ Ом	t_{PLH}	-	5,0	25±10
16 Время нарастания выходного напряжения от уровня 0,1 до уровня 0,9, нс, при $R_L=100$ Ом	t_R	-	5,0	25±10

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5
17 Время спада выходного напряжения от уровня 0,9 до уровня 0,1, нс, при $R_L=100 \text{ Ом}$	t_F	–	5,0	25 ± 10
18 Максимальное синфазное входное напряжение, В	U_{ICMMAX}	–2,0	2,0	25 ± 10
<i>Повторитель напряжения входной</i>				
19 Входной ток, нА	I_I	–	0,1	25 ± 10
			100,0	–60; 125
20 Выходное напряжение покоя, мВ, при $R_L=100 \text{ кОм}$	U_{OO}	–50,0	50,0	25 ± 10
		–150,0	150,0	–60; 125
21 Коэффициент усиления напряжения при $R_L=100 \text{ кОм}$	A_U	0,9	–	25 ± 10 –60; 125
<i>Усилитель зарядочувствительный</i>				
22 Ток потребления, мА	I_{CC}	–	4,0	25 ± 10
			6,0	–60; 125
23 Выходное напряжение покоя, В, при сопротивлении резистора обратной связи $R_F=10 \text{ МОм}$	U_{OO}	–0,2	0,2	25 ± 10
		–1,0	1,0	–60; 125
24 Амплитуда импульса выходного напряжения, В, при $R_F=10 \text{ МОм}$, входном заряде $Q_{INP}=10 \text{ пКл}$, емкости соединенной со входом (C_{INP}) $C_{INP}=100 \text{ пФ}$	U_{OA}	0,8	–	25 ± 10
<i>Источник опорного напряжения</i>				
25 Ток потребления, мА	I_{CC}	–	3,0	25 ± 10
			4,0	–60; 125
26 Выходное напряжение, В, при $R_L=100 \text{ Ом}$	U_O	1,15	1,35	25 ± 10
		1,1	1,4	–60; 125
<i>Стабилизатор напряжения</i>				
27 Ток потребления, мА	I_{CC}	–	9,0	25 ± 10
			12,0	–60; 125
28 Выходное напряжение, В, при $R_L=600 \text{ Ом}$	U_O	6,0	6,6	25 ± 10
		5,8	6,8	–60; 125
<i>Датчик температуры</i>				
29 Ток потребления, мА	I_{CC}		8,0	25 ± 10
			10,0	–60; 125
30 Выходной ток, мкА, при $R_L=3 \text{ кОм}$	I_{OO}	–330,0	330,0	25 ± 10
31 Температурный коэффициент выходного тока, мкА/°С, при $R_L=3 \text{ кОм}$	α_I	2,0	–	–60; 125

Исследование влияния гамма-излучения ^{60}Co со средней энергией 1,25 МэВ на статические параметры аналоговых компонентов МН2ХА010: ОУ, компаратора, УЗЧ, ИОН, СЧ, - выявило, что примененные при разработке БСК новые конструктивно-схемотехнические решения, учитывающие особенности радиационного изменения параметров комплементарных биполярных транзисторов, обеспечивают незначительное изменение статических параметров при поглощенной дозе гамма-излучения до $D_G = 2$ Мрад.

Основные результаты радиационных исследований приведены на рисунках 1-10.

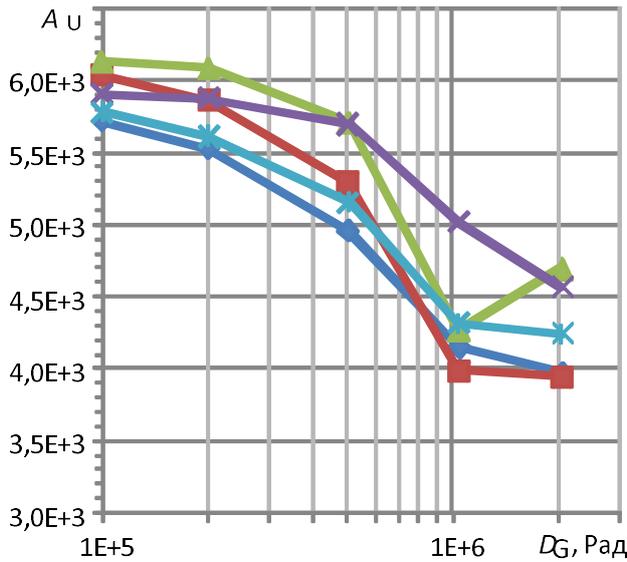


Рисунок 1 - Зависимость коэффициента усиления напряжения ОУ от поглощенной дозы гамма-излучения

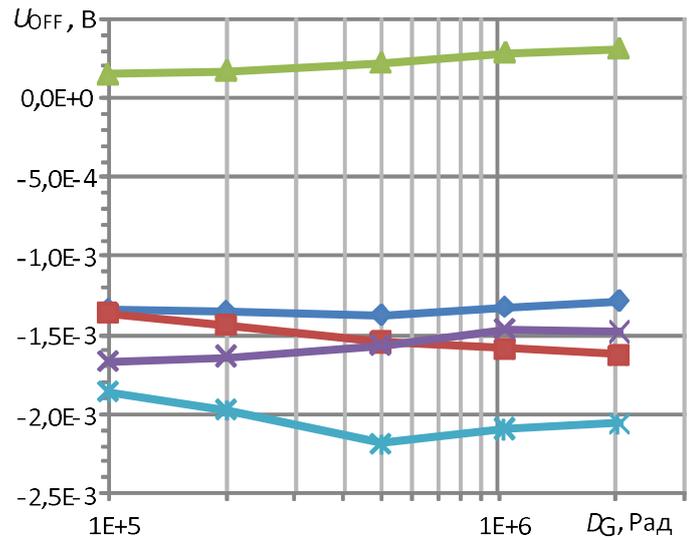


Рисунок 2 - Зависимость напряжения смещения нуля ОУ от поглощенной дозы гамма-излучения

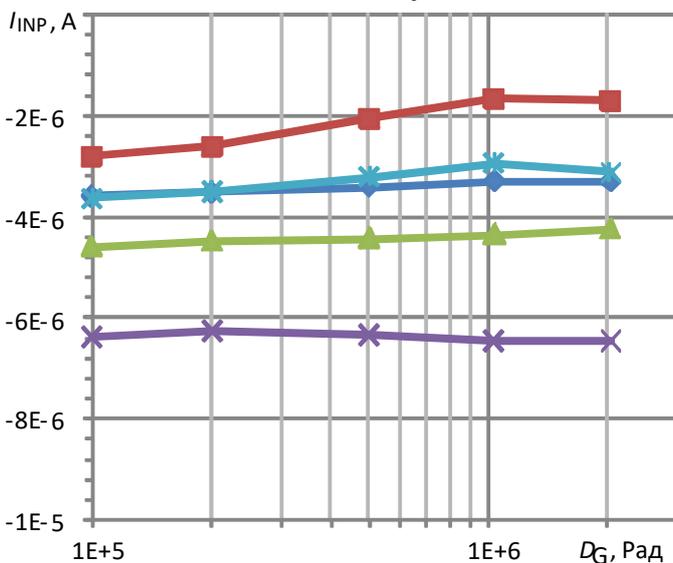


Рисунок 3 - Зависимость входного тока ОУ от поглощенной дозы гамма-излучения

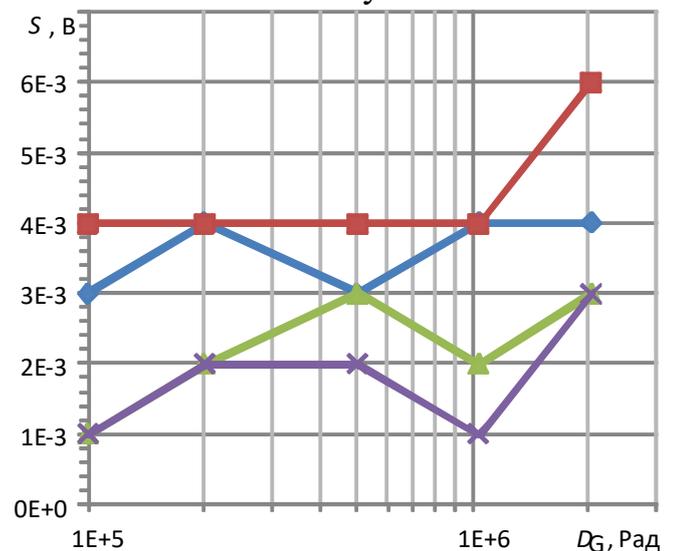


Рисунок 4 - Зависимость чувствительности компаратора S от поглощенной дозы гамма-излучения

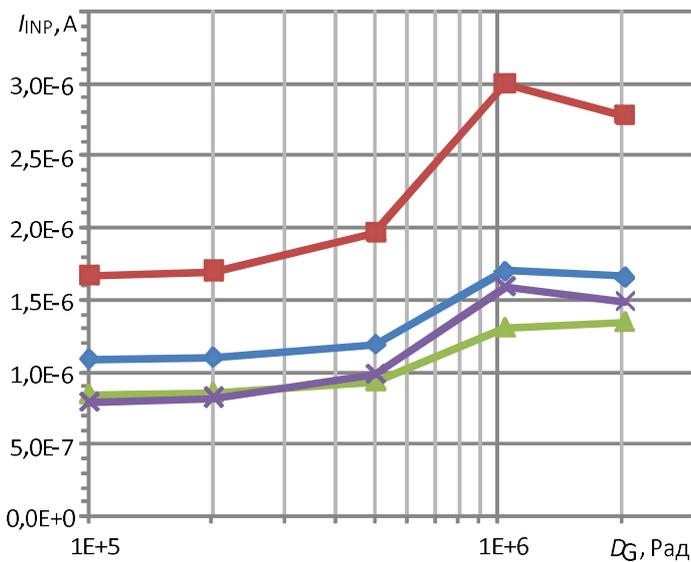


Рисунок 5 - Зависимость входного тока компаратора от поглощенной дозы гамма-излучения

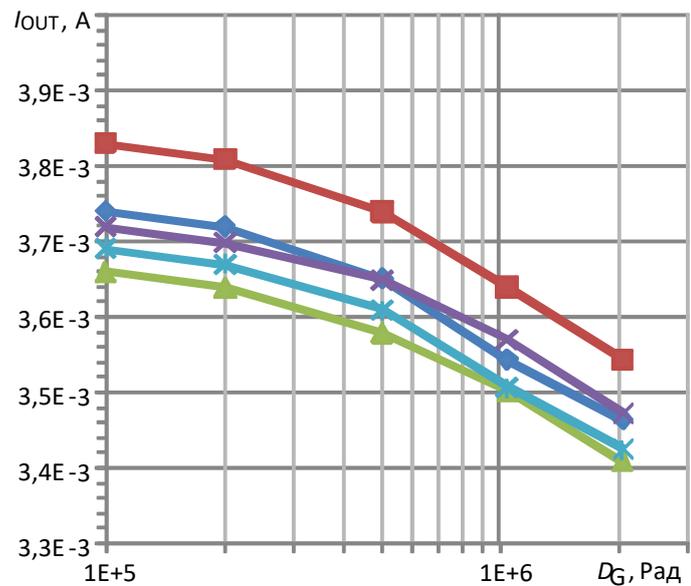


Рисунок 6 - Зависимость выходного тока компаратора от поглощенной дозы гамма-излучения

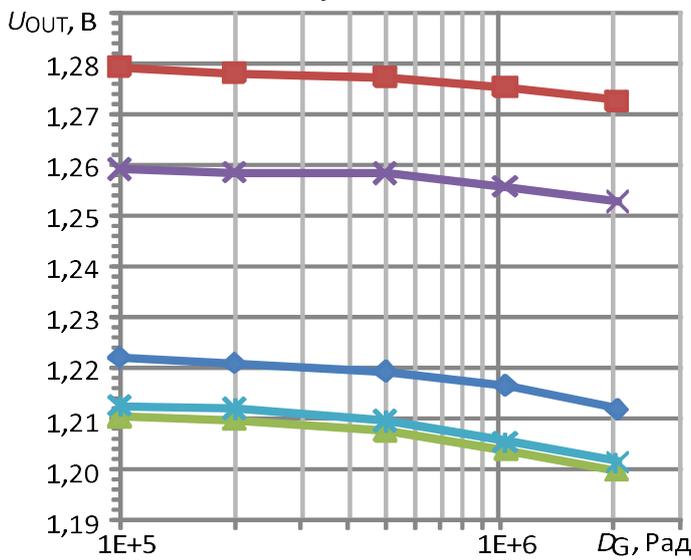


Рисунок 7 - Зависимость выходного напряжения ИОН от поглощенной дозы гамма-излучения

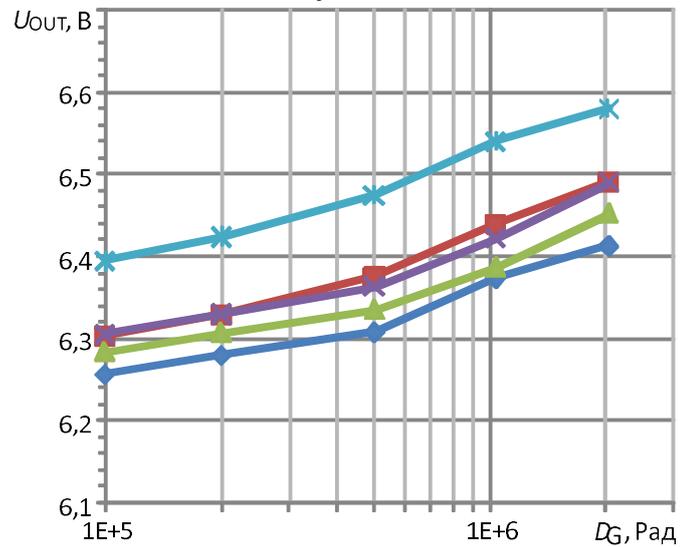
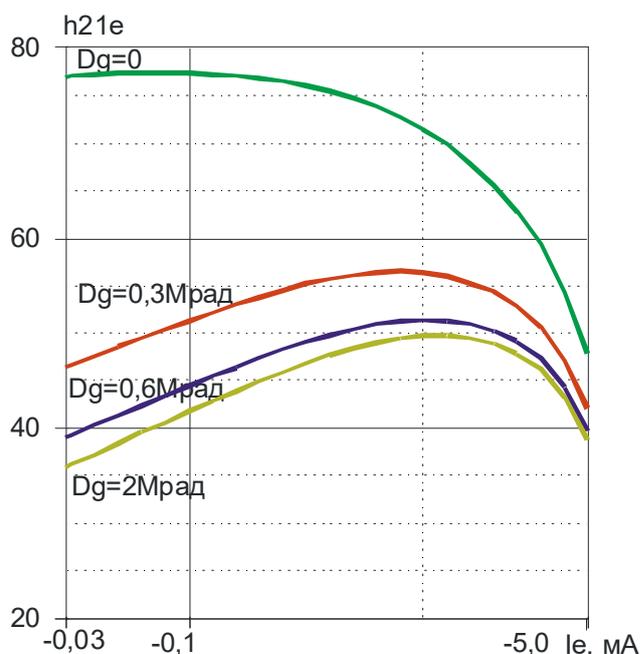
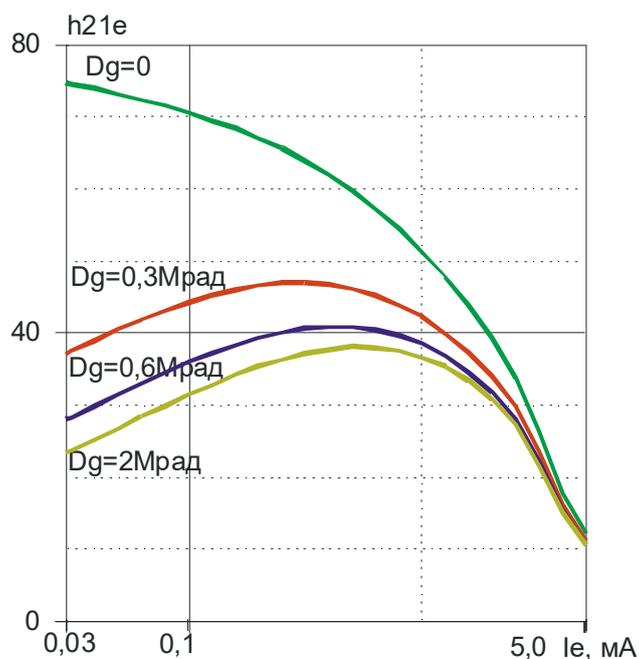


Рисунок 8 - Зависимость выходного напряжения СН от поглощенной дозы гамма-излучения

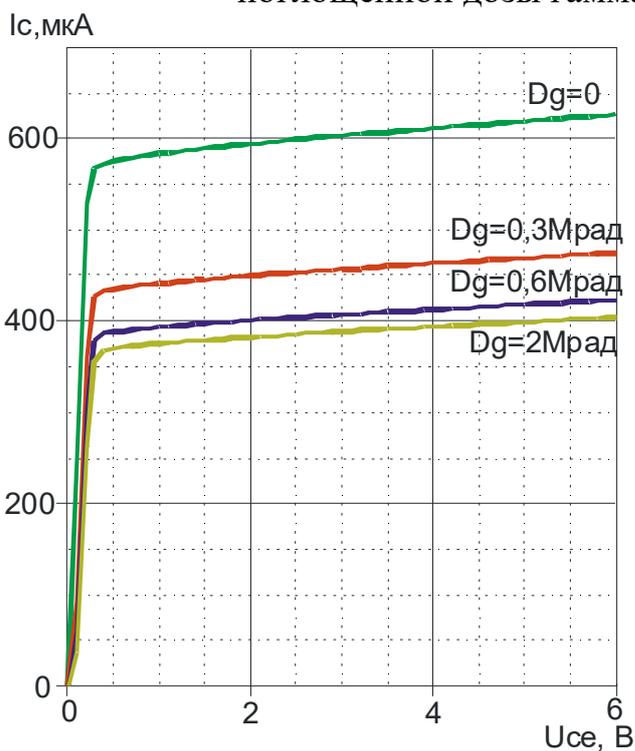


а) для n-p-n- транзистора

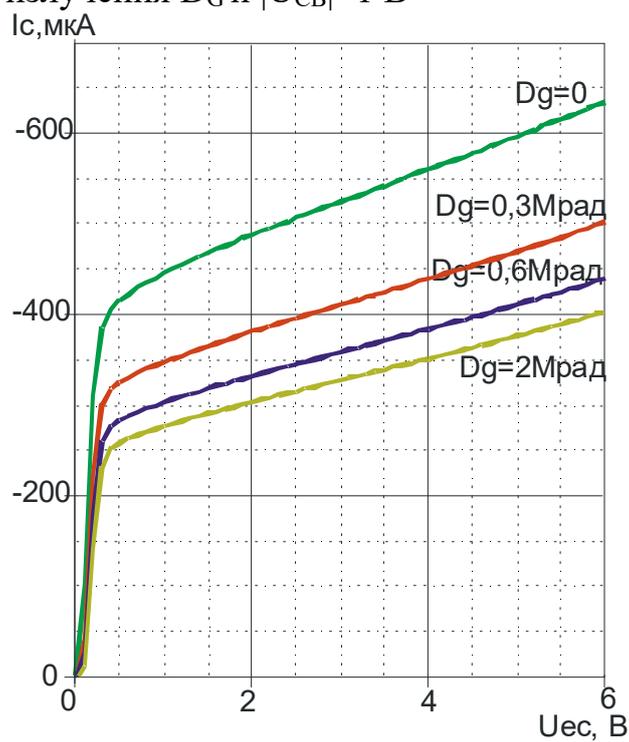


б) для p-n-p-транзистора

Рисунок 9 - Зависимость статического коэффициента усиления h_{21E} тока базы в схеме с общим эмиттером (ОЭ) от тока эмиттера I_E при различной величине поглощенной дозы гамма-излучения D_G и $|U_{CB}|=1$ В



а) для n-p-n- транзистора



б) для p-n-p-транзистора

Рисунок 10 - Зависимость коллекторного тока I_C в схеме с ОЭ от напряжения U_{CE} при различной величине D_G и $|I_B|=8$ мкА