

Компенсация входной ёмкости

Современные лампы с высокой крутизной имеют, как правило достаточно большую входную емкость (несколько десятков, а то и сотни pF). При включении их по схеме с общим катодом возникает проблема завала на высокочастотных диапазонах из-за шунтирующего действия этой ёмкости. Хорошее решение этой проблемы было предложено в [1], где входная емкость лампы используется как одна из выходная емкость ФНЧ с частотой среза 30 MHz, в результате входная цепь практически равномерно передает сигналы в полосе 1 ...30 MHz. Дополнительные достоинства такого решения:

- между сеткой и катодом лампы включен (по рабочей частоте) резистор с низким сопротивлением, что повышает устойчивость каскада;
- ТХ "видит" перед собой нагрузку с относительно низким КСВ (резистор, через фильтр) во всей рабочей полосе частот.

Но авторы [1] "выжали" из данной идеи не все. Дело в том, что ими в качестве фильтра-прототипа использовался простейший фильтр Баттерворта с неравномерностью характеристики 3 дБ и нормированными коэффициентами (то есть номиналами для условного фильтра с частотой среза 1 Hz и сопротивлением нагрузки 1 Ohm, такие данные используются для проектирования фильтров, пересчитать их на нужную частоту и сопротивление дело пары минут), приведенными на рисунке 1.

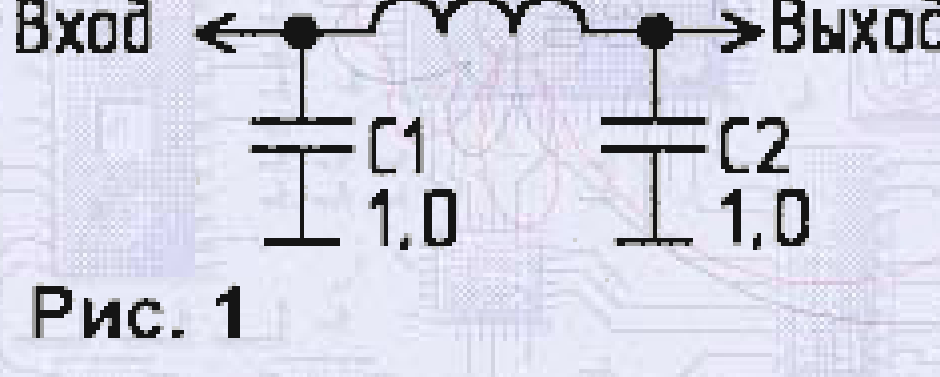


Рис. 1

Если же в качестве фильтра-прототипа использовать более фильтр низких частот Чебышева 5-го, то появляется возможность при тех же сопротивлениях нагрузки и частоте среза компенсировать намного большую входную емкость. Например, на рис. 2 показан такой фильтр с неравномерностью АЧХ 0,28 дБ.

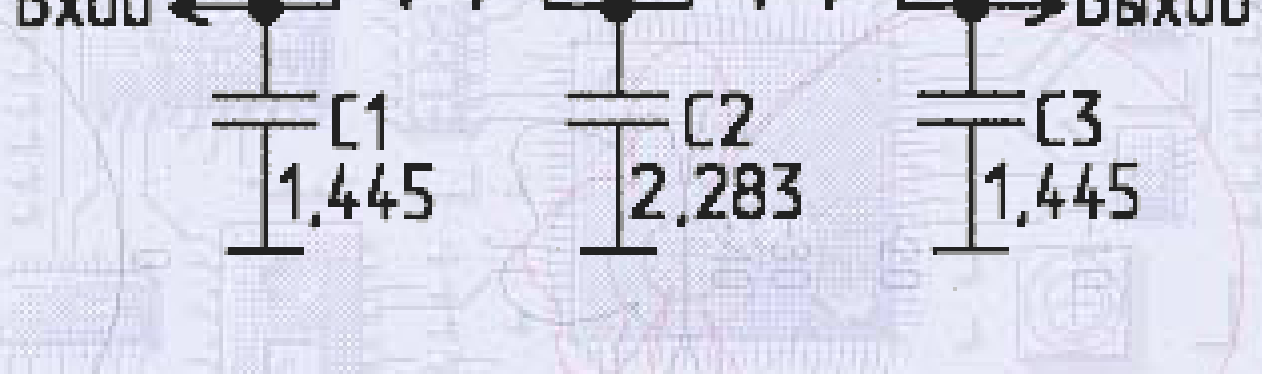


Рис. 2

Сравните величины емкостей конденсаторов C2 на рисунках 1 и 2 – последняя намного больше.

Включив входную емкость лампы включается вместо C2 (или ее части, если рассчитанное значение C2 больше чем входная ёмкость лампы), т.е. использовав Sвх как часть ФНЧ, можно получить достаточно хорошую АЧХ в полосе 1...30 МГц.

Но это на выходе фильтра. У нас же выходом является вход лампы. И вот там-то АЧХ стандартного фильтра рис. 2 (пересчитанного на частот 30 МГц) не очень красива: в полосе 10...20 Мгц провал достигает 2 дБ, а на 28 МГц подъем АЧХ превышает 3 дБ. Хотя подъем на 28 МГц дело, в общем, полезное (компенсация всяких других завалов на 28 МГц: П-контура, трансивера, и т.д.), но общая неравномерность более 5 дБ это все-таки многовато. Другим недостатком фильтра рис. 2 является то, что максимальный КСВ в полосе достигает 1,7. Тоже многовато.

Поэтому пришлось, вооружившись [RFSimm99](#), искать номиналы фильтра-прототипа, позволяющие и большую емкость компенсировать (при терпимой неравномерности АЧХ на C2) и низкий КСВ по входу получить. Результаты показаны на рис. 3 и в таблице.

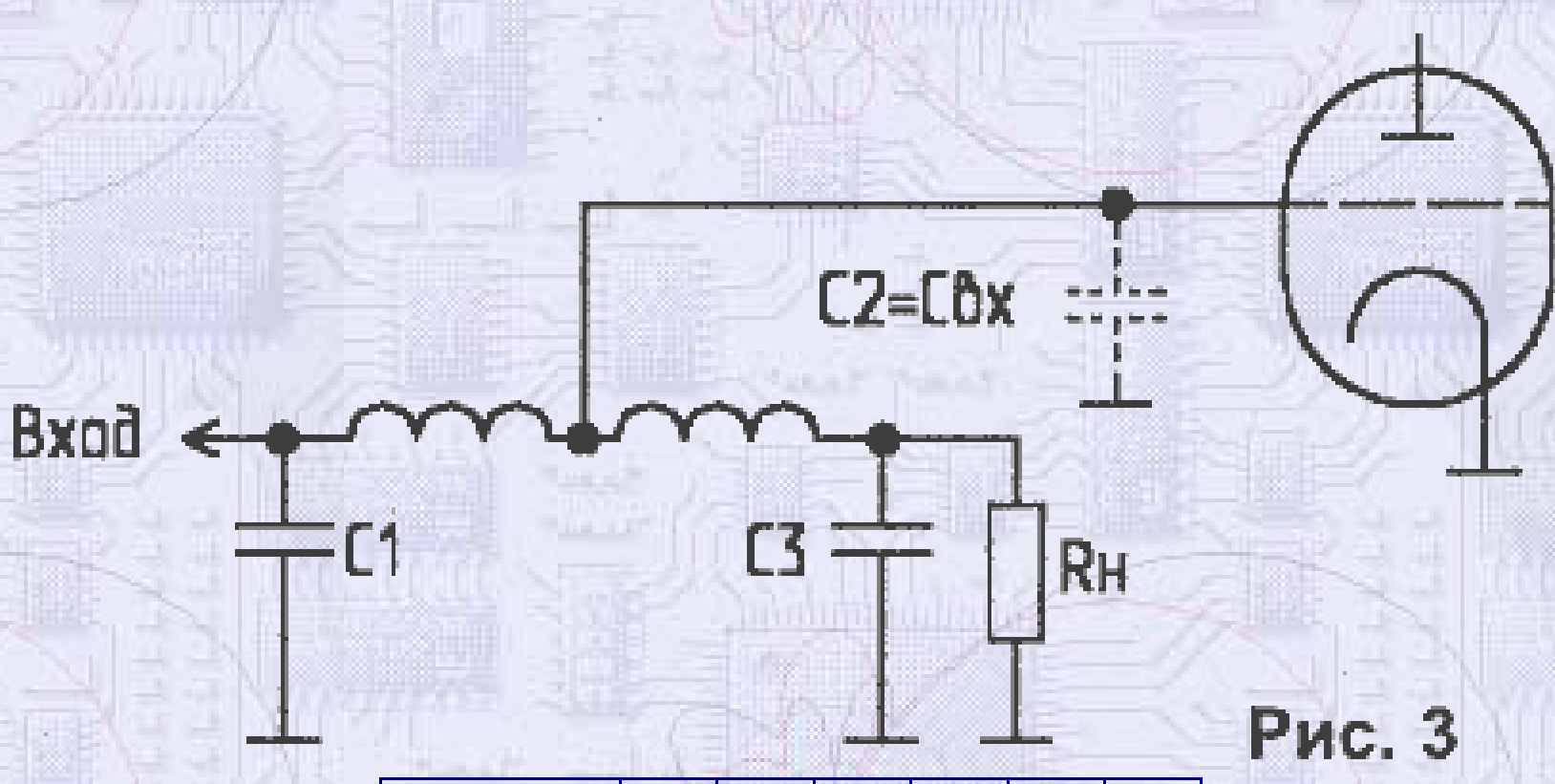


Рис. 3

R [Ohm]	50	75	100	200	300	450
C1,C3[pF]	105	78.8	52.5	26.4	17.5	11.6
L1, L2[uH]	0.35	0.53	0.7	1.4	2.1	3.15
C2 [pF]	200	150	100	50	33	22

В таблице приведены данные фильтров с частотой среза 32 MHz и величина максимально компенсируемой емкости C2, для наиболее употребительных значений сопротивления нагрузки R.

Значения R 50 и 75 Ohm предполагают непосредственное подключение кабеля ко входу фильтра, во всех остальных случаях на входе фильтра устанавливается широкополосный трансформатор на ферритовом сердечнике.

Получившаяся АЧХ (выход на конденсаторе C2, то есть на сетке лампы) и зависимость КСв по входу от частоты, полученные в [RFSimm99](#) приведена ниже. Сам [файл модели](#).



АЧХ показана красным красным в логарифмическом масштабе, КСВ – синим, в линейном. Вид АЧХ весьма практичен: в полосе 1-22 MHz её неравномерность не превышает 0,6 дБ. А выше идет небольшой подъем с ростом частоты, достигающий 2 дБ на 28 MHz (это не забудьте, на большой входной ёмкости лампы), что позволяет компенсировать завалы АЧХ других частей тракта (П-контура, например).

КСВ по входу не превышает во всей полосе 1,3 (причем выше 14 МГц КСВ ниже 1,2), что переносит любой трансформатор без снижения выходной мощности.

Примеры

1. Лампа ГУ74Б. Входная ёмкость 60 pF. Для R = 150 Ohm значения элементов ФНЧ:

C1 = C3 = 35 pF, C2 = 67 pF L1 = L2 = 1,05 uH.

Амплитуда возбуждения для ГУ74Б должна быть 32 V. При этом на нагрузке 150 Ohm выделяется мощность около 3,5 Wt (в [1] в этом же случае 5 Wt). Для согласования на входе установлен широкополосный трансформатор 1:3 (по сопротивлению). Получившаяся схема показана на рисунке 4. Поскольку Sвх меньше соответствующего значения C2 (67 pF), то между сеткой и корпусом включается дополнительный конденсатор емкостью около 5 pF, которая уточняется при настройке.

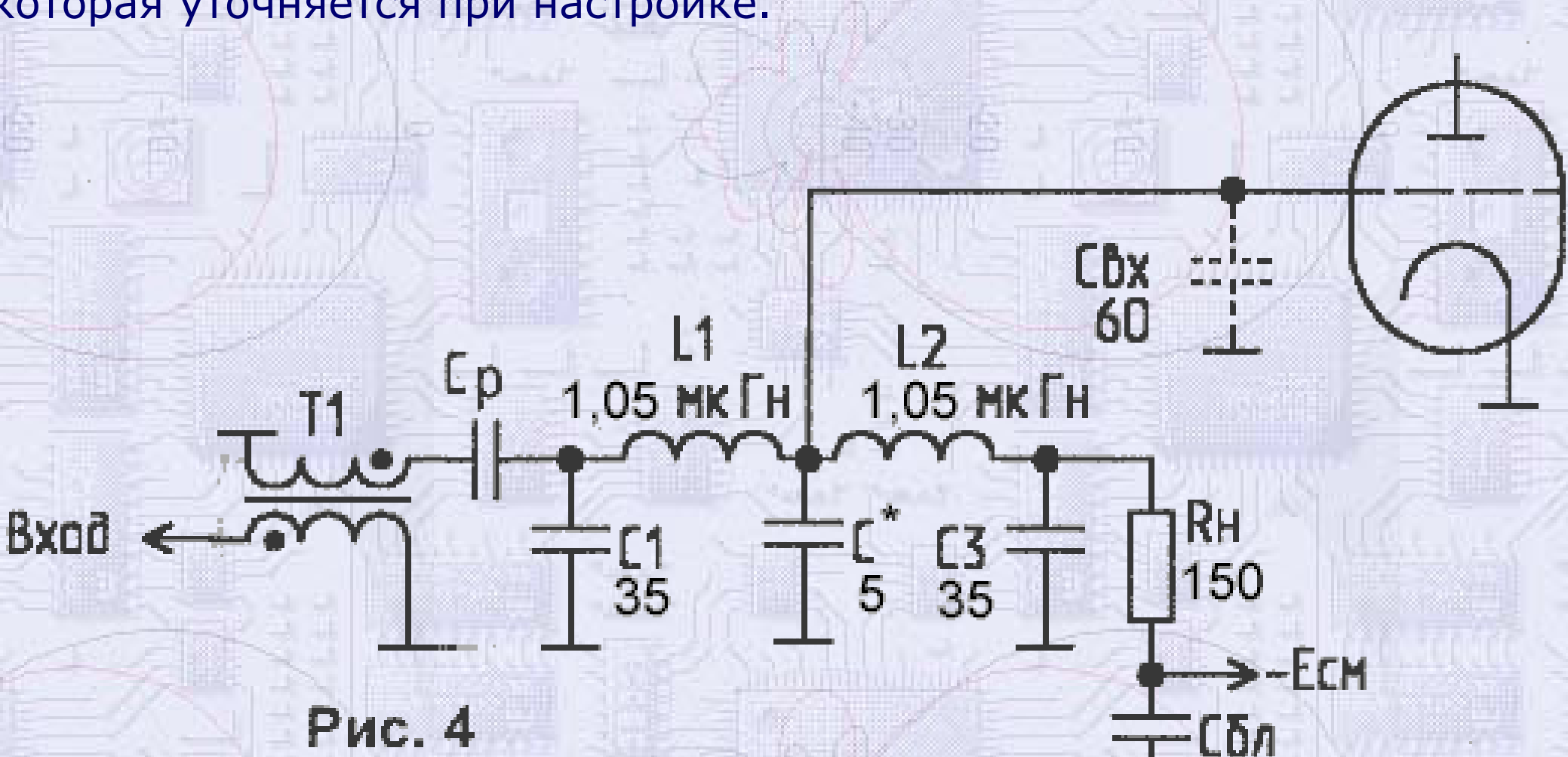


Рис. 4

2. Лампа ГУ43Б. Входная ёмкость 100 pF. Из таблицы выбираем R = 100 Ohm. Амплитуда возбуждения ГУ43Б— 45 V. R = 100 Ohm выделяется 10 Wt (против 20 Wt в [1]). На входе фильтра включается трансформатор 1:2 (аналогичный описанному в [1]).

Фильтр и Rn располагают в экранированной коробке, L1 и L2 должны быть разнесены, и их оси должны быть взаимно перпендикулярны. При настройке фильтра растяжением/сжатием витков L1 и L2 добиваются максимальной равномерности частотной характеристики в рабочей полосе.

Следует иметь в виду, что в данной схеме сетка лампы "видит" активный импеданс резистора нагрузки, только в полосе пропускания фильтра (то есть до 30 MHz). На более же высоких частотах сетка нагружена на индуктивное сопротивление катушек, что при неудачном монтаже РА может привести к самовозбуждению на VHF. Для устранения этого (кроме рационального монтажа конечно) желательно иметь C2 несколько выше входной ёмкости лампы, с тем, чтобы недостающую ёмкость добавить небольшим конденсатором, включенным между сеткой и катодом, который на VHF сыграет роль блокировочного.

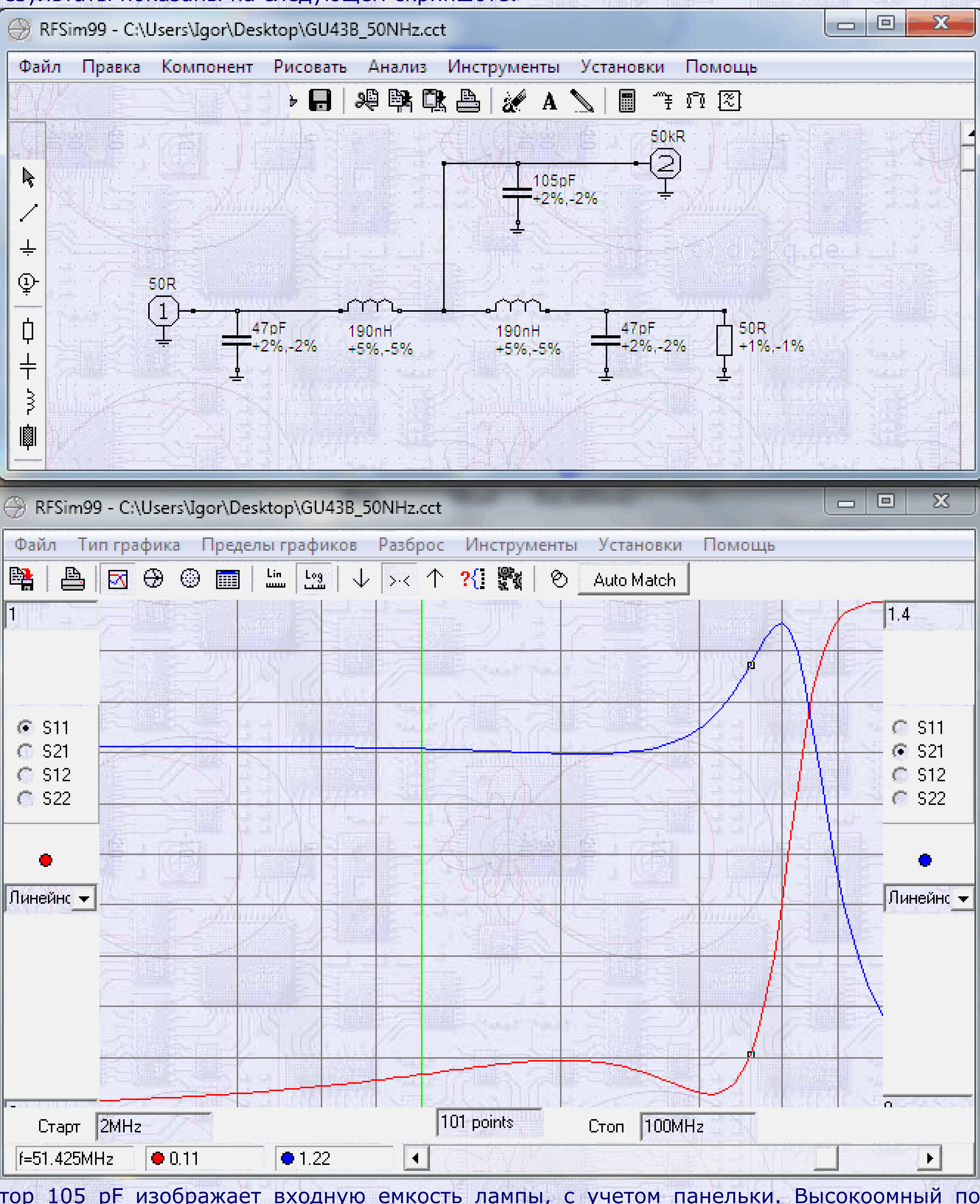
Для ламп с входной емкостью менее 50 pF (ГУ80, ГУ72, 2хГУ50 и т.д.) удобно использовать значения R = 200 Ohm и трансформатор 1:4 на входе, а если ёмкость меньше 20 пФ – то R = 450 Ohm и трансформатор 1:9 на входе. Такие трансформаторы увеличивают амплитуду возбуждения вдвое и втрое соответственно, и заметно снижают необходимую входную мощность.

Такую же цепь (при R = 50 (75) Ohm) можно использовать и для компенсации входной емкости мощных полевых транзисторов КП904, КП913 и т.п.

Добавка 16.03.2020

Сохраню сюда, в качестве записной книжки, готовую конструкцию доработки входа РА на лампе ГУ-43Б с целью добавки в усилитель диапазона 50 МГц.

Схема и результаты показаны на следующем скриншоте:



Конденсатор 105 pF изображает входную емкость лампы, с учетом панельки. Высокоомный порт 2 – сетку лампы без сеточных токов.

Обе катушки бескаркасные, из провода 1 мм, по 6 витков на оправке 8 мм с небольшим шагом. расположены перпендикулярно друг другу. Растяжением - сжатием их витков устанавливается минимум КСВ в диапазоне 50 МГц.

Конденсаторы по 47 pF старые, керамическим трубчатые. Они должны быть способны выдерживать 50 В ВЧ напряжения.

[Файл модели](#) обещает КСВ не выше 1,2 до 51 МГц включительно.

На практике КСВ не превышает 1,1 ниже 29 МГц и поднимается до 1,6 на 50 МГц. Меня (и трансивер) это вполне устроило. При входной мощности 25 Вт достигается анодный ток 0,9 А.

Литература

1. Беспалый А., Прохоров С. Применение в выходном каскаде усилителя ламп с высокой крутизной. — Радиолобитель, 1995, N9. С.28-29.

[На главную - Main page](#)