

ДОММ-19

УСИЛИТЕЛЬ НА ГЕРМАНИИ 24В

Измерение параметров каскада на T2

При расчёте я отмечал, что усиление по напряжению каскада на T2 не зависит от наличия ООС. Сейчас этот момент попробую использовать для анализа полосы пропускания этого каскада, посмотрю частоту среза. Соображения, которые позволят мне это сделать, следующие.

При постоянном к-те усиления и относительно низкой частоте входное сопротивление каскада на T2 имеет постоянный характер и равно около 20 Ом. Если при увеличении частоты к-т усиления T2 начинает уменьшаться, то по Миллеру входное сопротивление начинает расти. Каскад на T1 начинает работать как усилитель, и на его коллекторе напряжение начинает увеличиваться. Вот этот рост мы и сможем засечь с помощью осциллографа.

Итак, на выходе устанавливаю амплитуду размахом 10 В. Можно любую, но мне так удобнее для измерений.

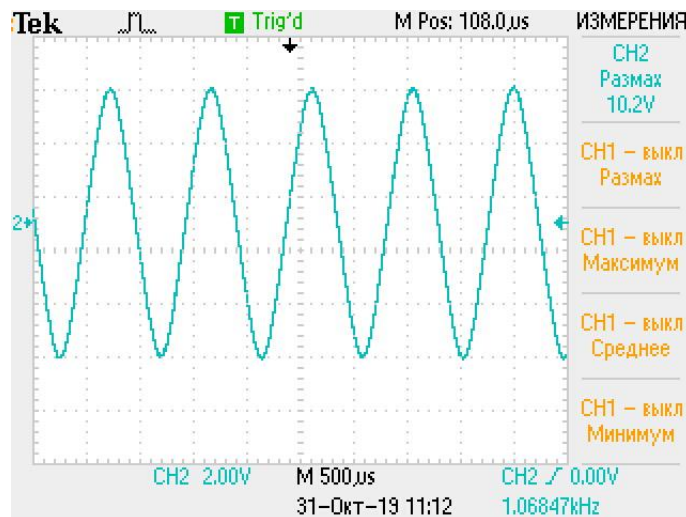


Рисунок 1. Синус на выходе.

Переключаюсь на базу T2 и вижу. Клеммы щупа осциллографа подключены непосредственно к базе и эмиттеру T2

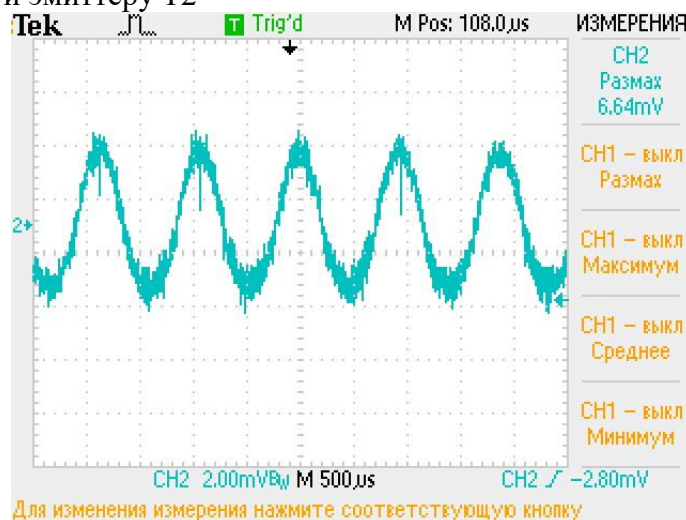


Рисунок 2. Синус на базе T2.

Опа! Вполне себе приемлемая картинка для анализа. Немного зашумлена, но это несколько не мешает. По ней можно даже посчитать к-т усиления каскада, данные для расчёта в правом верхнем углу картинке. Но перед этим необходимо провести небольшую коррекцию на шум.

Шумовая составляющая – это входные шумы осциллографа, поэтому коротим между собой клеммы щупа и имеем

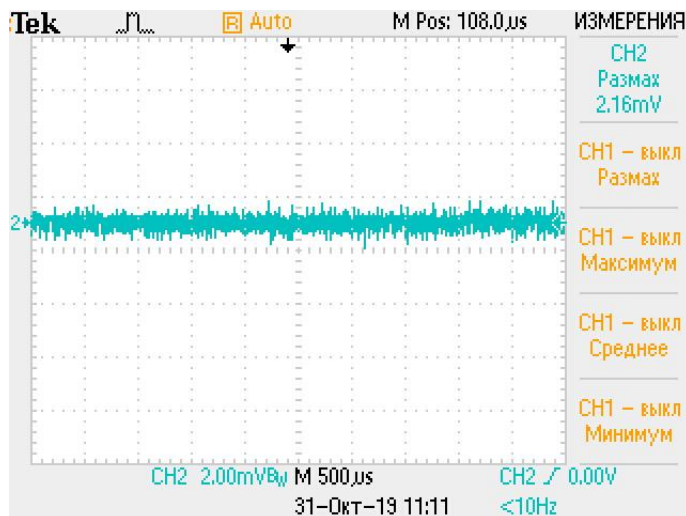


Рисунок 3. Шум осциллографа

Амплитуда шума сравнима с амплитудой полезного сигнала, поэтому корректировка действительно необходима. Считаем к-т усиления каскада T2

$$K = \frac{10,2 \text{ В}}{6,64 - 2,16 \text{ мВ}} = 67,1 \text{ дБ}$$

Понятно, что это довольно приблизительная оценка, тем не менее, о порядке величин мы имеем отличное представление. А представление такое, что запас по усилению составляет более 40 дБ, что позволяет получить КНИ менее 0,1%. Где-то в районе 0,07% и даже 0,05%. К сожалению, измерить нечем.

Теперь о полосе каскада на T2. Начинаю увеличивать частоту, до тех пор, пока напряжение в базе T2 не возрастёт в 1,4 раза, до 8,4 мВ. Здесь также придётся учесть шумовую составляющую.

$$U_{pp} = (6.64 - 2.16) * 1.4 + 2.16 = 8,4 \text{ мВ}$$

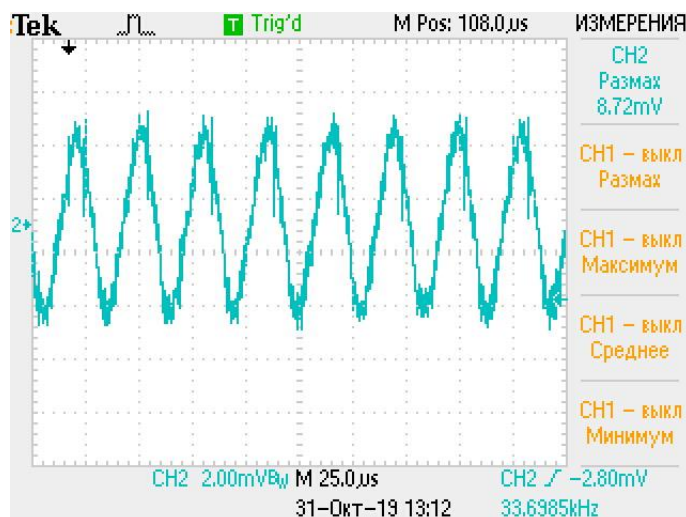


Рисунок 4. Синус на базе T2.

Как видим, частота среза составляет порядка 34 кГц. Из этого следует, что до этой частоты АЧХ каскада будет равномерна, и, соответственно, запас по усилению меняться не будет. Как говорится, полоса усилителя без ООС составляет 34 кГц. Начиная с этой частоты идёт снижение усиления каскада, запаса по усилению усилителя с ООС, и отсюда рост НИ всего усилителя. Нас это как бы слабо волнует, потому как всё происходит за пределами звукового диапазона.

Чем обусловлена такая частота среза так сразу сказать не могу, возможно, частотными свойствами ГТ40х ($1,5 \text{ МГц}/30=50 \text{ кГц}$) или же их паразитными емкостями (если они будут порядка 100 пФ , тот же эффект). Последнее могу проверить, для этого ставлю в коллектор Т2 об землю ёмкость 200 пФ и провожу тот же эксперимент.

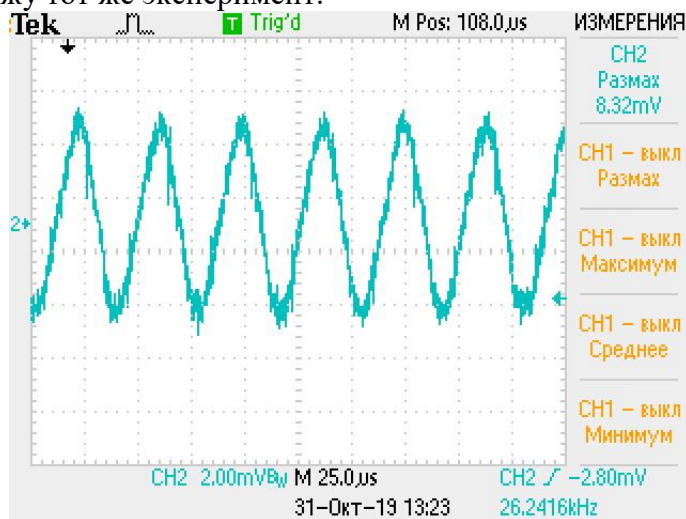


Рисунок 5. Синус на базе Т2 с ёмкостью 200 пФ .

Имею реакцию: частота среза снизилась до 26 кГц . Делаю вывод, что такая низкая частота обусловлена паразитными емкостями ГТ40х.

А теперь несколько сопутствующих измерений. Во-первых, сначала посмотрю, что происходит с сигналами с ростом частоты: к примеру, на частоте 95 кГц . Оно уже не несёт практической пользы, чисто из познавательных целей.

Это в базе Т2

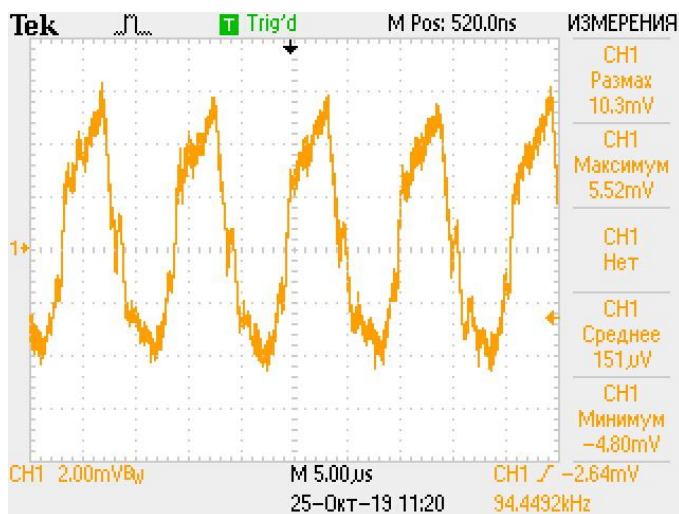


Рисунок 6. Синус на базе Т2 на частоте 95 кГц .

Видно, что верхние полупериоды напряжения вырождаются в пилу. Но на выходе усилителя ничего не происходит, изменений формы сигнала не видно.

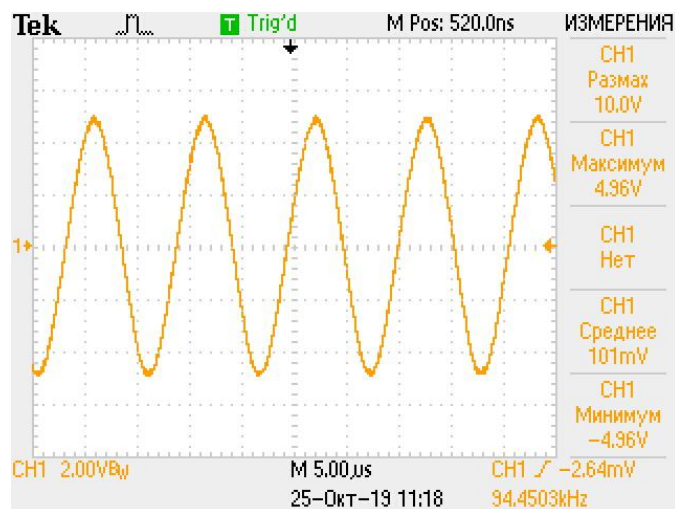


Рисунок 7. Синус на выходе усилителя на частоте 95 кГц.

Второе измерение показывает важность обеспечения правильного заземления усилителя. Эксперимент получился довольно случайно. Потому как осцил у меня двухлучевой, то логично было бы смотреть осциллограммы на входе и выходе одновременно. Однако одновременное подключение двух щупов привело к тому, что поплыли данные измерения напряжения базы Т2. То есть, при подключении только земляного конца щупа к нагрузке показания осциллографа резко увеличиваются. Справка: раньше было 6 мВ.

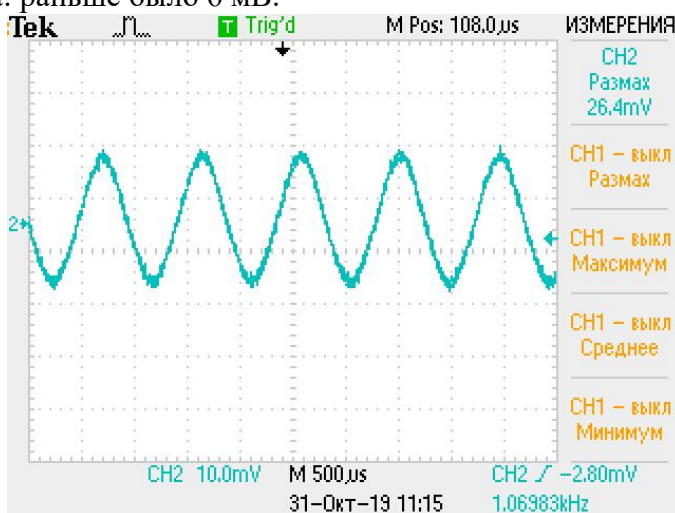


Рисунок 8. Синус на базе Т2 с земляной петлёй

Это то, что получилось при касании земли нагрузки земляным концом второго щупа. Объяснить увеличение показаний можно тем, что при таком подключении образуется дополнительная земляная петля: зажим первого щупа – земляная шина первого щупа – общая земля осциллографа – земляная шина второго щупа – зажим второго щупа. Перераспределение потенциалов даёт вот такой эффект. В данном случае, скорее всего, ошибка в измерении самого осциллографа и не приводит к катастрофическим последствиям, разве что к неправильной оценке результатов, но если вот такая земляная петля образуется в измерении параметров внутри петли ООС усилителя, то неприятностей избежать не удастся.

А сейчас проведу один эксперимент. Его целью является определение влияния частотных свойств транзистора Т2 на общие параметры усилителя. Ставлю самый что ни есть дохлый транзистор МП25А, с большим допустимым напряжением, но отвратительными скоростными параметрами. Сколько раз видел, как народ лепит его в усилители, не понимая, к чему приводит появление такого низкочастотного элемента в цепи передачи сигнала. Я сразу говорил, что в этом месте необходим ВЧ транзистор, вот и посмотрим, на чём основывается моё мнение. Ставлю, смотрю. На картинке всё видно. Переходная характеристика.

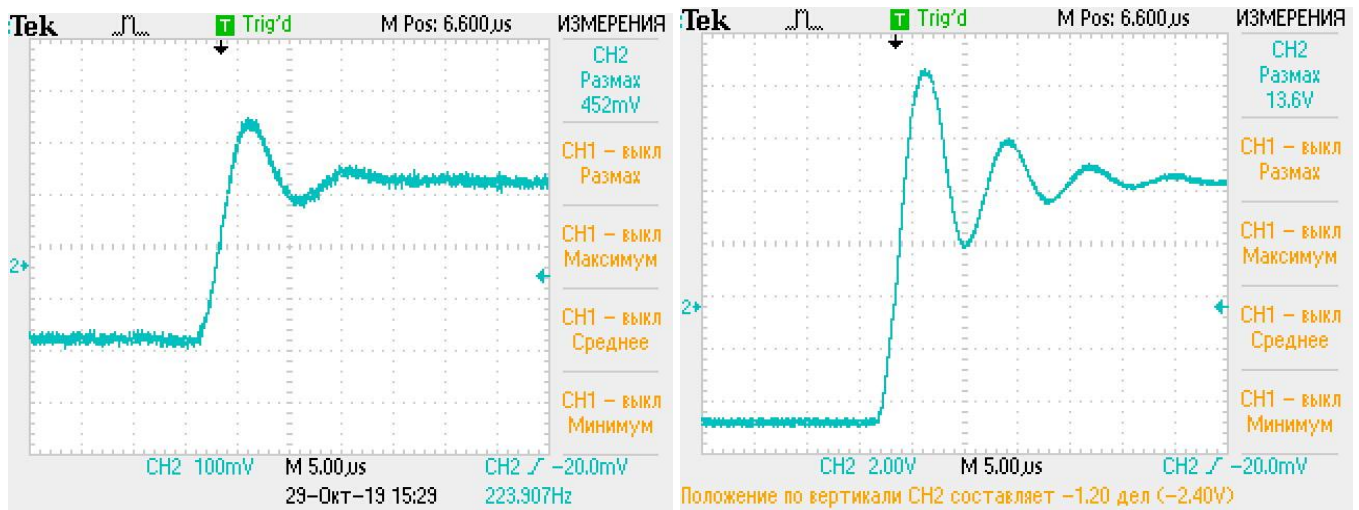


Рисунок 9. Переходная характеристика при $T_2=MP25A$

Ну что можно сказать? Никуда не годится. Мало того, что имеется огромный выброс на фронте, так ещё и затем хорошо выраженные переколебания. Как ни странно, усилитель работает, возбудов нет, но фактически находится на границе устойчивости. Убрать такие дефекты будет практически невозможно, только разве что ценой полного закругления свойств усилителя.

В самом деле, на малом сигнале, по которому можно оценить границы устойчивости (слева), переколебания заканчиваются где-то к 30 мкс. На большом сигнале мы имеем хороший фронт, но определяется он не скоростью нарастания, а наличием близко расположенного второго, или, скорее, двух (плюс третий, связанный с частотными свойствами транзистора) полюсов, что подтверждается увеличением амплитуды выброса и увеличением длительности переколебаний. В случае применения высокочастотного транзистора автоматически исключается, в смысле, смещается далеко вверх по частоте, полюс, образованный плохими скоростными свойствами транзистора, и приходится бороться только с двумя близкорасположенными полюсами, что значительно проще.

В принципе, усилитель с МП25А настроить вообще будет невозможно, ну, довольно проблематично, а если и получится, то ценой ухудшения динамики, т.е., длительность нарастания сигнала будет никак не меньше 30 мкс.

Ясный пень, связываться с ним не буду.

Кстати, интересно посмотреть, как будет выглядеть АЧХ усилителя с таким транзистором. Поскольку и деформация АЧХ, и искажения фронта импульса – это проявления одного и того же дефекта – задержки фазы в цепи ООС, то на АЧХ мы должны увидеть горб, который располагается вблизи верхней частоты, после которой начинается спад характеристики.