

Семинар №16 по дисциплине «Электроника»

Тема: Анализ каскадов на БТ с ОЭ

1. Теоретическое введение

При схеме включения биполярного транзистора с общим эмиттером (ОЭ) усиленный каскад усиливает как ток, так и напряжение, т.е. данное включение транзистора позволяет получить наибольшее усиление по мощности. К недостаткам такой схемы стоит отнести нелинейные искажения сигнала (больше, чем в схемах с общей базой или с общим коллектором) и то что на характеристики усилителя значительное влияние оказывают внешние факторы, такие как напряжение питания или температура окружающей среды. Обычно для компенсации этих факторов применяют отрицательную обратную связь, но она снижает коэффициент усиления.

Главным недостатком схемы со смещением и гальванической развязкой является слишком явная зависимость рабочей точки от внешних факторов – к примеру изменение модели транзистора, напряжения питания или температуры окружающей среды потребует пересчёта величины R_{bias} . В этой связи наибольшее применение получила модифицированная схема каскада с ОЭ, предполагающая наличие отрицательной обратной связью по постоянному току.

2. Задание

Задание 1. Анализ простейшего каскада

а. Собрать схему рис. 1,а. Построить модели транзисторов в соответствии с номером варианта): имя модели npn-транзистора – фамилия любого из студентов бригады; параметры взять из таблицы вариантов.

б. Рассчитать параметры схемы в линейном режиме

Рассчитать максимально допустимое значение сопротивления коллекторного резистора по формуле (1), где $I_b(\max)$ взять равным 25 мкА.

$R(\max) = (E - 0,3) / (\beta I_{B, \max}) =$	
---	--

(1)

Построить зависимость выходного напряжения от входного тока в диапазоне изменения входного тока (0...25) мкА (как на рис. 1,б). Подобрать значение сопротивления коллекторного резистора $R(\text{искаж})$, при котором зависимость входит в насыщение в конце диапазона; значение вписать в ячейку (*1). Оценить по графику рис. 1,б значение постоянной составляющей I_{B0} входного тока посередине линейного участка на передаточной характеристике $V_{\text{вых}}(I_B)$ (*2), а также значение амплитуды $I_B(\text{искаж})$ (*3) входного тока, при котором должны появиться искажения на выходном сигнале.

$R(\text{искаж}) =$		(*1)
I_{B0}		(*2)
$I_B(\text{искаж})$		(*3)

Пояснение (рис. 1,б): Как видно на картинке ниже, изменение выходного напряжения идёт в противофазе с изменением входного (180°). Чем больше сопротивление в цепи коллектора R_k , тем круче ВАХ и соответственно тем больший коэффициент усиления по напряжению, но в данном случае это условие нарушено, и именно поэтому внизу висят две горизонтальные «сопли», т.е. при амплитуде входного сигнала 25 мкА часть усиленного сигнала будет срезана.

определить на передаточной характеристике при $R_k = R(\text{искаж})$ из ячейки (*1) с помощью средств программы два значения входного тока, находящихся на линейном участке и отстоящих примерно на 10% от концов этого участка (см. (*4) на рис. 1,в).

про моделировать статические характеристики I_k , $V_{БЭ}$ (I_B);

выписать для обоих случаев (*4) значения тока коллектора, тока базы, напряжения база–эмиттер, напряжения коллектор–эмиттер:

	случай 1	случай 2	Δ
ток базы I_B			
ток коллектора I_k			
напряжение база–эмиттер $V_{БЭ}$			
напряжение коллектор–эмиттер $V_{КЭ}$			

рассчитать значение *коэффициента усиления по току* K_I в относительных единицах и в децибелах:

$$K_I = \Delta I_k / \Delta I_B. \quad (2)$$

рассчитать значение *коэффициента усиления по напряжению* K_U в относительных единицах и в децибелах:

$$K_U = R_k \Delta I_k / \Delta V_{БЭ}. \quad (3)$$

Рассчитать значение *входного сопротивления (среднего)* $R_{вх}$:

$$R_{вх} = \Delta V_{БЭ} / \Delta I_B. \quad (4)$$

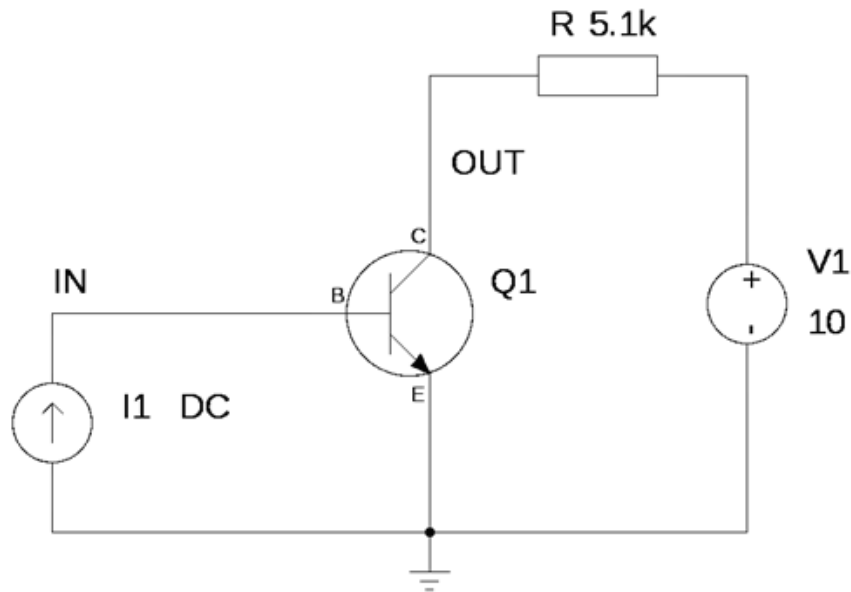
Пояснения: Поскольку база–эмиттер это диод, на малых токах входное сопротивление нелинейно: чем больший ток, тем меньше сопротивление (дифференциальное сопротивление $\Delta U / \Delta I$ при малых Δ). Если величина этого сопротивления сопоставима с величиной внутреннего сопротивления источника усиливаемого сигнала, например, при согласовании по мощности, то имеем нелинейные искажения ещё на входе (до усиления). Попробовать ослабить такие искажения можно увеличив общее сопротивление входной цепи, например, поставив дополнительный резистор между источником сигнала и входом усилителя, однако это снизит общий коэффициент усиления каскада в целом. За всё нужно платить :)

Рассчитать значение *выходного сопротивления (среднего)* $R_{вых}$:

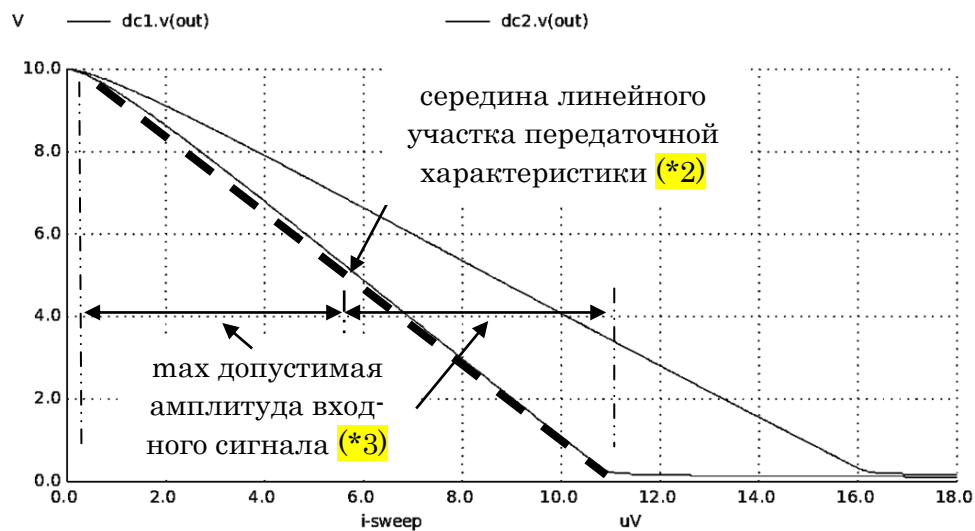
$$R_{вых} = \Delta V_{КЭ} / \Delta I_k. \quad (5)$$

Таблица результатов:

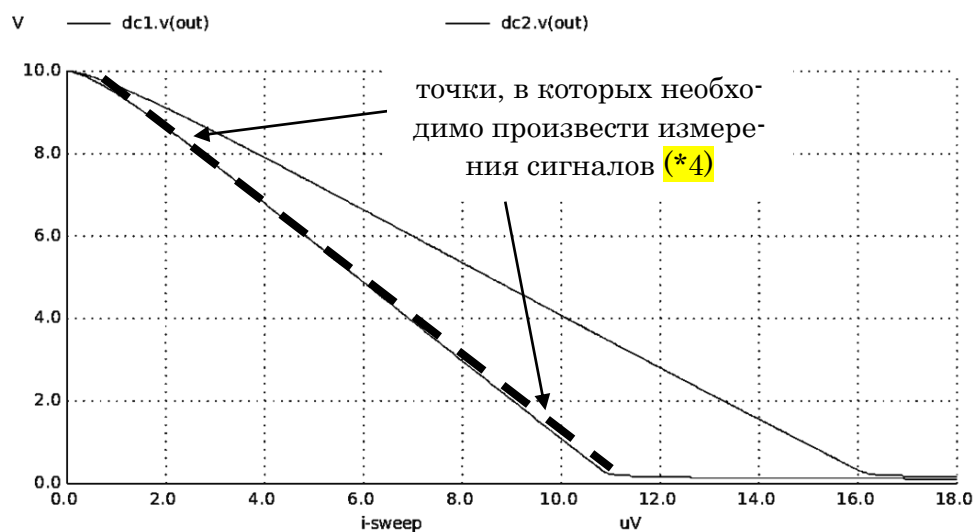
K_I (2)	K_U (3)	R_{BX} (4)	$R_{ВЫХ}$ (5)



(а)



(б)



(в)

Рис. 1. Простейший каскад с ОЭ:

а) электрическая схема; б) типовая передаточная характеристика

в. Проверить возникновение искажений:

Установить сопротивление коллекторного резистора, равное $R(\text{искаж})$ из ячейки (*1); дать входной источник как источник синусоидального сигнала, установить его параметры:

- постоянную составляющую (постоянное смещение) из ячейки (*2)
- амплитуду (переменную составляющую) 1 мкА;
- частоту 100 Гц;

подобрать по результатам моделирования переходных характеристик значение амплитуды входного сигнала (*5), при котором появляются заметные на глаз искажения на выходном сигнале.

$I_b(\text{sp})$	
------------------	--

 (*5)

Сравнить значения амплитуды входного сигнала (*3) с передаточной характеристики и (*5) с переходной характеристики, при которых появляются искажения на выходном сигнале.

Задание 2. Анализ каскада со смещением и гальванической развязкой

а. Изменить схему, как на рис. 2,а.

б. Рассчитать параметры схемы в линейном режиме

Рассчитать ток смещения на базе БТ

$$I_{bias} = E / (2 R_K \beta) =$$

 (*6)

Рассчитать сопротивление резистора смещения

$$R_{bias} = (E - 0,7) / I_{bias} =$$

 (*7)

При неправильном смещении входа сигнал на выходе будет искажён.

в. Проверить возникновение искажений

Установить сопротивление резистора R_{bias} равным значению из ячейки (*7); дать входной источник как источник синусоидального сигнала, установить его параметры:

- амплитуду (переменную составляющую) 1 мВ;
- частоту 1 кГц;

подобрать по результатам моделирования переходных характеристик значение амплитуды входного сигнала (*8), при котором появляются заметные на глаз искажения на выходном сигнале.

>>> Если искажения явно проявляются только при одной полярности выходного сигнала, подобрать значение R_{bias} .

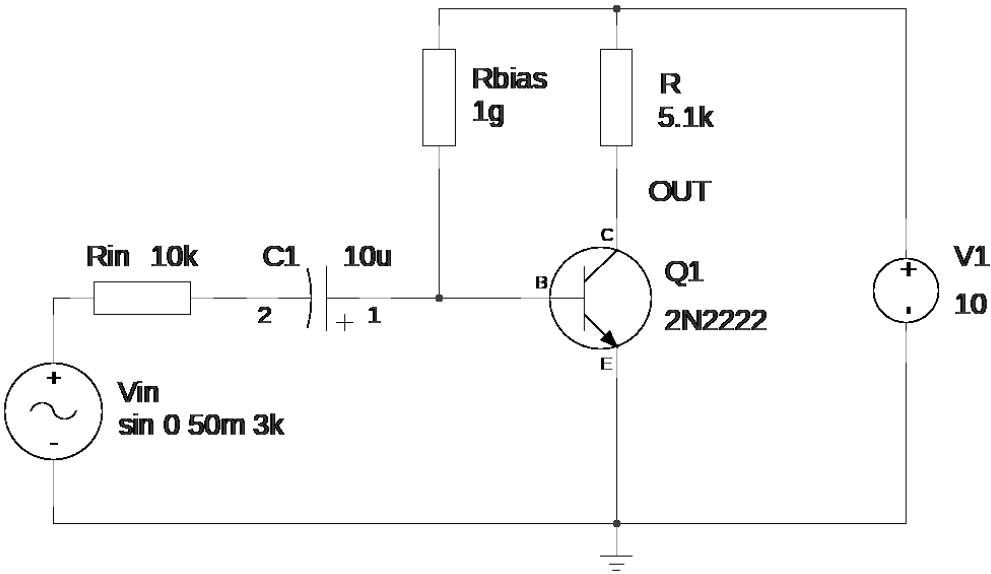
г. Исследовать изменённое смещение на входе:

Повторить расчёт пункта в) при постоянном смещении входного источника +1 В (*9) и минус 1 В (*10) – наложить графики на графики пункта в).

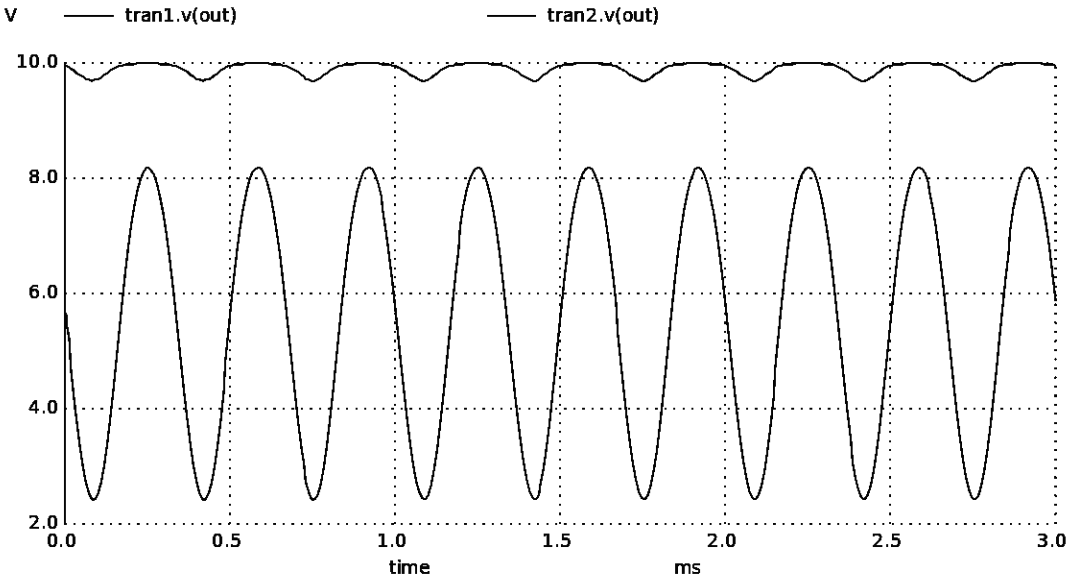
Повторить расчёт пункта в) при значении сопротивления резистора R_{bias} , равном 1 ГОм (*11) – наложить графики на графики пункта в).

Таблица результатов:

U_{BX} (*8)	U_{BX} (*9)	U_{BX} (*10)	U_{BX} (*11)



(a)



(б)

Рис. 2. Каскад с ОЭ со смещением и гальванической развязкой:
а) электрическая схема; б) типовая передаточная характеристика

Задание 3. Анализ каскада с Н-смещением

а. Собрать схему, как на рис. 2,а.

б. Рассчитать параметры схемы в линейном режиме

Рассчитать значение *максимального тока базы* $I_{B,max}$:

$$I_{B,max} = U_{вх,m} / R_{in}, \quad (6)$$

где $U_{вх,m}$ взять равным 50 мВ.

Для того, чтобы добиться двойного запаса для размаха выходного сигнала, рассчитать R_K как:

$$R_K = R_{K,max} / 2 = (E - 0,3) / (2 \beta I_{B,max}) \quad (7)$$

Рассчитать значение *тока коллектора* I_K с учётом того, что напряжение на коллекторе должно быть примерно равно половине питания:

$$I_K = E / (2 R_K). \quad (8)$$

Рассчитать значение $R_{Э}$, с учётом того, что напряжение на нём должно составлять 10–20% напряжения питания:

$$R_{Э} = 0,1 E / I_K. \quad (9)$$

Рассчитать ток базы I_B :

$$I_B = I_K / \beta. \quad (10)$$

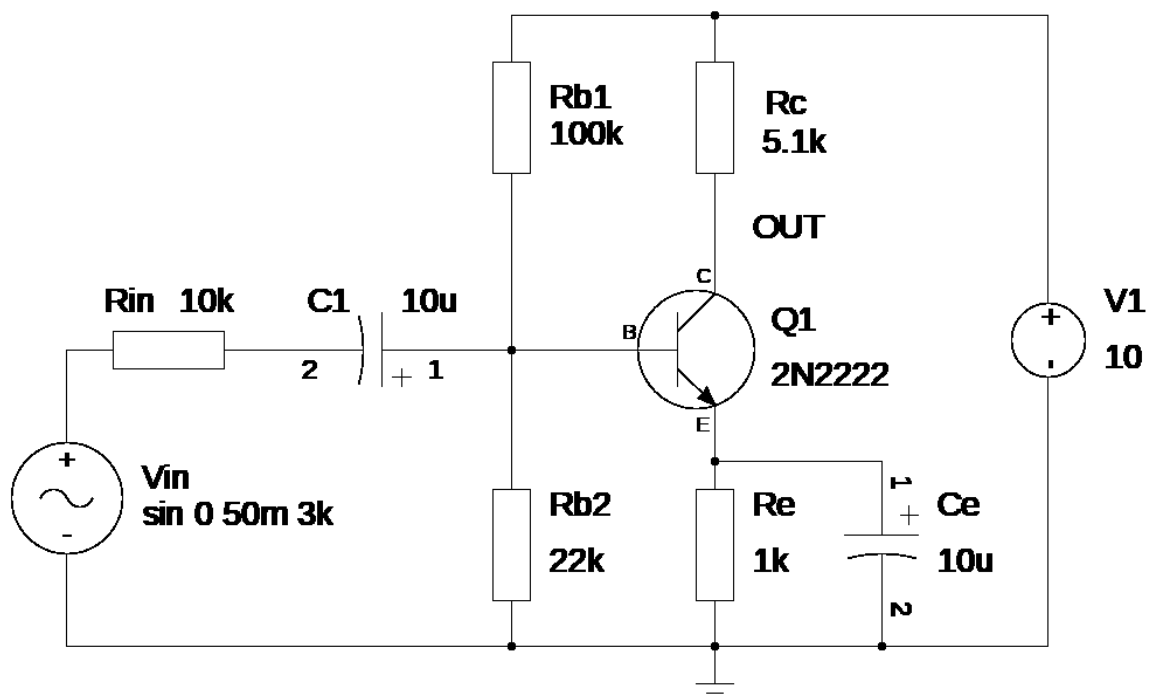


Рис. 2. Каскад с ОЭ с Н-смещением

Рассчитать резисторы R_{B1} и R_{B2} так, чтобы транзистор не влиял на выходное напряжение делителя:

- исходя из теоремы Тевенина по отношению к базе транзистора резисторы R_{B1} и R_{B2} соединены параллельно $R_B = R_{B1} || R_{B2}$. Рассчитать суммарное R_B таким образом, чтобы оно было на порядок меньше, чем входное сопротивление каскада по постоянному току – например в 10 раз:

$$R_B = \beta * R_{Э} / 10. \quad (11)$$

- Рассчитать напряжение, обеспечивающее ток базы I_B :

$$V_{BB} \approx V_{\Theta} + V_{B\Theta} + I_B * R_B, \quad (12)$$

где $V_{\Theta} = 1$ В, $V_{B\Theta} = 0,7$ В.

- Рассчитать отдельно R_{B1} и R_{B2} по правилу делителя напряжений:

$$R_{B1} = R_B * E / V_{BB} \text{ и } R_{B2} = R_B / (1 - V_{BB} / E). \quad (13)$$

в. Проверить возникновение искажений:

Установить рассчитанные сопротивления резистивного делителя R_{B1} и R_{B2} ;

здать входной источник как источник синусоидального сигнала, установить его параметры:

- амплитуду (переменную составляющую) 1 мВ;
- частоту 1 кГц;

подобрать по результатам моделирования переходных характеристик значение амплитуды входного сигнала, при котором появляются заметные на глаз искажения на выходном сигнале.

3. Таблица вариантов

№	для БИТ-203										
	BF, ед.	IS, фА	IKF, мА	VAF, В	RE, Ом	RC, Ом	NF, ед.	CJC, пФ	CJE, пФ	TF, пс	TR, нс
1	178	48	18	62	1.02	2.09	1.01	1	3	1	1
2	185	91	22	52	1.03	2.12	1.05	1	3	1	1
3	215	37	20	63	1.07	2.09	1.05	1	3	1	1
4	223	26	23	55	1.04	2.15	1.02	1	3	1	1
5	219	68	17	67	1.08	2.1	1.06	1	3	1	1
6	205	48	20	59	1.01	2.1	1.08	1	3	1	1
7	232	48	24	63	1.08	2.02	1.08	1	3	1	1
8	115	19	19	63	1.01	2.12	1.05	1	3	1	1
9	101	34	19	69	1.03	2.04	1.03	1	3	1	1
10	174	18	16	69	1.02	2.08	1.01	1	3	1	1
11	206	2	18	68	1.02	2.04	1.06	1	3	1	1
12	178	72	23	61	1.02	2.08	1.05	1	3	1	1