

Гибридный телефонный усилитель на лампе 6НЗП

Параметры некоторых триодов приведены в таблице.

Основные параметры некоторых триодов малой и средней мощности*

Таблица 4.1

Тип лампы	$I_A, \text{мА}$	$U_A, \text{В}$	$R_i, \text{кОм}$	$S, \text{мА/В}$	μ $\mu = SR_i$	Предельные значения		
						$I_A^{\max}, \text{мА}$	$U_A^{\max}, \text{В}$	$P_A^{\max}, \text{Вт}$
Пальчиковые 9-штырьковые, двойные триоды								
12AX7, ECC83	0,5	100	80	1,25	100	8	300	1
	1,2	250	62,5	1,6	100			
6Н2П	2	250	45	2,2	100	10	300	1
6Н1П	5	125	8	4,5	36	25	300	2,2
6Н3П	8,5	150	6	5,9	36	18	300	1,8
ECC85	10	250	9,5	6	57	15	300	2,5
6Н23П (6DJ8, ECC88, E88CC)	15	100	2,9	12,5	34	20	250	1,8
6Н6П	30	120	1,8	11	20	45	300	4
Лампы с октальным цоколем								
6Г2	1,1	250	91	1,1	100	-	330	1
6Н9С (6SL7)	2,5	250	44	1,6	70	-	275	1,1
6Н8С (6SN7)	10	250	7,7	2,6	20	20	330	2,75
6С2С	10	250	7,7	2,6	20	20	330	2,75

В таблице выделены параметры наиболее популярных триодов. Предпочтение было отдано триоду 6НЗП так как у него выше крутизна примерно в 2 раза, а значит будет выше и петлевое усиление примерно на 5...6 дБ.

Для начала рассмотрим ВАХ лампы 6НЗП и ее нагрузочную линию, рис. 1.

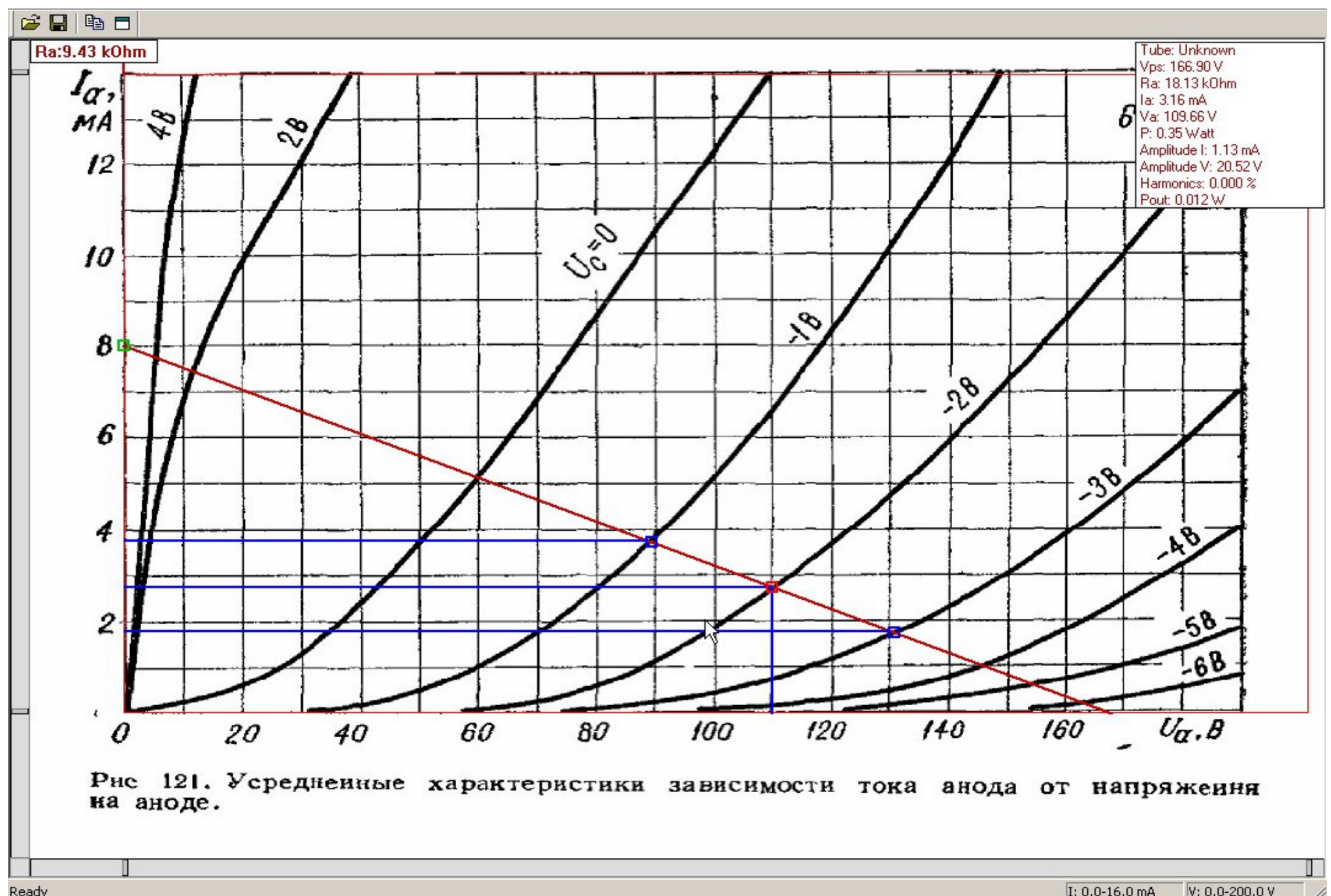


Рис. 1

При напряжении на сетке -2 В и напряжении на аноде 110 В получается достаточно линейный участок в обе стороны для усиления сигналов с выходным напряжением 40 В (от пика до пика). Для ушного усилителя требуется

амплитуда в пять раз меньше.

Для повышения коэффициента усиления в качестве нагрузки применим ГСТ. В качестве ВК используем повторитель Уайата на ПТ с питанием 50 В. Чтобы не использовать переходной конденсатор между УН и ВК используем схему сдвига уровня на стабилитронах. Усилитель в целом (в том числе и выходной конденсатор) охвачен неглубокой параллельной ООС. Диаграмма Бode приведена на рис. 2.

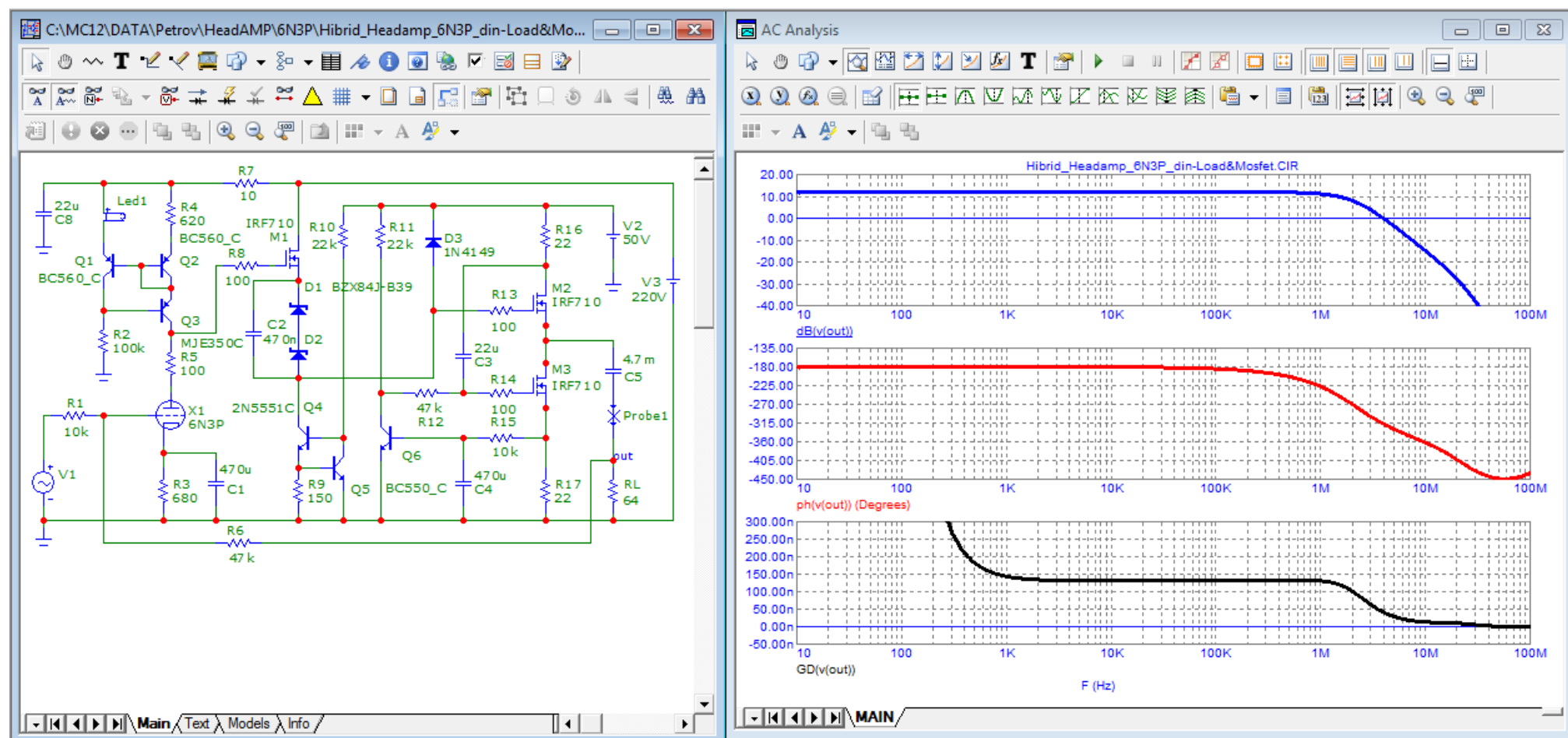


Рис. 2

Время задержки прохождения сигнала постоянно до частоты 1 МГц и даже выше и составляет 128 нс. График петлевого усиления показан на рис. 3

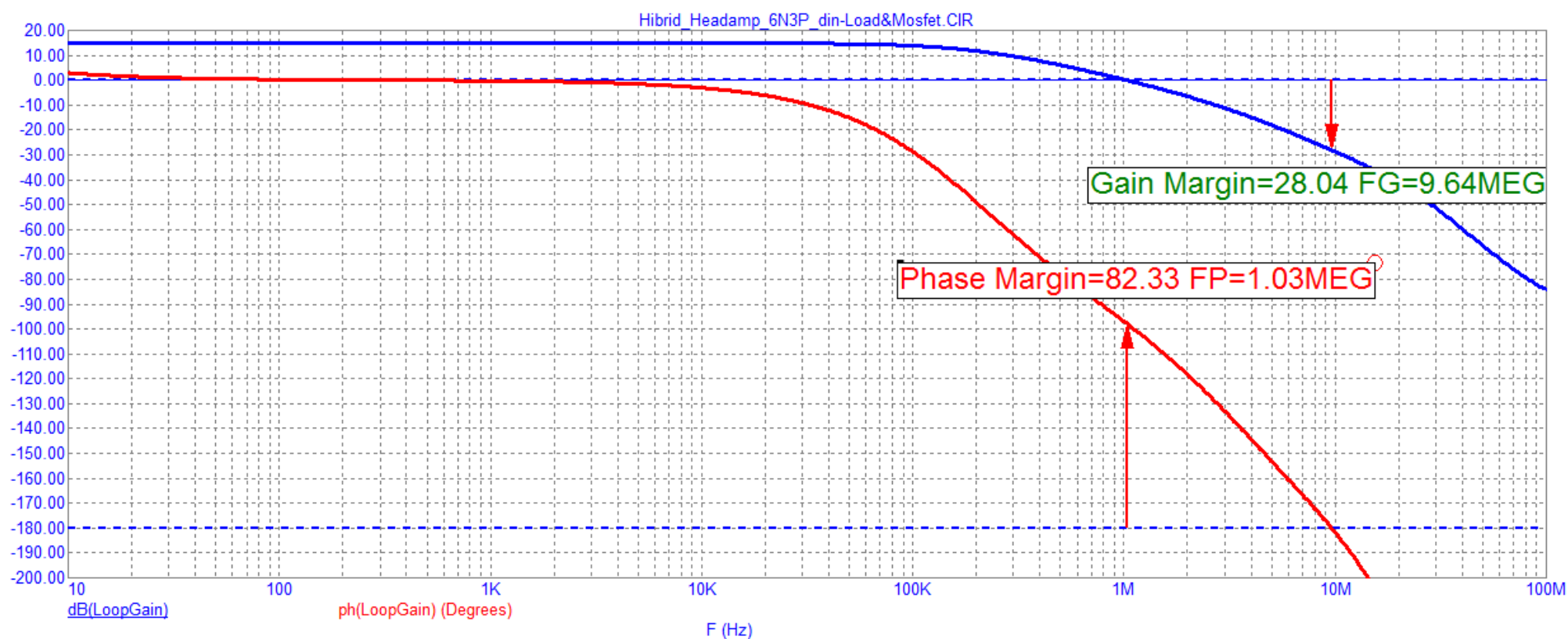


Рис. 3

Из графика петлевого усиления видно что петлевое усиление невелико и равно всего 15 дБ, запас по фазе составляет 82 градуса, запас по усилению 28 дБ, первый полюс находится чуть ниже 200 кГц! что гарантирует постоянство выходного сопротивления во всем звуковом диапазоне.

Продукты искажений сигнала частотой 10 кГц показаны на рис. 4

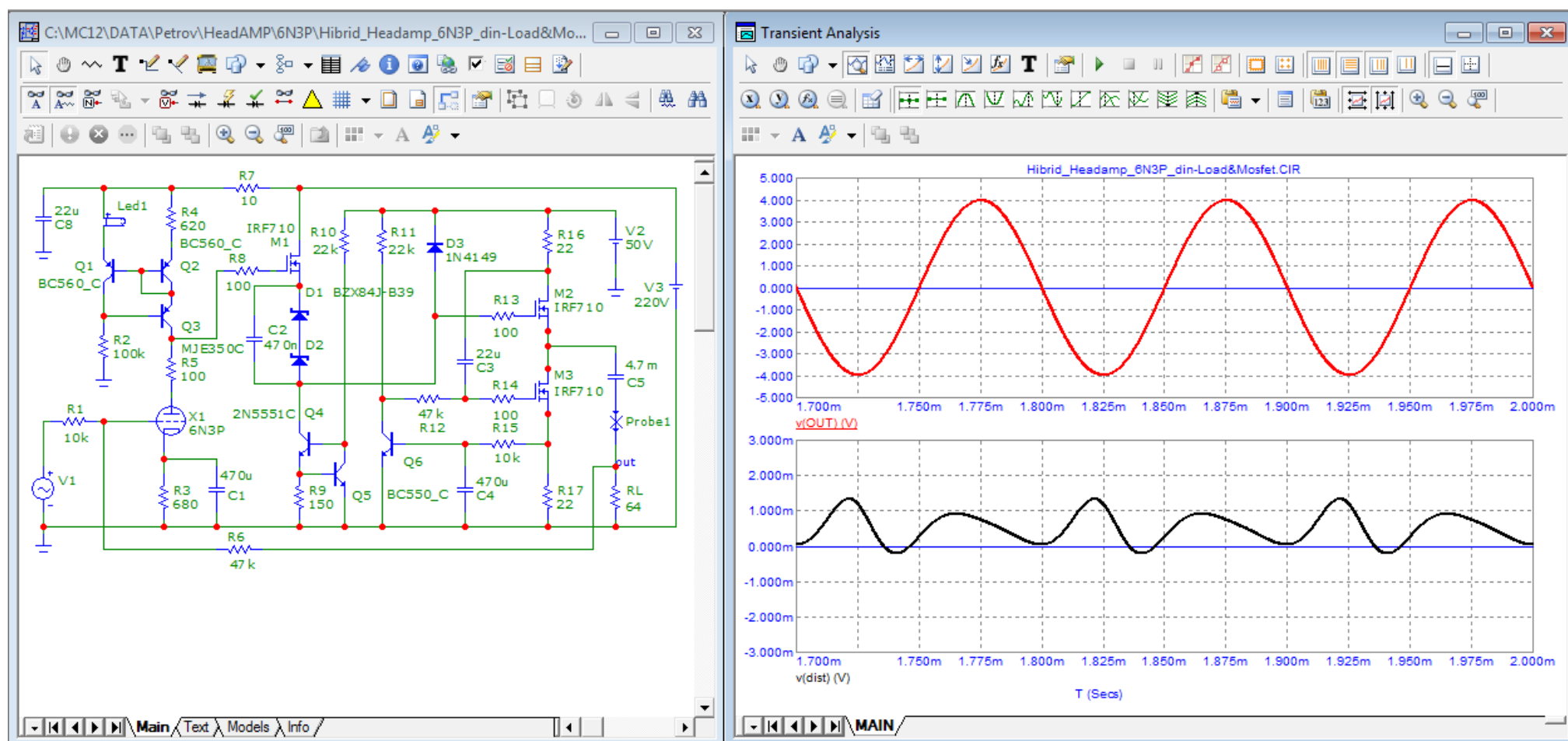


Рис. 4

Так как ВК большую часть работает в классе А (ток покоя равен 50 мА, выставляют подбором резистора R17), то коммутационные искажения не возникают. В продуктах искажений преобладает 2-я гармоника. Измерим спектр на нагрузке 64 Ома на частоте 20 Гц, рис. 5

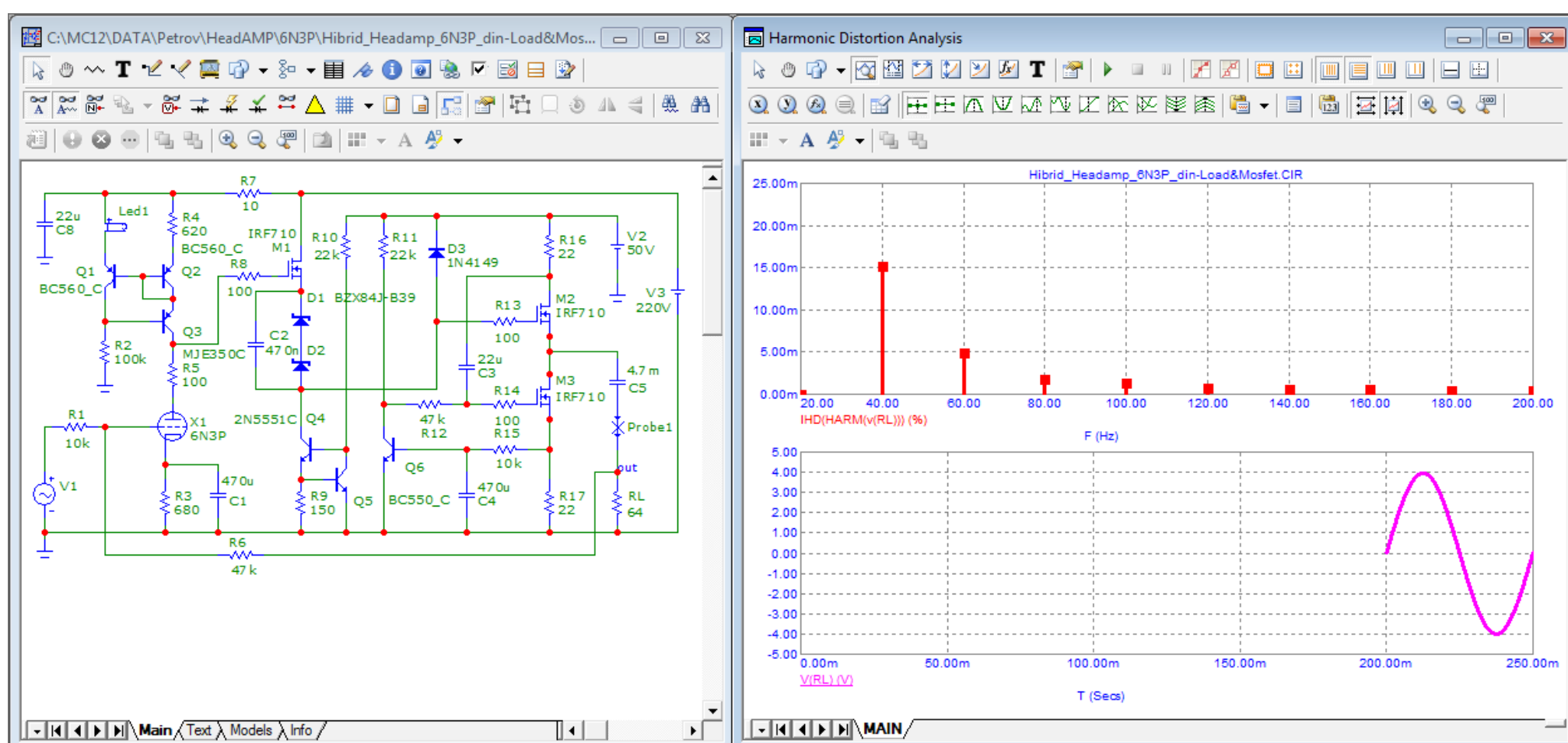


Рис. 5

Спектр на частоте 20 кГц показан на рис. 6

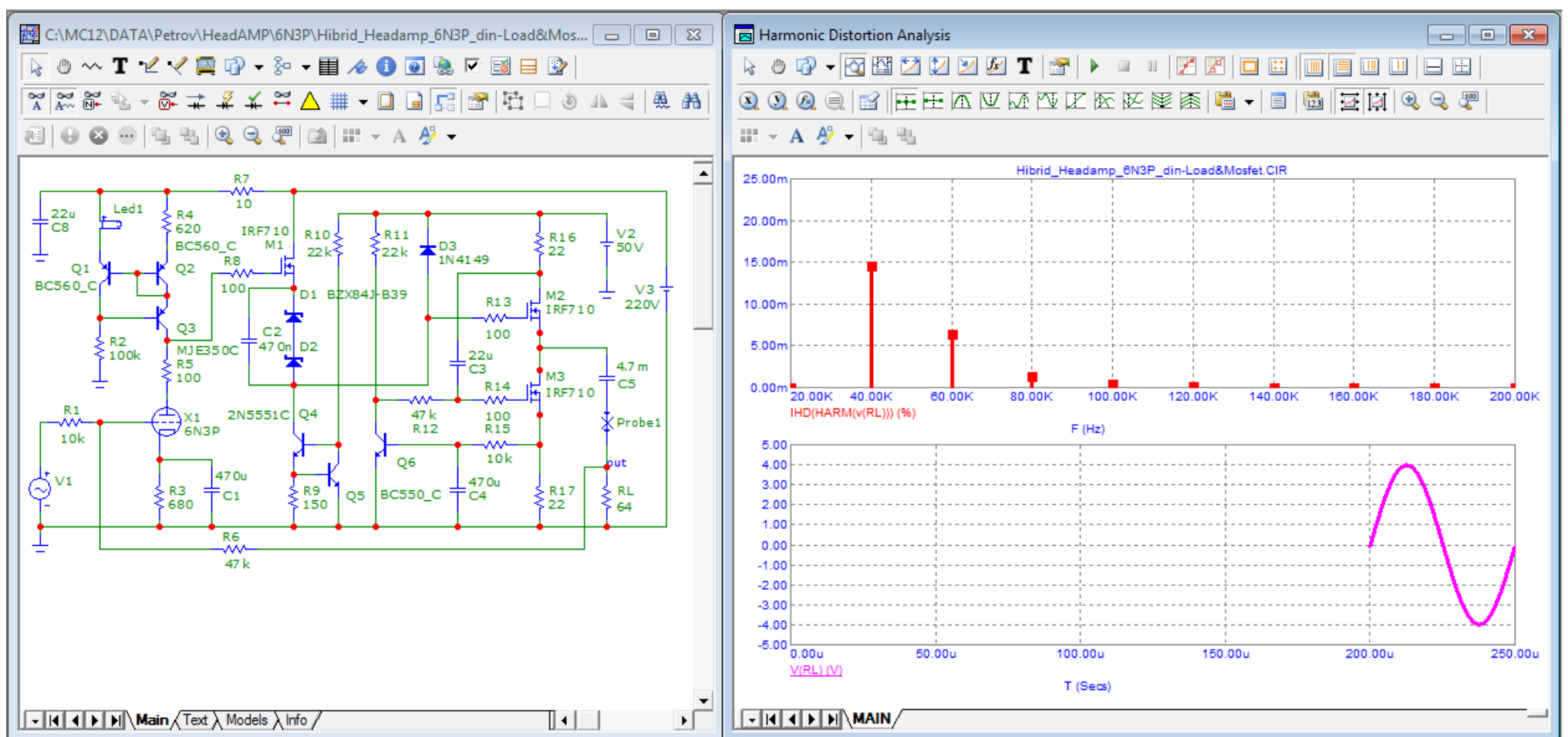


Рис. 6

Надо полагать что и на остальных частотах звукового диапазона будет такой же характер спектров. Это очень важно для качественного звукоусиления, на это обращал особое внимание Владимир Лэмм.

Примечание. Эксперты пришли к парадоксальному открытию, что однотактный выходной каскад на триоде настолько плох, что чрезвычайно хорош: высокий уровень второй гармоники в спектре триодного «однотактника» маскирует наличие в спектре третьей, т.к. человеческое ухо лучше слышит чётные гармоники. Из-за наличия в спектре чётных гармоник звук кажется мягче и объёмней.

Вот и в этом усилителе преобладает в основном 2-я гармоника.

Измерим интермодуляционные искажения на нагрузке 64 Ома на частотах 19 и 20 кГц, рис.7

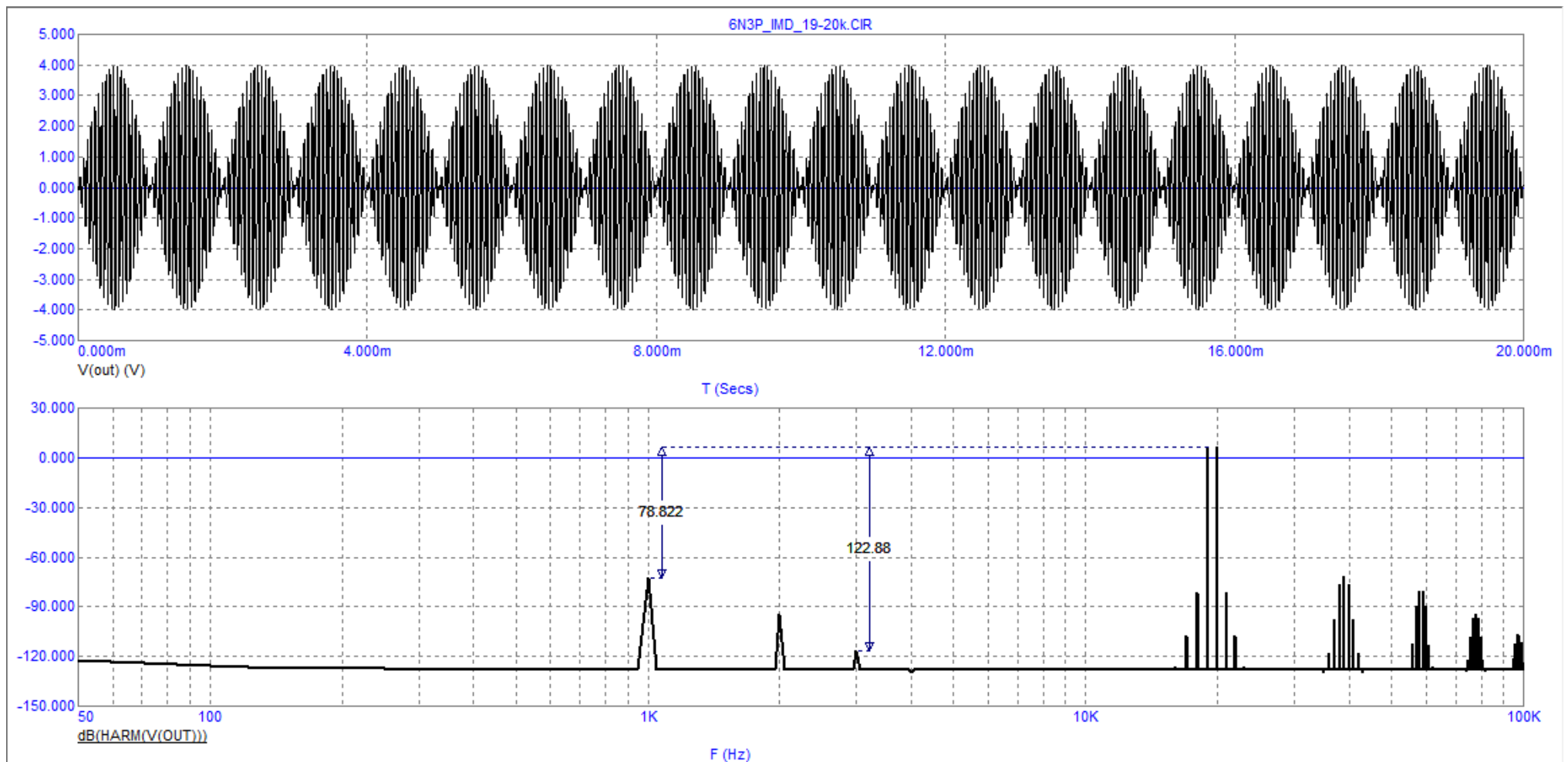


Рис. 7

В области наибольшей чувствительности слуха 3...5 кГц уровень продуктов искажений ниже -120 дБ!

Измерим зависимость Кг от частоты, рис. 8

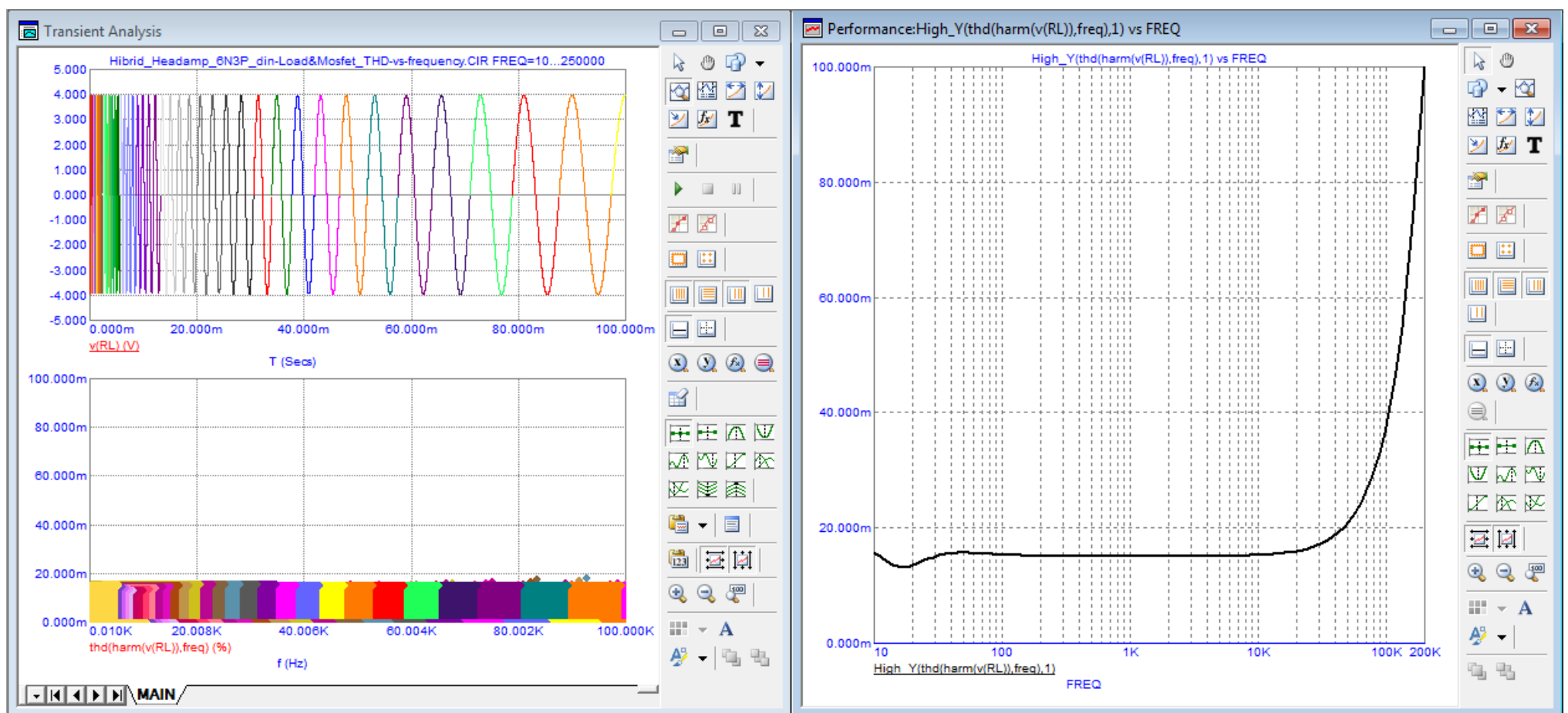


Рис. 8

Постоянство K_g в звуковом диапазоне подтверждает и этот тест. Ранее было показано что спектр искажений спадающий с преобладанием 2-й гармоники, именно она и определяет уровень K_g .

Дополнительно проведем пару тестов на нагрузке 250 Ом.

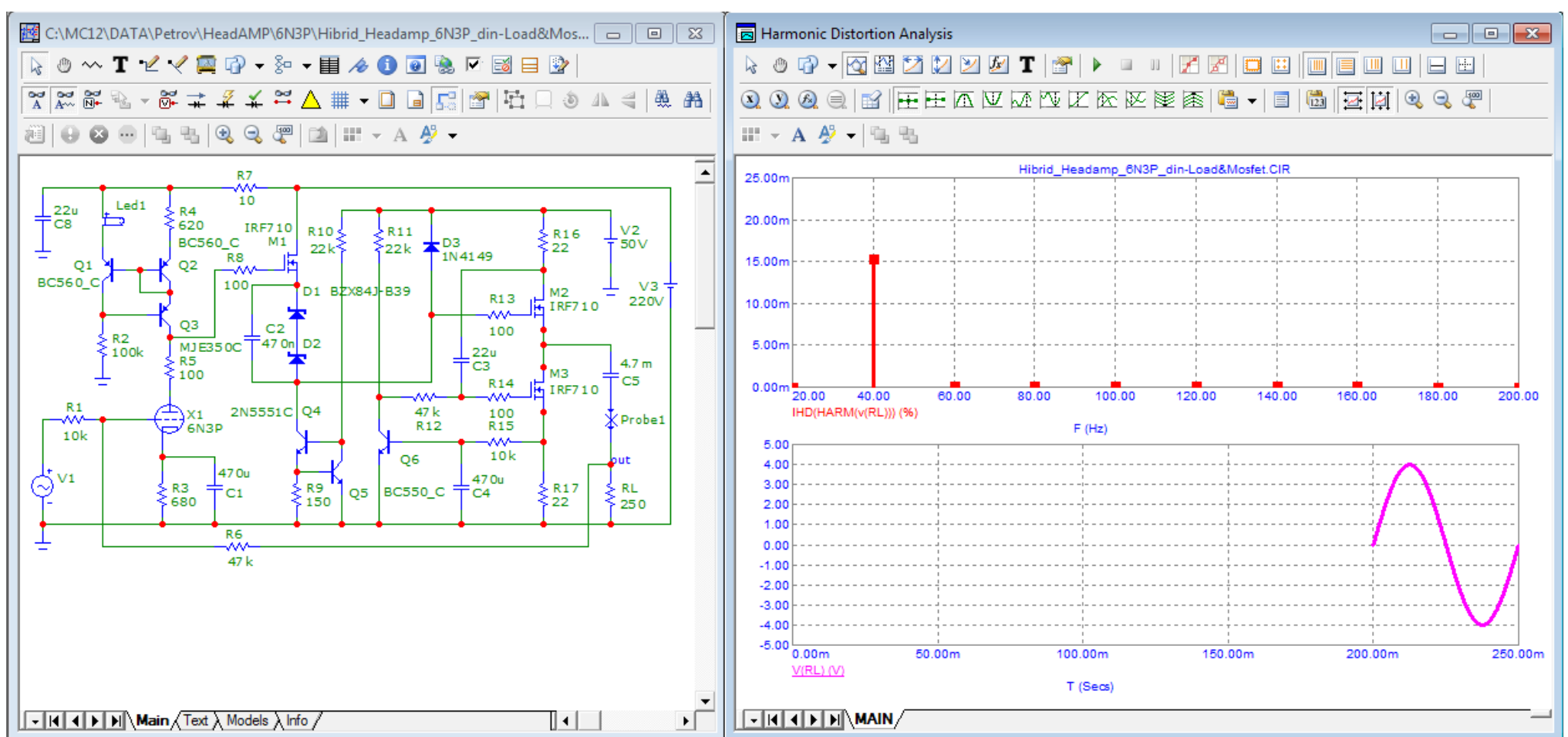


Рис. 9. Спектр продуктов искажений на частоте 20 Гц

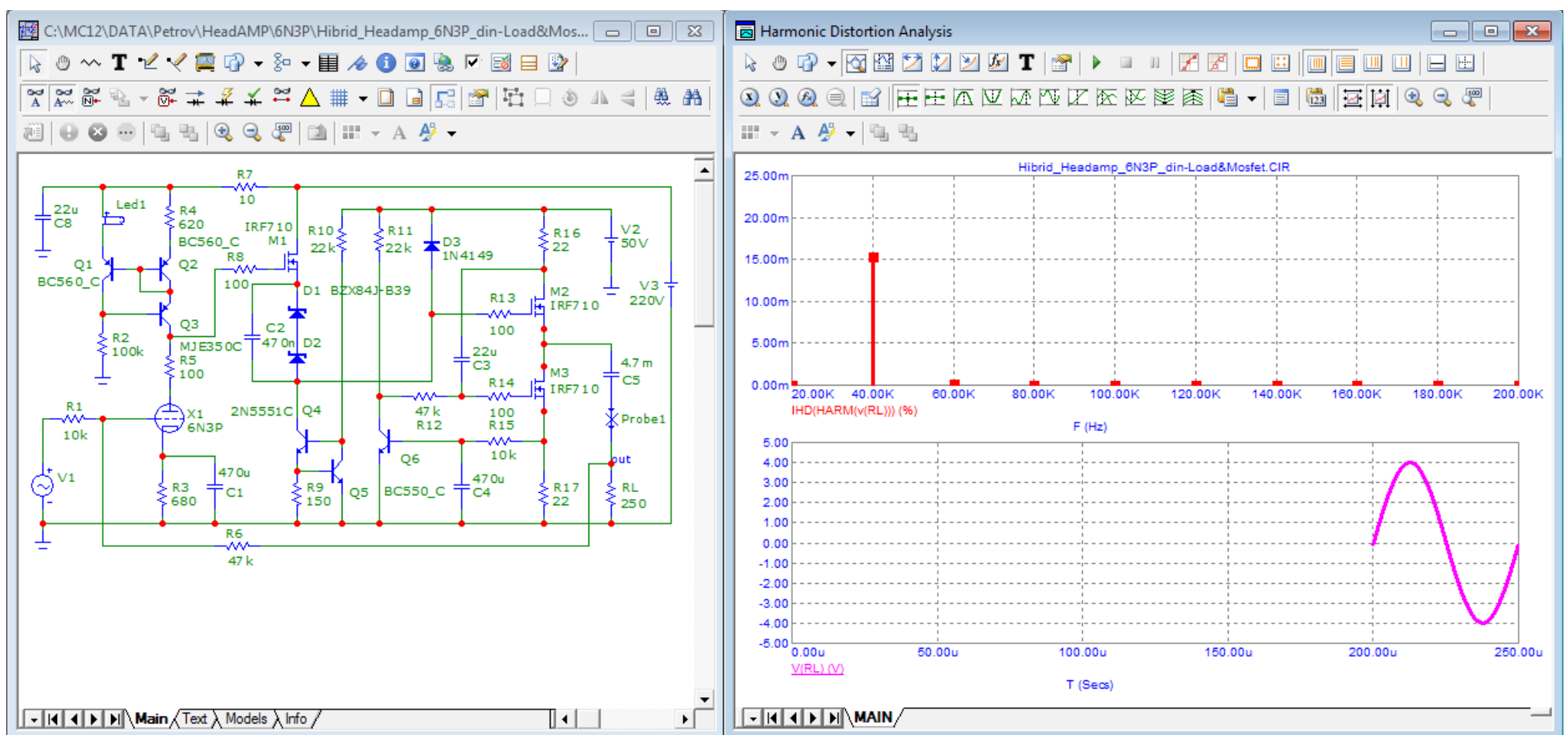


Рис. 10. Спектр продуктов искажений на частоте 20 кГц

На нагрузке 250 Ом спектр короче, уровни высших гармоник ничтожно малы, а уровень 2-й гармоники такой же как и на нагрузке 64 Ома что также очень важно (опять же из выводов Lamm).

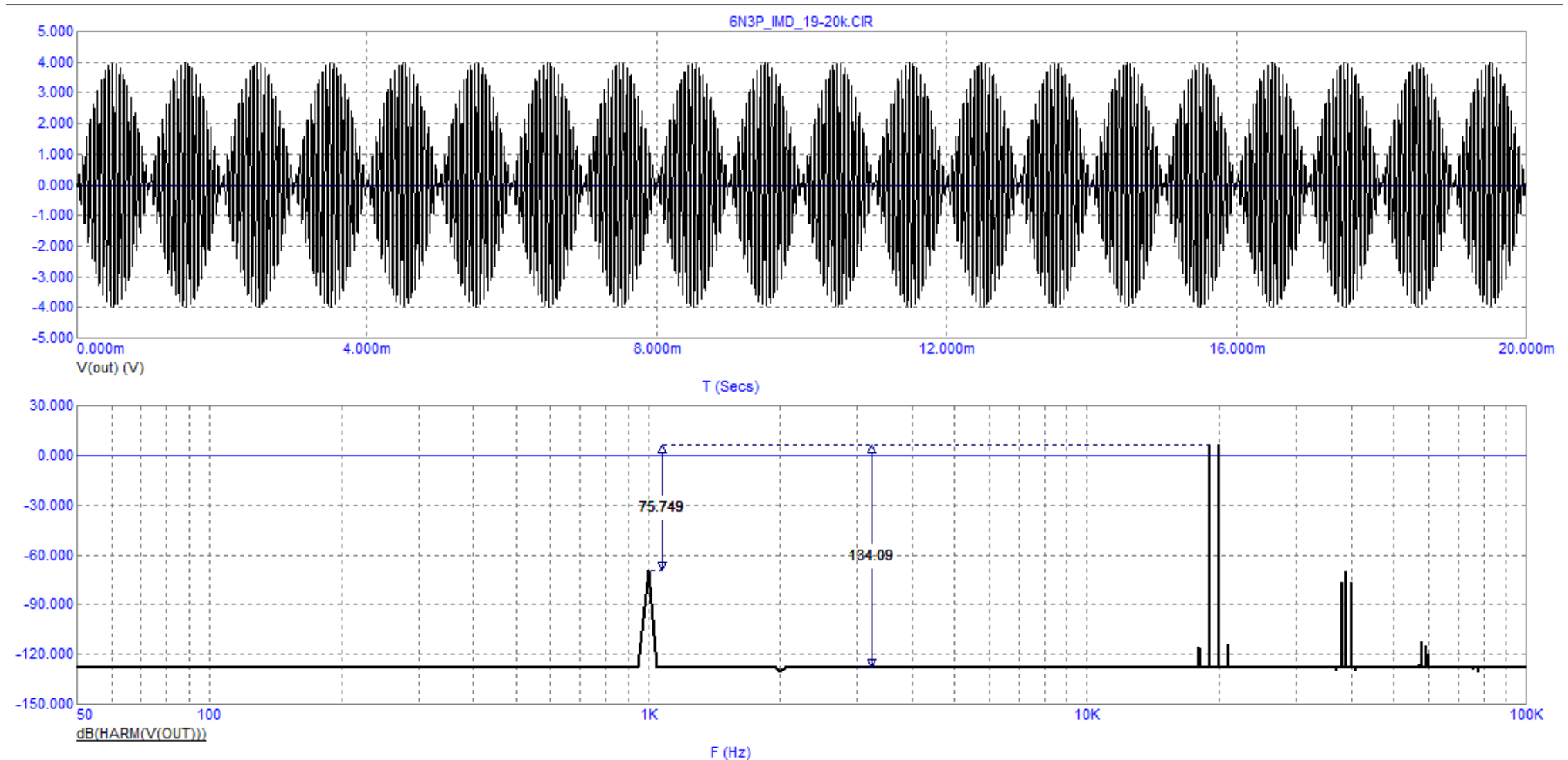


Рис. 11. ИМИ на нагрузке 250 Ом на частотах 19 и 20 кГц.

На нагрузке 250 Ом интермоды в звуковой полосе отсутствуют вовсе (кроме разностного сигнала 1 кГц уровнем -76 дБ).

На полевых транзисторах рассеивается мощность около 1 Вт, поэтому должны быть снабжены небольшими теплоотводами.

И наконец тест SWDT Хафлера (рис. 12) совмещенный с компенсационным методом измерения продуктов искажений на частоте 10 кГц (для сравнения см. продукты искажений полученные с помощью режекторного фильтра рис. 4).

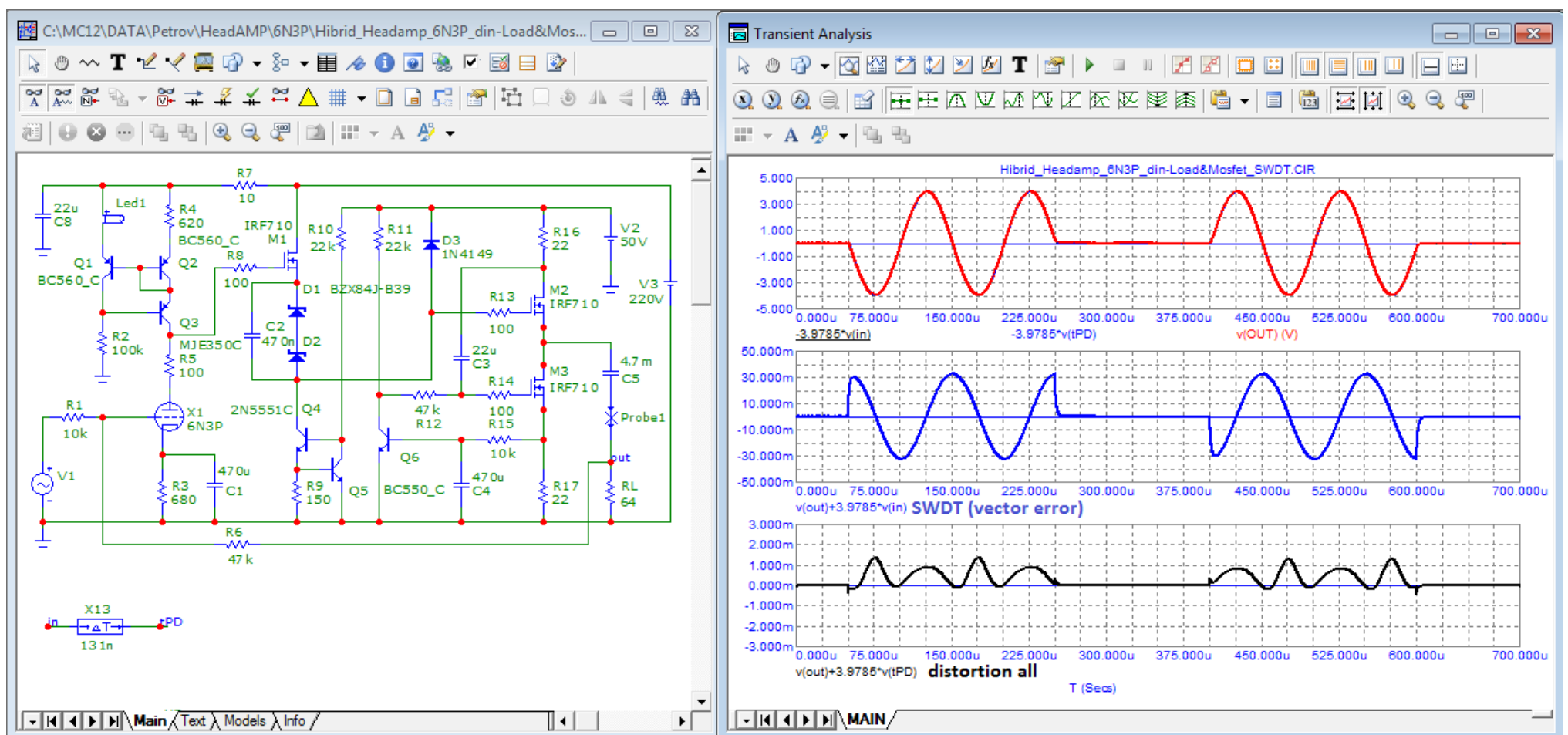


Рис. 12

Продукты искажений практически полностью совпадают с продуктами искажений на выходе режекторного фильтра (рис. 4). Несмотря на сравнительно большое время задержки прохождения сигнала равное 131 нс динамические искажения в начале и конце бурстов, а также искажения памяти (смещение продуктов искажений) ничтожно малы. В продуктах искажений в основном одна 2-я гармоника небольшого уровня, высших гармоник и коммутационных искажений не наблюдается!

Для нормальной работы на нагрузке 32 Ома следует увеличить ток покоя ВК примерно до 75 мА уменьшив резисторы R16, R17 до 12...15 Ом.

В качестве лампы можно использовать и лампу 6Н23П

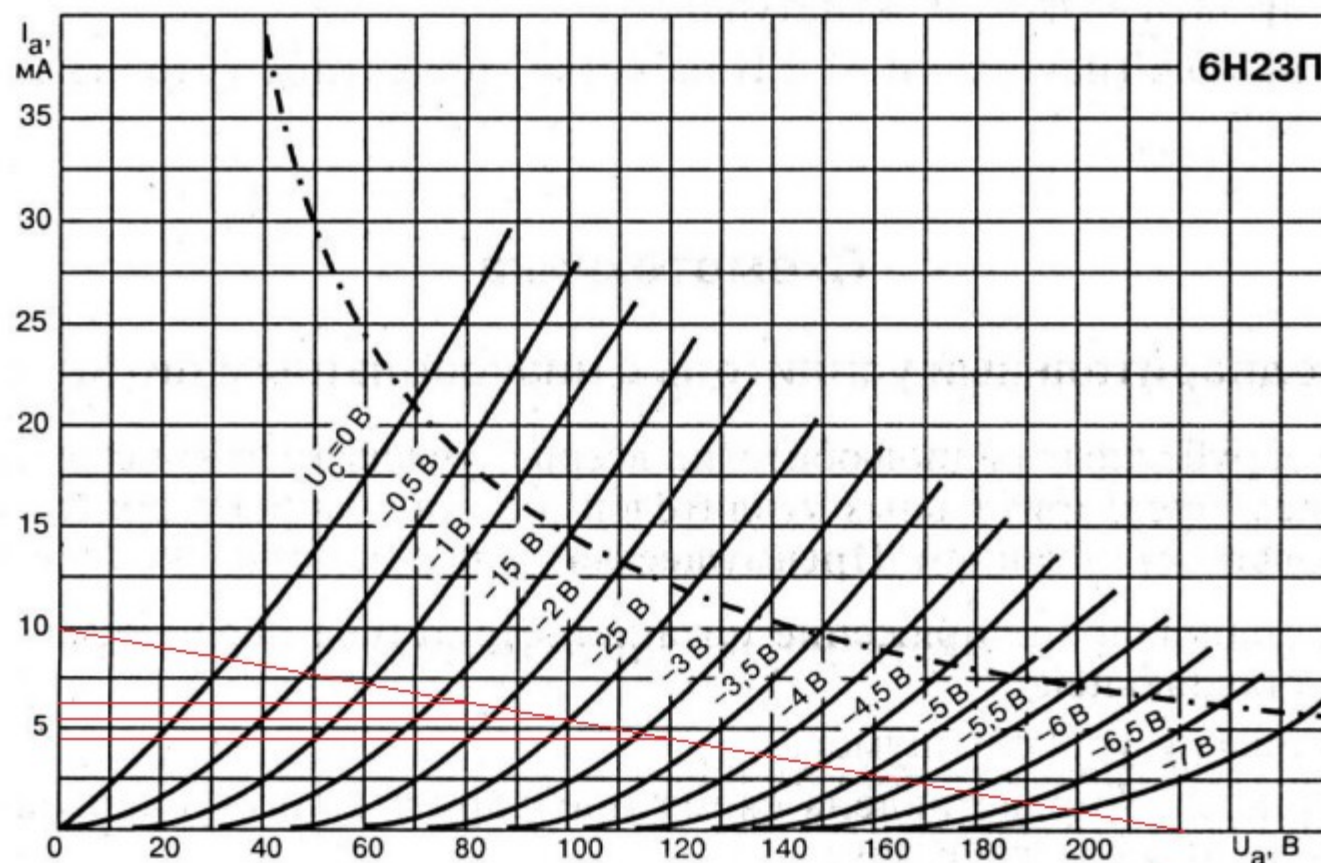


Рис. 13. ВАХ лампы 6Н23П

Сохраняя напряжение питания от предыдущей схемы и выбрав напряжение на аноде равным 100 В придется увеличить ток анода лампы почти вдвое, рис. 14. Основные параметры примерно такие же как на лампе 6НЗП.

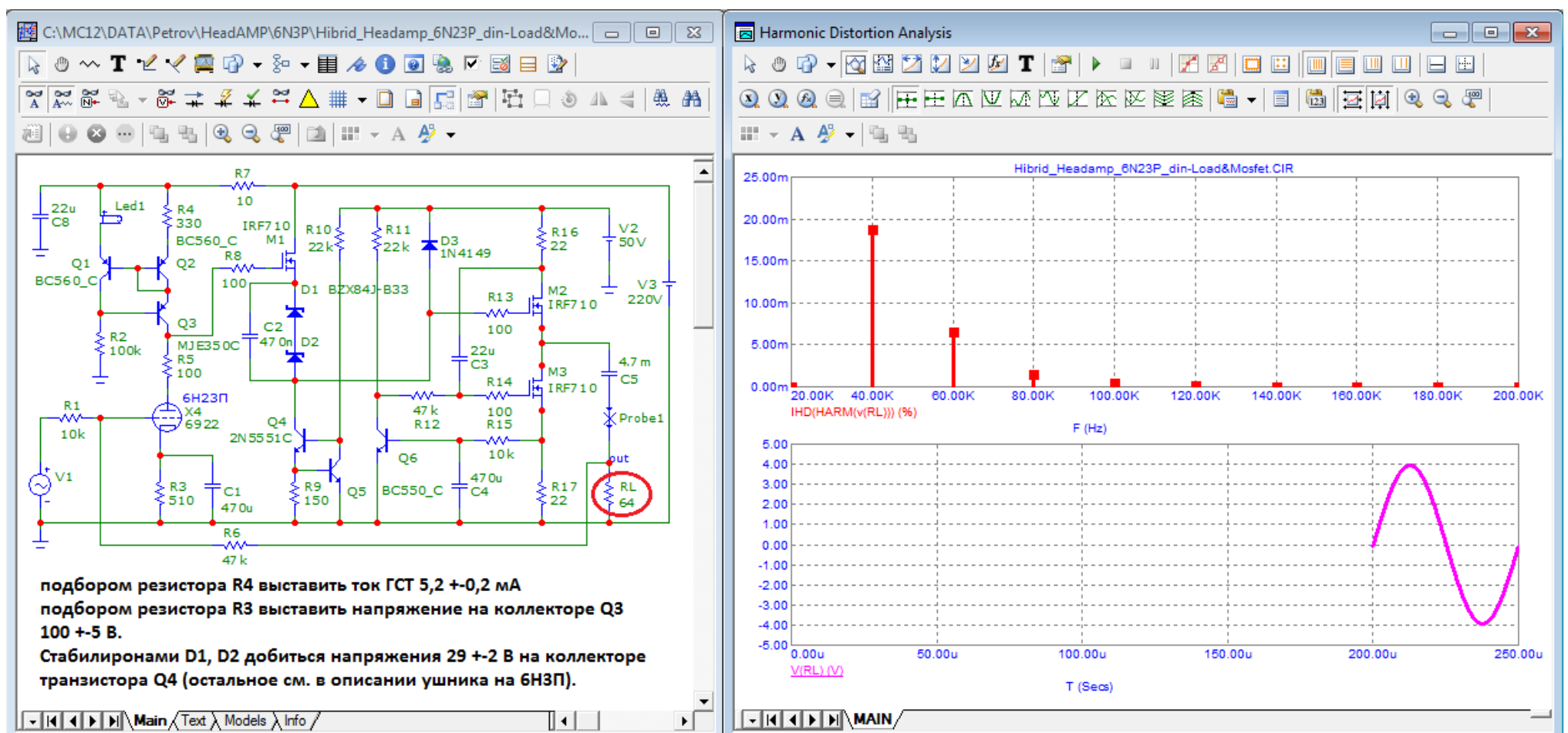


Рис. 14

Краткий анализ провел

Александр Петров

5 июля 2023 года