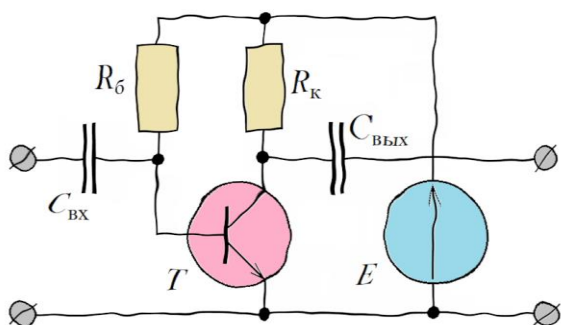


Рекомендации по выполнению Лабораторной работы №2 «Усилители аналоговых сигналов»

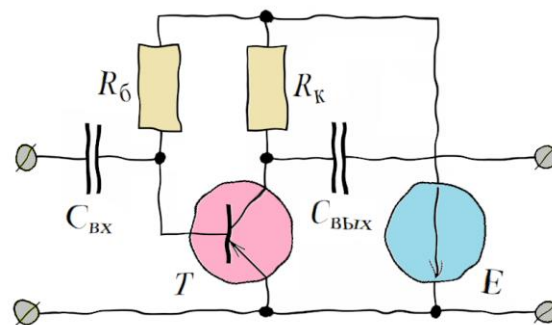
В Лабораторной работе №2 проводятся измерения основных параметров усилителей. Внутренняя структура усилителя и принципы его построения «остаются за кадром», усилитель рассматривается просто как устройство со входом (2 клеммы) и выходом (2 клеммы).

В работе используются следующие усилители:

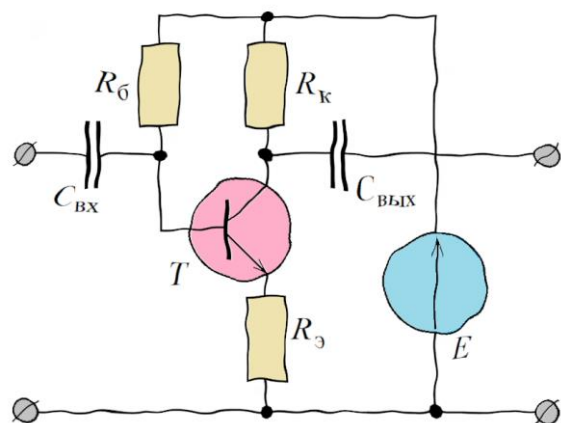
1. Схема с общим эмиттером (ОЭ) *npn*



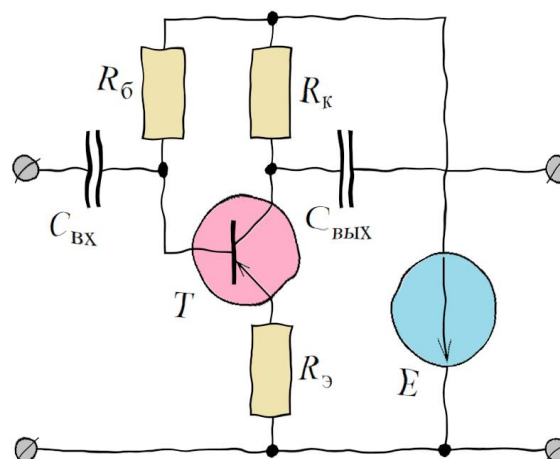
2. Схема с общим эмиттером (ОЭ) *pnp*



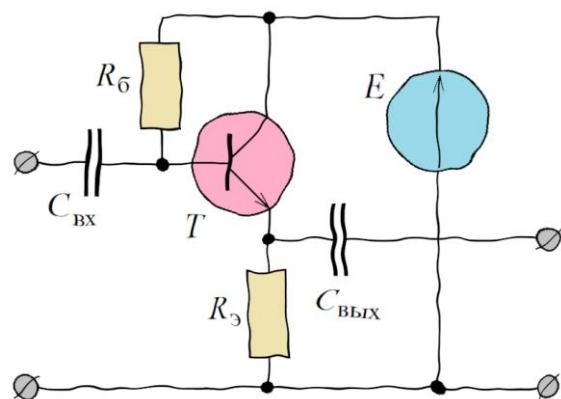
3. Схема с ОЭ и ООС по току *npn*



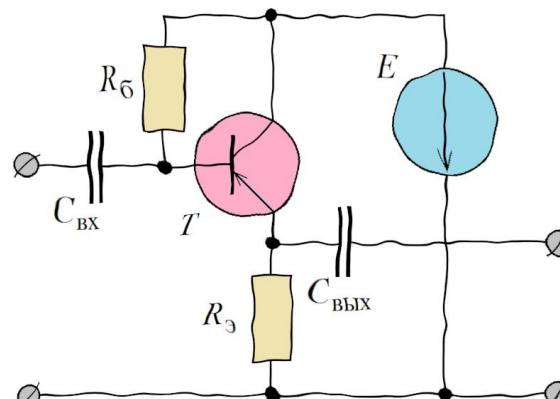
4. Схема с ОЭ и ООС по току *pnp*



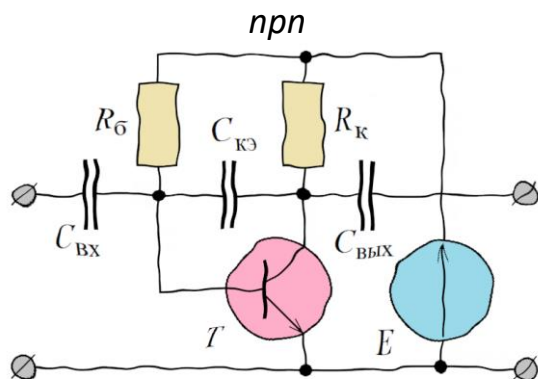
5. Схема с общим коллектором (ОК) *npn*



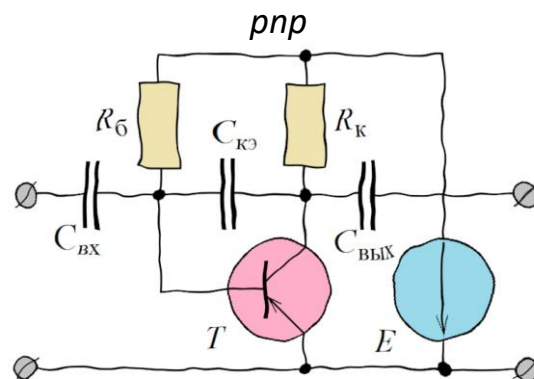
6. Схема с общим коллектором (ОК) *pnp*



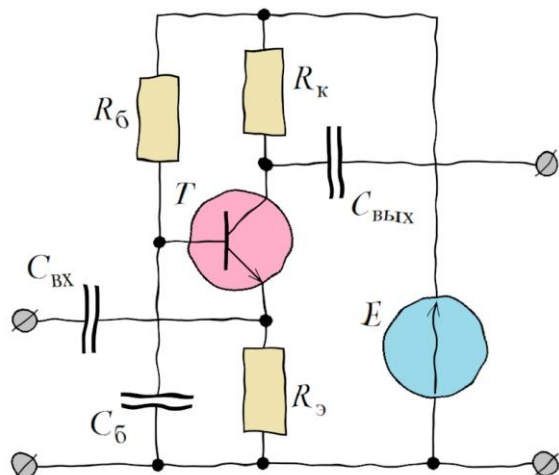
7. Схема с ОЭ и ООС по напряжению *npn*



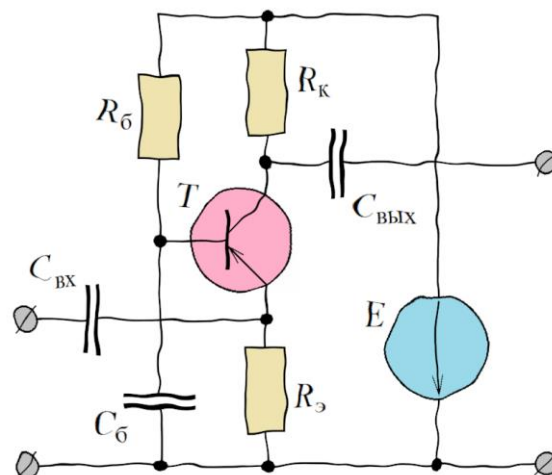
8. Схема с ОЭ и ООС по напряжению *pnp*



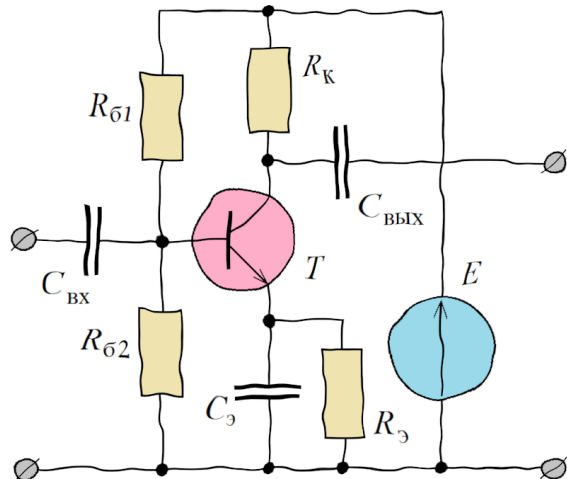
9. Схема с общей базой (ОБ) *npn*



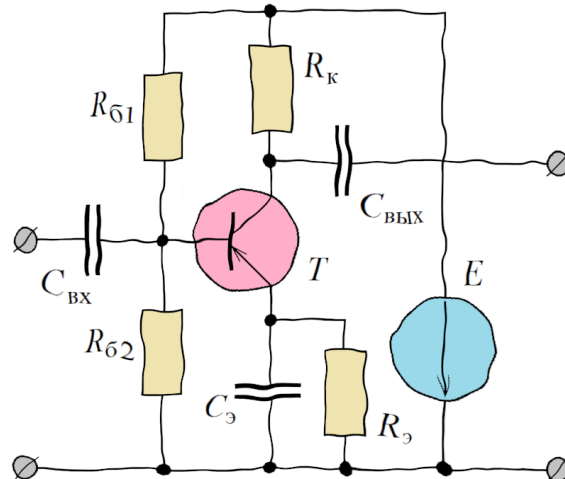
10. Схема с общей базой (ОБ) *pnp*



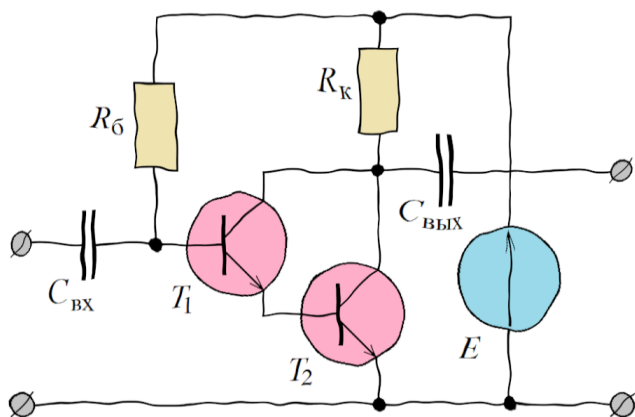
11. Схема с ОЭ и заданием рабочей точки напряжением *npn*



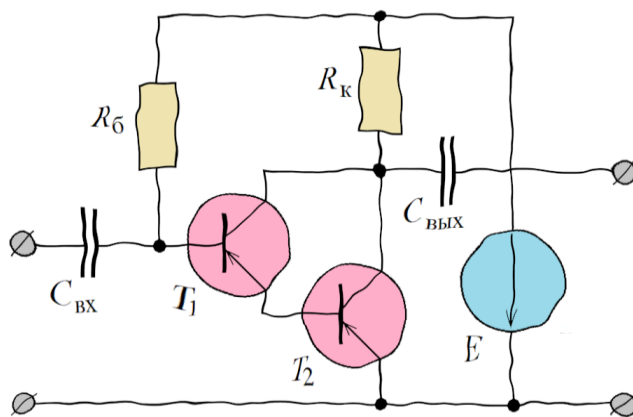
12. Схема с ОЭ и заданием рабочей точки напряжением *pnp*



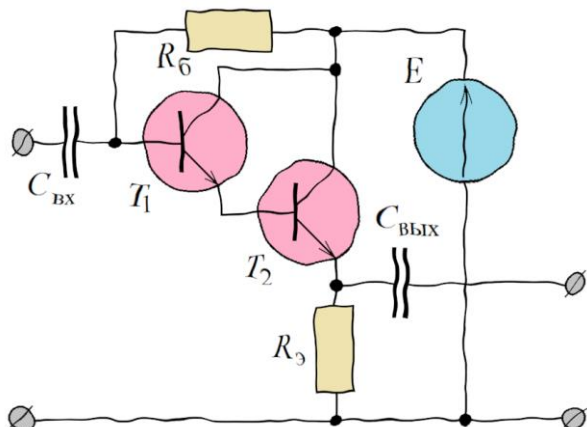
13. Схема с ОЭ (Дарлингтон) *npn*



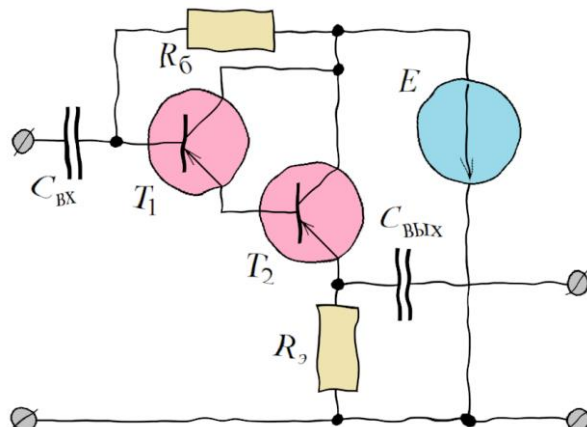
14. Схема с ОЭ (Дарлингтон) *pnp*



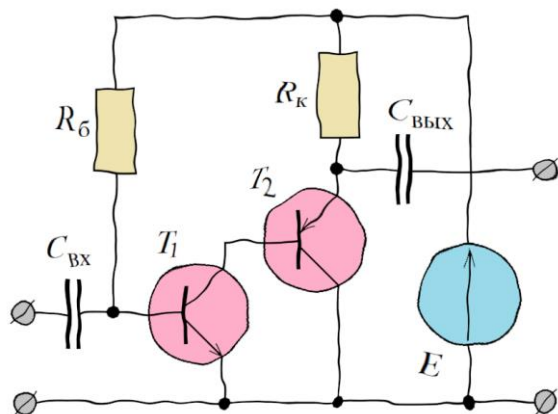
15. Схема с ОК (Дарлингтон) *npn*



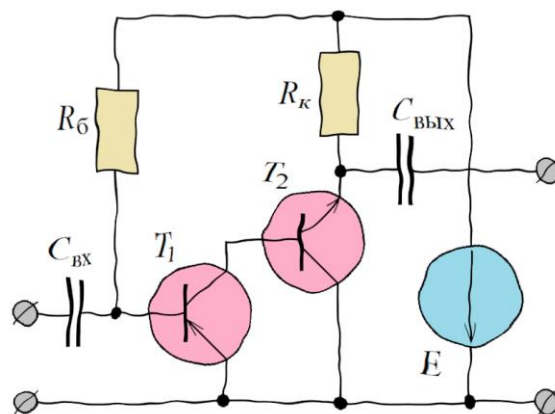
16. Схема с ОК (Дарлингтон) *pnp*



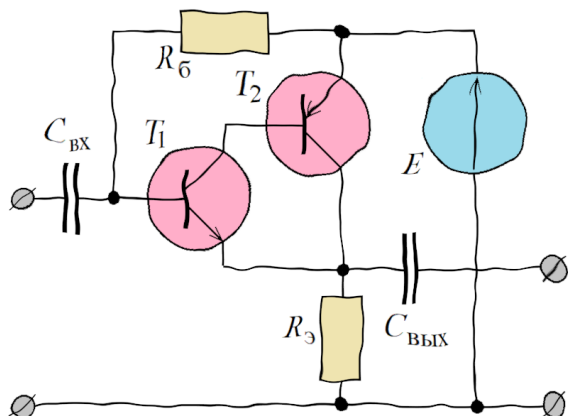
17. Схема с ОЭ (Шиклаи) *npn*



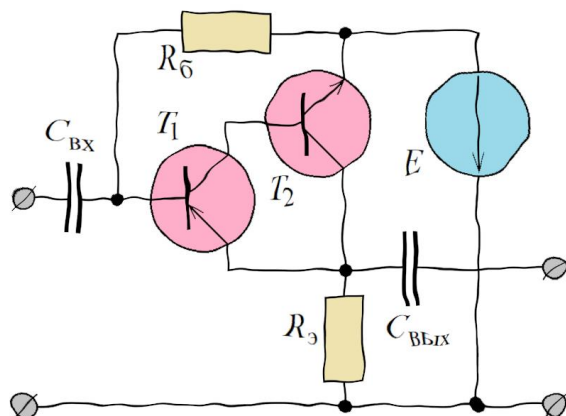
18. Схема с ОЭ (Шиклаи) *pnp*



19. Схема с ОК (Шиклаи) *npn*



20. Схема с ОК (Шиклаи) *pnp*



В предлагаемых схемах транзисторы могут являться как *nnp*-транзисторами, так и *pnp*-транзисторами. На это следует обратить внимание при сборе схемы: *nnp*-транзисторы требуют положительного питания (потенциал коллектора должен быть выше потенциала эмиттера), а *pnp*-транзисторы требуют, наоборот, отрицательного питания (потенциал коллектора должен быть ниже потенциала эмиттера).

Номиналы элементов усилителей разнятся от варианта к варианту.

Программа выполнения работы:

1. Собрать предлагаемую схему усилителя. Проконтролировать, что усилитель спроектирован и собран правильно. Для этого, не подавая входной сигнал (можно заземлить вход усилителя), измерить вольтметром постоянного тока разность потенциалов $U_K - U_Э$ и убедиться, что она составляет половину напряжения источника питания ($\pm 10\%$). В случае, если в состав усилителя входят два транзистора, проверить только выходной транзистор. Если разность потенциалов $U_K - U_Э$ не составляет половину напряжения источника питания, подкорректировать сопротивление резистора R_6 .

2. Подать на вход усилителя синусоидальный сигнал некоторой частоты и амплитуды и убедиться с помощью осциллографа, что усилитель усиливает этот сигнал. При выборе амплитуды и частоты входного сигнала следует использовать следующие соображения:

- амплитуда выходного сигнала предлагаемых схем не может (в принципе) превысить половину напряжения источника питания и для того, чтобы избежать нелинейных искажений её желательно делать не более 10-20% половины напряжения источника питания;

- чтобы получить заданную амплитуду выходного сигнала $U_{\text{ВЫХ}}$, нужно подать на вход усилителя сигнал с амплитудой $U_{\text{ВХ}} = U_{\text{ВЫХ}} / K$, где K – коэффициент усиления усилителя по напряжению (около нескольких десятков-сотен для схем с ОЭ и ОБ, $R_K / R_Э$ для схемы с ОЭ и ООС по току, несколько десятков для схем с ОЭ и ООС по напряжению, 1 для схем с ОК, до нескольких тысяч для схем Дарлингтона и Шиклаи). Совершенно необязательно пытаться заранее предсказать коэффициент усиления усилителя, можно устанавливать амплитуду входного напряжения такой, чтобы она имела максимально возможное значение, при котором отсутствуют нелинейные искажения (это можно контролировать по осциллограмме выходного сигнала).

- частоту входного сигнала следует выбрать изначально равной нескольким кГц, в дальнейшем будет нелишним убедиться, что выбранная частота находится на горизонтальном участке АЧХ усилителя

3. Снять АЧХ усилителя. Это можно сделать двумя способами:

За. Подать на вход усилителя сигнал с «правильной» амплитудой $U_{\text{вх}}$ и частотой f (п.1) и измерить амплитуду выходного сигнала $U_{\text{вых}}$. При этом следует учитывать, что вольтметры переменного напряжения, как правило, показывают не амплитуду, а действующее значение напряжения, поэтому не следует забывать о коэффициенте $\sqrt{2}$. После этого достаточно вычислить значение АЧХ на выбранной частоте как отношение $U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}}$. При этом удобно устанавливать не амплитуду входного напряжения, а его действующее значение (RMS в системе Proteus). Следует также иметь в виду, что вольтметр переменного напряжения Proteus выдаёт среднеквадратичное значение напряжения за устанавливаемый промежуток времени, поэтому следует каждый раз при измерении устанавливать этот промежуток равным $\approx (10 \dots 100)/f$, а также то, что измеряет он именно среднеквадратичное напряжение (без вычета постоянной составляющей), поэтому подключать его нужно только после разделительного конденсатора $C_{\text{вых}}$ (при этом необходимо, конечно, учитывать, что импеданс конденсатора $1/(\omega C_{\text{вых}})$ должен быть много меньше сопротивления вольтметра).

Измерить выходной сигнал и вычислить значения АЧХ усилителя на всех рабочих частотах, начиная от (можно ниже) нижней частоты среза, на которой АЧХ имеет значение $\sqrt{2}$ от её максимального значения (-3,01 дБ от максимума) и заканчивая верхней частотой среза (можно выше), на которой АЧХ имеет значение $\sqrt{2}$ от её максимального значения (-3,01 дБ от максимума). Привести таблицу полученной зависимости и построить её график (в двойном логарифмическом масштабе).

3б. Воспользоваться средствами Proteus для построения частотных характеристик. Для этого включить Graph Mode (кликнуть на левой стороне окна Proteus по иконке со схематичным изображением графиков), выбрать FREQUENCY, отметить на рабочей области прямоугольник для построения АЧХ. Далее – правый клик по FREQUENCY RESPONSE/Edit Properties/Reference и выбрать источник переменного входного сигнала. После этого подключить к выходу усилителя пробник напряжения, кликнуть по нему и перенести его изображение в левую сторону прямоугольника АЧХ (перенесение в правую сторону даст возможность построить ФЧХ). Теперь правый клик/Simulate Graph (не включая симуляции!) приводит к автоматическому построению АЧХ, которую можно развернуть во весь экран кликом по FREQUENCY RESPONSE, можно также настроить удобный масштаб просмотра.

Координаты точек АЧХ можно считать, устанавливая маркер (клик по АЧХ в полноэкранном режиме) и считывая значения координат в нижней строчке экрана. Можно также вывести координаты точек АЧХ в текстовый файл (правый клик/Export Graph Data/Указать путь сохранения без символов кириллицы). Надо иметь в виду, что расширение файла сохранения необходимо изменить на *.txt, и, при использовании русифицированной ОС, заменить десятичные точки на десятичные запятые. Полученный текстовый файл следует экспортировать в Excel и построить

график АЧХ (При этом следует иметь в виду, что Proteus использует десятичную точку, а русифицированный Excel – десятичную запятую).

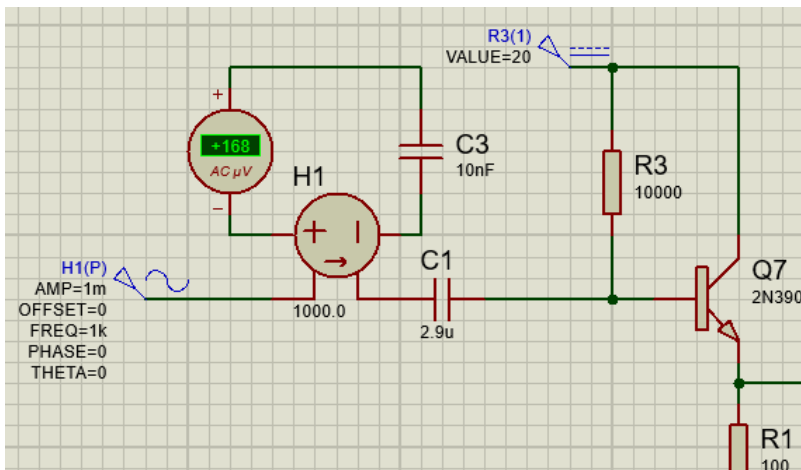
4. Найти (по графику или по таблице) коэффициент усиления усилителя K , то есть значение его АЧХ на её горизонтальном участке

Найти (по графику или по таблице) частоты среза усилителя f_H и f_B , то есть такие частоты входного сигнала, при которых значение его АЧХ в $\sqrt{2}$ раз меньше K (или, что то же самое, меньше K на 3,01 дБ).

Определить полосу пропускания усилителя – от f_H и f_B и её ширину $f_B - f_H$. Не стоит приводить в отчёте f_H , f_B и ширину полосы пропускания с точностью до огромного количества цифр, для этого достаточно 2-3 цифр.

Дальнейшие разделы программы выполнения работы, если это не оговорено отдельно, следует выполнять на частоте середины полосы пропускания, которую можно приблизительно оценить по графику, можно воспользоваться формулой $f_0 \approx \sqrt{f_H f_B}$ (при этом f_0 следует выбирать максимально «круглым», с максимальной точностью до 2-3 цифр).

5. Измерить входное сопротивление усилителя. Для этого подать на его вход сигнал разных (по очереди) частот с достаточно малой амплитудой (такой, что на осциллографе визуально не наблюдаются нелинейные искажения, то есть отличие формы сигнала от синусоидальной) и измерить (амперметром переменного тока) входной ток усилителя. При этом, если точности амперметра недостаточно, можно воспользоваться средствами Proteus для усиления измеряемого тока, как это показано на рисунке:



На приведённом фрагменте схемы используется преобразователь CCVS и измеряемый ток равняется 168 нА. Необходимо отметить, что ёмкость конденсатора $C3$ в приведённом примере следует выбирать такой, чтобы его емкостное сопротивление $(1/(2\pi fC))$ на 2-3 порядка меньше сопротивления вольтметра.

Оцениваемое входное сопротивление, очевидно, равняется $R_{BX} = U_{BX} / I_{BX}$, причём U_{BX} и I_{BX} – это одновременно либо действующие, либо амплитудные значения.

Измерения входного сопротивления необходимо провести минимум на трёх частотах:

- на середине полосы пропускания f_0 ;
- вблизи нижней частоты среза (можно взять $\sqrt{f_H f_0}$, округлить до 2-3 знаков);

– вблизи верхней частоты среза (можно взять $\sqrt{f_0 f_B}$, округлить до 2-3 знаков);

6. Снять передаточную характеристику усилителя. Для этого подать на вход усилителя сигнал с частотой f_0 и действующим значением $U_{\min} = \sqrt{4kTR_{\text{вх}}\Delta f}$, где $R_{\text{вх}}$ – входное сопротивление (определённое в п.4), Δf – ширина полосы частот (определённая в п.3) в Гц, T – окружающая температура (≈ 300 К), k – постоянная Больцмана ($\approx 1,38 \times 10^{-23}$ [СИ]) и измерить действующее значение выходного напряжения. Затем постепенно увеличивать входное напряжение до той поры (U_{\max}), пока зависимость $U_{\text{вых}}(U_{\text{вх}})$ не станет значительно (до $\approx 10\%$) отличаться от линейной. Вычислить динамический диапазон усилителя как отношение U_{\max}/U_{\min} в дБ.

7. Измерить выходное сопротивление усилителя. Для этого подать на вход усилителя сигнал с действующим значением $\sqrt{U_{\min} U_{\max}}$ и измерить (без нагрузки) действующее значение выходного напряжения U_{∞} . Далее подключить к выходу усилителя нагрузку и, подобрав такое значение её сопротивления R_n , при котором выходное напряжение уменьшается на 5...10 %, измерить это выходное напряжение U_R . Выходное сопротивление вычислить по формуле:

$$R_{\text{вых}} = -\frac{\Delta U}{\Delta I} = -\frac{U_{\infty} - U_R}{I_{\infty} - I_R} = -\frac{U_{\infty} - U_R}{0 - I_R} = \frac{U_{\infty} - U_R}{U_R/R} = R \left(\frac{U_{\infty}}{U_R} - 1 \right).$$

Измерения следует провести на всех частотах, используемых в п.5

Содержание отчёта:

Отчёт должен содержать:

1. Самостоятельно выполненную (в любом графическом редакторе) схему усилителя. Схема должна содержать обозначения только российского ГОСТ с их номиналами, записанными в соответствии с общепринятыми правилами (сопротивления: Ом – число без указания единиц, кОм – число с символом «к», конденсаторы: пФ – число без запятой и без указания единиц, мкФ – число обязательно с десятичной запятой). За применение обозначений, отличных от ГОСТ, оценка снижается на 1 балл, за необозначение точек соединения проводников – на 2 балла, за рукописные символы на схеме – на 1 балл.

2. График АЧХ усилителя. В случаях, если график снят путём измерения $U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}}$ на разных частотах, или если для его построения использовались значения маркера Proteus, к графику обязательно должна быть приложена таблица измерений. Если же график был снят путём экспортирования данных АЧХ, таблица необязательна. График обязательно должен быть построен в Excel, скриншоты экрана не допускаются (– 2 балла). График должен быть построен в двойном логарифмическом масштабе и на нём должны быть видны частоты среза усилителя (если возможностей Proteus не достаточно для определения верхней частоты среза, то допустимо снять АЧХ до максимально возможной частоты и сделать приписку

« f_B определить не удалось», и далее эту максимально возможную частоту можно использовать в качестве f_B).

3. Определённые по графику значения частот среза, полосы пропускания усилителя и её ширины.

4. Таблицу измерения входного сопротивления усилителя с указанием частоты, входного напряжения, входного тока (со скриншотами измерений) и вычисленных значений входного сопротивления.

5. Определённое (п.5 программы выполнения) значение U_{\min} , таблицу измерения и график передаточной характеристики. График должен быть построен в Excel в линейном масштабе.

6. Определённое (п.5 программы выполнения) значение U_{\max} и вычисленный динамический диапазон усилителя.

7. Таблицу измерения выходного сопротивления усилителя с указанием частоты, выходных напряжений, выходного тока (со скриншотами измерений) и вычисленных значений выходного сопротивления.

Варианты заданий приведены в таблице:

№ вар.	№ схемы	$E, В$	T		$R_6, кОм$		$R_k, кОм$	$R_3,$	C_{BX}	$C_{ВЫХ}$	$C_{кз}, C_6, C_3$
			T_1	T_2	R_{61}	R_{62}					
1	13	32	2N3904	BD135	4200		0,16	—	1	5,1	—
2	19	35	ZTX458	BC327	5 600		—	0,35	0,002	2,9	—
3	18	-24	ZTX558	BC338	290		0,029	—	1	1	—
4	6	-51	BC461		3,5		—	0,06	3,5	83	—
5	18	-39	2N3906	BD135	24 000		0,65	—	5,1	0,1	—
6	20	-42	BC327	2N2222	220		—	0,042	0,024	0,2	—
7	5	10	2N1711		42		—	0,42	3,5	12	—
8	2	-4,2	PN4355		32		0,1	—	10	15	—
9	17	16	2N1893	BD136	2 000		0,2	—	0,51	0,51	—
10	11	350	ZTX458		10	0,147	2	0,051	20	1	20
11	4	-20	2N3906		560		1	0,1	1	2	—
12	9	83	2N5830		290		0,5	0,0001	38	3,2	1,5
13	12	-26	2N4403		0,62	0,026	0,13	0,0051	12	0,5	1
14	6	-24	BC328		0,18		—	0,015	9,1	26	—
15	1	5,1	ZTX454		120		0,51	—	10	1,5	—
16	15	12	2N1893	BC338	100		—	0,03	0,0026	0,51	—
17	6	-12	BC160		51		—	0,5	1	32	—
18	17	12	2N1893	BC160	320		0,03	—	2,6	0,51	—
19	8	-15	2N3906		910		2	—	1	1	0,2
20	17	83	2N5830	BD140	46 000		2,2	—	1,5	6,2	—
21	16	-24	ZTX558	BC327	200		—	0,029	0,001	1	—
22	19	29	2N2222	BC461	460		—	0,051	0,02	5,1	—
23	5	51	2N1893		680		—	5,1	2	32	—
24	5	39	2N3019		24		—	0,32	8,3	20	—

25	19	83	2N5830	BD140	24 000	—	2,2	0,0015	6,2	—
26	18	-42	MPSA92	2N3019	110	0,032	—	22	10	—
27	14	-22	MPSA55	BC328	130	0,026	—	16	13	—

№ вар.	№ схемы	E, В	T		R ₆ , кОМ		R _к	R _э	C _{БХ}	C _{БЫХ}	C _{кэ} , C _б , C _э
			T ₁	T ₂	R ₆₁	R ₆₂	кОМ		МКФ		
28	1	29	ZTX450		380		1,5	—	0,51	0,51	—
29	9	350	ZTX458		420		2	0,051	20	1	20
30	20	-22	MPSA55	2N1711	62		—	0,026	0,016	13	—
31	16	-22	MPSA55	BC328	56		—	0,026	0,016	13	—
32	9	46	2N1711		7,5		0,08	0,01	10	14	51
33	16	-42	MPSA92	BD136	83		—	0,032	0,022	10	—
34	5	42	BD131		1,3		—	0,04	4,2	83	—
35	3	11	2N5830		830		2,6	1,3	2	5,1	—
36	5	24	BC338		8,3		—	0,12	1	75	—
37	1	10	2N5830		350		1	—	5,1	1	—
38	16	-15	2N4403	BD140	46		—	0,01	0,012	0,5	—
39	20	-42	MPSA92	2N3019	51		—	0,032	0,022	10	—
40	19	32	2N3904	2N2907	1 500		—	0,16	0,001	5,1	—
41	9	26	2N2222		510 000		1000	0,02	13	0,5	2
42	8	-6,2	MPSA55		51		0,32	—	0,2	1,5	0,51
43	19	12	2N1893	BC160	140		—	0,03	0,0026	0,51	—
44	10	-5,1	2N2907		68		0,26	0,0035	75	0,1	0,35
45	19	46	2N1711	BC328	220 000		—	3,6	0,0051	1	—
46	8	-35	MPSA92		6 800		51	—	1,5	2,9	1
47	19	26	2N4401	BD132	260		—	0,042	0,01	1,5	—
48	3	3,2	ZTX455		1,8		0,012	0,002	10	0,51	—
49	17	32	2N3904	2N2907	3 200		0,16	—	1	5,1	—
50	5	75	BD139		830		—	7,5	2,6	62	—
51	4	-22	ZTX558		38 000		100	10	4,6	7,5	—
52	10	-4,2	PN4355		6,8		0,021	0,0032	25	7,5	3,6
53	17	26	2N4401	BD132	22		0,042	—	10	1,5	—
54	18	-15	2N4403	BD131	110		0,01	—	12	0,5	—
55	13	29	2N2222	BC338	830		0,051	—	20	5,1	—
56	20	-39	2N3906	BD135	11 000		—	0,65	0,0051	0,1	—
57	14	-42	MPSA92	BD136	180		0,032	—	22	10	—
58	13	12	2N1893	BC338	290		0,03	—	2,6	0,51	—
59	3	32	2N3904		340		1	0,22	0,5	5	—
60	6	-42	BC327		0,24		—	0,02	3,2	15	—
61	12	-250	MPSA92		1,5	0,062	0,32	0,024	22	10	2
62	11	3,2	2N4401		0,032	0,011	0,01	0,0001	180	1,8	7,5
63	10	-250	MPSA92		68		0,32	0,024	22	10	2
64	15	83	2N5830	BD131	22 000		—	2,2	0,0015	6,2	—
65	4	-38	ZTX951		9 100		20	2	12	8,3	—
66	20	-24	ZTX558	BC338	140		—	0,029	0,001	1	—
67	12	-5,1	2N2907		1,1	0,2	0,26	0,0035	75	0,1	0,35
68	2	-15	2N3906		910		2	—	1	1	—
69	18	-22	MPSA55	2N1711	130		0,026	—	16	13	—
70	7	20	2N3904		2 900		10	—	1	5,1	0,1

№ вар.	№ схемы	E, В	T		R _б , кОм		R _к	R _э	C _{бх}	C _{бых}	C _{кэ} , C _б , C _э
			T ₁	T ₂	R _{б1}	R _{б2}					
71	2	-26	2N4403		3 830		20	—	0,51	2,6	—
72	14	-12	PN4355	BD132	29		0,0042	—	25	7,5	—
73	18	-42	BC327	2N2222	380		0,042	—	24	0,2	—
74	11	46	2N1711		0,383	0,032	0,08	0,01	10	14	51
75	15	35	ZTX458	BC338	5 100		—	0,35	0,002	2,9	—
76	19	16	2N1893	BD136	1 000		—	0,2	0,0005	0,51	—
77	17	35	ZTX458	BC327	8 300		0,35	—	2	2,9	—
78	20	-7,5	2N2907	BC338	20		—	0,0075	0,075	0,1	—
79	20	-15	2N4403	BD131	51		—	0,01	0,012	0,5	—
80	16	-7,5	2N2907	BC160	5,1		—	0,0075	0,075	0,1	—
81	18	-12	PN4355	BD139	29		0,0042	—	25	7,5	—
82	14	-7,5	2N2907	BC160	20		0,0075	—	75	0,1	—
83	6	-15	BD132		0,062		—	0,005	7,5	51	—
84	1	2,9	ZTX455		42		0,2	—	1,5	6,2	—
85	2	-20	ZTX951		620		3,2	—	2	12	—
86	13	83	2N5830	BD131	46 000		2,2	—	1,5	6,2	—
87	13	35	ZTX458	BC338	12 000		0,35	—	2	2,9	—
88	4	-12	MPSA55		460		2,6	0,22	1,5	0,2	—
89	1	16	PN2222A		133		0,38	—	20	5,1	—
90	9	24	2N3904		2900		10	0,1	200	10	20
91	7	42	ZTX458		8 250		26	—	2,6	0,51	0,01
92	2	-6,2	MPSA55		51		0,32	—	0,2	1,5	—
93	11	68	2N1893		0,85	0,015	0,2	0,001	220	2,2	15
94	10	-15	2N3906		29		0,1	0,001	5,1	0,1	0,1
95	11	83	2N5830		2,4	0,024	0,5	0,0001	38	3,2	1,5
96	17	46	2N1711	BC328	83 000		3,6	—	5,1	1	—
97	11	7,5	BC338		0,133	0,02	0,029	0,0002	32	5,6	5,1
98	3	22	2N4401		620		1,6	0,42	1	6,2	—
99	3	20	PN2222A		16 200		56	5,6	35	9,1	—
100	14	-15	2N4403	BD140	110		0,01	—	12	0,5	—
101	3	26	ZTX450		1 330		4,2	1,2	2,6	2,9	—
102	14	-39	2N3906	2N2907	62 000		0,65	—	5,1	0,1	—
103	11	24	2N3904		46,4	1,6	10	0,1	200	10	20
104	1	24	2N4401		4 200		15	—	2	2,9	—
105	4	-2,9	ZTX550		2 600		12	3,2	26	15	—
106	12	-180	ZTX558		5,11	0,075	1	0,02	1	1	1
107	5	6,2	2N2222		2,4		—	0,032	6,2	42	—
108	4	-24	2N4403		910		1,6	0,83	2,6	0,51	—
109	5	20	BD135		0,22		—	0,01	5,1	91	—
110	12	-6,2	MPSA55		0,083	0,01	0,016	0,0001	16	13	1,8
111	16	-12	PN4355	BD132	12		—	0,0042	0,025	7,5	—
112	2	-12	ZTX550		220		1,2	—	15	26	—
113	12	-15	2N3906		0,42	0,024	0,1	0,001	5,1	0,1	0,1

№ вар.	№ схемы	E, В	T		R ₆ , кОм		R _к	R _э	C _{БХ}	C _{ВЫХ}	C _{КЭ} , C ₆ , C _э
			T ₁	T ₂	R ₆₁	R ₆₂					
114	10	-26	2N4403		56		0,13	0,0051	12	0,5	1
115	15	16	2N1893	2N3019	3 600		—	0,2	0,0005	0,51	—
116	9	7,5	BC338		0,287		0,029	0,0002	32	5,6	5,1
117	14	-42	BC327	BC461	91		0,042	—	24	0,2	—
118	3	38	ZTX458		5 600		20	5,1	1,5	1,5	—
119	9	68	2N1893		20		0,2	0,001	220	2,2	15
120	13	16	2N1893	2N3019	7 500		0,2	—	0,51	0,51	—
121	10	-180	ZTX558		290		1	0,02	1	1	1
122	8	-18	ZTX558		6,2		0,046	—	6,8	8,3	2
123	18	-7,5	2N2907	BC338	26		0,0075	—	75	0,1	—
124	13	26	2N4401	BD139	560		0,042	—	10	1,5	—
125	11	26	2N2222		4840	100	1000	0,02	13	0,5	2
126	12	-42	BC327		0,1	0,005	0,03	0,0002	24	0,2	0,2
127	15	46	2N1711	2N1711	68 000		—	3,6	0,0051	1	—
128	4	-29	MPSA92		750		4,2	1,3	2,9	1,5	—
129	13	46	2N1711	2N1711	150 000		3,6	—	5,1	1	—
130	6	-39	BD136		18		—	0,4	1,2	35	—
131	2	-35	MPSA92		6 800		51	—	1,5	2,9	—
132	7	24	2N4401		4 200		15	—	2	2,9	0,035
133	12	-4,2	PN4355		0,075	0,02	0,021	0,0032	25	7,5	3,6
134	15	26	2N4401	BD139	240		—	0,042	0,01	1,5	—
135	7	10	2N5830		350		1	—	5,1	1	0,2
136	10	-42	BC327		1,2		0,03	0,0002	24	0,2	0,2
137	2	-18	ZTX558		6,2		0,046	—	6,8	8,3	—
138	10	-6,2	MPSA55		2,2		0,016	0,0001	16	13	1,8
139	16	-39	2N3906	2N2907	3 600		—	0,65	0,0051	0,1	—
140	17	29	2N2222	BC461	910		0,051	—	20	5,1	—
141	1	42	ZTX458		8 250		26	—	2,6	0,51	—
142	16	-42	BC327	BC461	130		—	0,042	0,024	0,2	—
143	15	29	2N2222	BC338	380		—	0,051	0,02	5,1	—
144	14	-24	ZTX558	BC327	290		0,029	—	1	1	—
145	6	-5,1	2N2907		26		—	0,25	1,5	10	—
146	4	-5,1	PN4355		2 600		7,5	3,5	15	10	—
147	3	5,6	ZTX454		1 500		7,5	1,5	0,51	0,51	—
148	6	-80	BD140		56		—	1	5,1	42	—
149	15	32	2N3904	BD135	1100		—	0,16	0,001	5,1	—
150	9	3,2	2N4401		3		0,01	0,0001	180	1,8	7,5
151	20	-12	PN4355	BD139	14		—	0,0042	0,025	7,5	—
152	1	20	2N3904		2 900		10	—	1	5,1	—

Предостережение 1

При выборе транзисторов заданных марок в системе Proteus иногда предлагаются 2 (возможно, более) марки одинаковых названий. В этом случае выбирать следует тот, для которого в собранной схеме (без источника входного сигнала) падение напряжения коллектор-эмиттер составляет около половины напряжения источника питания.

Предостережение 2

В предлагаемой таблице вариантов иногда встречается неточность – проводимость транзисторов предлагаемых марок не соответствует знаку напряжения источника питания. В этом случае следует адекватно изменить знак напряжения источника питания – транзисторы n-p-n должны запитываться от положительного напряжения, а транзисторы p-n-p – от отрицательного (в более сложных случаях необходимо проследить, что ток в схеме течёт «по стрелочкам» транзисторов) и сообщить об этом преподавателю.