

# ШУМ ВХОДНОГО КАСКАДА

*Евгений Карпов*

Приведены экспериментальные данные по шумовым характеристикам резистивного каскада при использовании разных типов ламп.

Одним из основных вопросов при проектировании корректоров (что меня в основном и интересовало) и микрофонных усилителей является обеспечение малого уровня их собственных шумов. В общем, рекомендации по минимизации уровня шумов - общеизвестны. Более внимательное прочтение современных публикации на эту тему количество вопросов только увеличило, да и появились некоторые сомнения в справедливости некоторых утверждений. Нет смысла задерживаться на моих сомнениях, но интересно отметить другое. Возникло устойчивое впечатление, что существует некий первоисточник, расположенный где-то в глубине времен, и по мере отдаления от него объективность информации потихоньку уменьшалась (энтропия неумолимо росла). В итоге, остались общие рассуждения и оценки на глазок. *Попутно из той горы литературы, что я просмотрел, хочу отметить две книги. Наиболее внятные практические рекомендации приведены в книге – Valve Amplifier (Morgan Jones, третье издание), а теоретические вопросы наиболее обстоятельно рассмотрены в книге – Ламповые Усилители том 2 (под редакцией В.И. Сушкевича).*

В общем, я решил кое-что для себя уточнить. Интересовало меня не столько шумовое сопротивление самой лампы, сколько шум всего каскада. Сделать это оказалось не так просто. Пришлось подыскивать нужное оборудование, сделать специальный источник с очень низким уровнем шумов (источник анодного напряжения имеет шум и пульсации не более  $200\mu\text{V}$ , источник накала – не более  $500\mu\text{V}$ ) и соорудить тщательно экранированную коробку для размещения испытуемого каскада.

Для испытаний я взял не только типы ламп, которые по определению малошумящие, но и распространенные типы ламп широкого применения. Триоды включались по схеме, показанной на рисунке 1, пентоды – по схеме, показанной на рисунке 2.

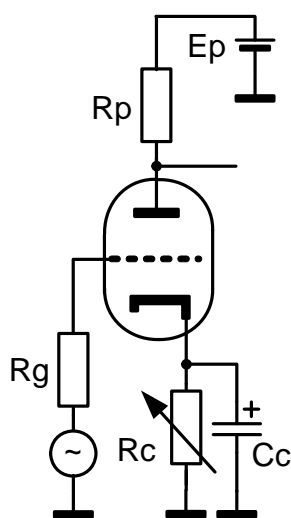


Рисунок 1

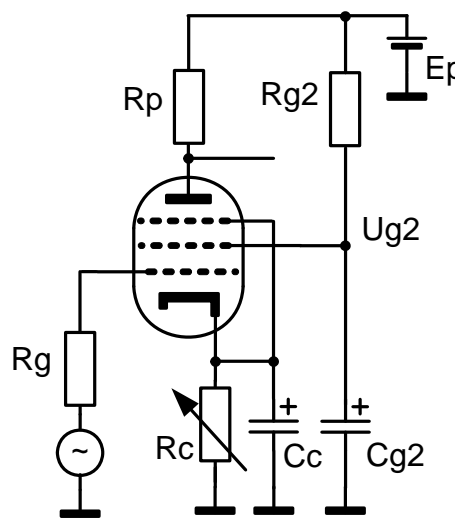


Рисунок 2

Все испытуемые лампы были новыми и тренированными в течение часа при большем токе анода. Испытания проводились в одинаковых условиях: напряжение анодного питания ( $E_p$ ) -  $240\text{V}$ , напряжение накала  $6.3\text{V}$ , сопротивление источника сигнала ( $R_g$ ) –  $600\ \Omega$ , катодная емкость ( $C_c$ ) -  $2200\mu\text{F}$ , шунтирующая емкость экранирующей сетки ( $C_{g2}$ ) -  $100\mu\text{F}$ . Использовались емкости серии EB (Panasonic), подстроечный резистор СП5-3, резисторы – С5-37 и БЛП.

Для измерения коэффициента усиления каскад возбуждался напряжением  $5\text{mV}$  с частотой  $1\text{kHz}$ , при этом же входном напряжении измерялся и уровень гармоник. Режим работы лампы устанавливался, исходя из следующих соображений.

Во-первых, для получения низкого уровня шумов выбиралось: напряжение на первой сетке в районе -1 вольта, относительно низкое напряжение на аноде и второй сетке, большой ток катода. Во-вторых, режим лампы должен был обеспечивать приемлемую линейность каскада при перегрузке порядка +40dB. Требования, в общем, противоречивые, так что выбирался некоторый компромисс с уклоном в сторону минимальных шумов.

Теперь несколько слов о методике проведения самих измерений. Измерения разбивались на два этапа. Для установки режима лампы с помощью спектроанализатора контролировался характер и уровень шумовой дорожки (в диапазоне 20Hz÷20kHz) и уровень искажений при перегрузке. Когда режим мне казался удовлетворительным, проводились измерения уровня шума в двух точках – на частоте 20Hz и 1kHz. Измерения проводились селективным вольтметром в полосе 3Hz со временем усреднения 300mS. Насмотревшись на шумовые дорожки (очень похожие друг на друга), я пришел к выводу, что эти две точки достаточны для оценки уровня шума каскада (для использования в звуковых устройствах).

Результаты измерений приведены в таблице. В таблице приняты следующие обозначения –

- $I_p$  – ток анода,
- $R_p$  – сопротивление анодного резистора,
- $U_{g2}$  – напряжение на второй сетке,
- $K$  - коэффициент усиления каскада,
- $U_{h_{20}}$  - абсолютное значение уровня шума на частоте 20Hz,
- $U_{h_{1000}}$  - абсолютное значение уровня шума на частоте 1000Hz,
- $U_{20}$  - приведенный ко входу уровень шума на частоте 20Hz,
- $U_{1000}$  - приведенный ко входу уровень шума на частоте 1000Hz,
- $H_2$  - уровень второй гармоники,
- $H_3$  - уровень третьей гармоники.

Тип лампы	$I_p$ (mA)	$R_p$ (kΩ)	$U_{g2}$ (V)	$K$	$U_{h_{20}}$ (μV)	$U_{h_{1000}}$ (μV)	$U_{20}$ (nV)	$U_{1000}$ (nV)	$H_2$ (dB)	$H_3$ (dB)
6Ж32П	4,3	16	150	33	5,48	1,7	166	51	-66	-
6Ж38П	17	8	100	80	6,7	1,93	83	24	-75	-79
6Ж51П	9	6,8	180	98	3,9	1,35	39,7	13,7	-54	-
6Ж52П	40	2,4	150	88	3	1,1	34	12,5	-55	-88
6Ж52П	19	4,7	150	140	3,7	2,1	26,4	15	-57	-85
6С3П	16.2	8	-	31	1,55	0,52	50	16,7	-	-
6С15П	35	3,4	-	34	4,25	0,7	125	20	-74	-
6С45П	33	4,3	-	31	1,9	0,43	61	13,8	-81	-
6Н1П	9	13	-	23	3,6	1,29	156	56	-78	-
6Н2П	2,5	24	-	36	19	1,2	527	33,3	-66	-
6Н23П	11	13	-	27	1,38	0,47	51	17,4	-76	-85
6Ж38П	21,5	6,5	-	25	3,64	0,51	145	20,4	-82	-
6Ф12П	7,7	8,2	-	47	3.42	3,1	72	65	-61	-

Из полученных результатов уже можно делать некоторые выводы.

- Шум лампы все-таки окрашен. У всех ламп явно выражен низкочастотный шум, связанный с эффектом мерцания катода. Уровень шума плавно спадает с увеличением частоты до 200÷300Hz (для большинства типов ламп), и в дальнейшем уже практически не изменяется. Поэтому опираться при подборе лампы в первый каскад исключительно на ее эквивалентное шумовое сопротивление, не совсем корректно. Особенно это важно для ламповых

корректоров, имеющих максимальное усиление именно в области низких частот. Характерный пример - лампа 6С15П, имеющая очень малый уровень шумов в области высоких частот (десятки мегагерц), и значительный низкочастотный шум (я проверил все имеющиеся под рукой пять ламп).

- Из выше сказанного можно сделать вывод, что встречающееся в литературе утверждение о пригодности практически любых ламп для корректоров – несколько преувеличено.
- Подбирать лампу в первые каскады надо не столько по ее шумовому сопротивлению, сколько по приведенному к входу каскада уровню шумов. Причем, именно в низкочастотной области.
- Пентоды с малыми шумовыми сопротивлениями вполне могут конкурировать с малошумящими триодами. Использование малошумящих пентодов делает вполне реальной возможность реализовать корректор, имеющий только один усилительный каскад. *(Например, один каскад с динамической нагрузкой на пентоде 6Ж52П имеет усиление около 1000 и по шумам мало уступает двухкаскадному усилителю на триодах 6С3П).*

В заключение, хочу заметить, что это небольшое исследование не претендует на абсолютную полноту и оптимальность выбора режима работы лампы (так как я подыскивал лампу для решения конкретной задачи и при наличии определенных технических ограничений). Соответственно, полученные результаты не есть истина в последней инстанции. Но, хотя изменение режима работы лампы и приводит к изменению шумовых характеристик каскада, эти изменения не столь значительны, чтобы нивелировать разницу между разными типами ламп.

Поэтому я и решил опубликовать полученные результаты, так как они дают возможность объективно оценить потенциальные шумовые характеристики каскада при использовании разных типов ламп. И надеюсь, что приведенные данные будут полезны любителям ламповой техники.