

Предлагаем уважаемой публике критерий оценки параметров триодных трансформаторных каскадах усиления, хорошо коррелирующий с «плотностью» звучания аппарата.

Всё изложенное ниже есть результат нашего скромного опыта, не претендующий на научный труд. Мы так слышим.

При изменении тока через лампу, на паразитных сопротивлениях первичной обмотки и емкостном сопротивлении конденсаторов БП синхронно изменяется анодное напряжение и соответственно происходит дополнительное изменение тока через лампу. **Чем меньше это дополнительное изменение по отношению к току покоя, тем лучше.**

Исходные формулы такие:

Сигнальный ток равен:

$$I_s = U * \sqrt{\left(\frac{1}{R_a}\right)^2 + \left(\frac{1}{2 * \pi * F * L}\right)^2}$$

где U амплитуда на первичной обмотке при номинальной мощности, Ra – приведенное сопротивление нагрузки, F – частота, при которой амплитуда сигнала НЧ максимальна, например 30Гц, и, соответственно, L – индуктивность первичной обмотки.

Дополнительное изменение анодного напряжения на сумме паразитных сопротивлений :

$$U_p = I_s * (r_1 + \frac{1}{2 * \pi * F * C})$$

где C емкость БП (или комплексное сопротивление БП на частоте F), r1 – сопротивление первичной обмотки (отсюда видно, что бороться надо одновременно, как за уменьшение сопротивление БП, о чём мы подробнее напишем в другой части, так и за уменьшение сопротивления первичной обмотки)

Паразитное изменение анодного тока из-за просадок анодного напряжения:

$$I_p = U_p / R_i$$

Отношение этих просадок к току покоя, т.е. Коэффициент (назовем его так:) «жидкости» (Кж):

$$I_p / I_o * 100\%$$

Для выходных каскадов Кж желательно иметь не более 5%, для драйверных не более 1% (в наших конструкциях наименьший полученный Кж= 0,64%, сейчас в разработках 0,34%).

В качестве примера берём трансформатор для 6Н30ДР (внутренне 1К, ток покоя 35мА, усиление 16, на сетке 3В амплитуды синуса 30Гц)

Диаметр	Витков	Ri ом	Io А	L Гн	r1 ом	U	Is	Up	Ip	%
0,57	3000	1000	0,035	17,34	51,25	48	0,0142	0,7298	0,0007	2,085
0,47	3648	1000	0,035	24,27	88,58	48	0,0102	0,9012	0,0009	2,575
0,38	4440	1000	0,035	33,38	160,23	48	0,0074	1,1852	0,0012	3,386
0,27	6024	1000	0,035	56,36	415,21	48	0,0044	1,8190	0,0018	5,197

(обратите внимание на амплитуду изменения тока - для первого случая это 40%, хотя малосигнальная полоса каскада получается достаточно низкой - 9,6Гц)

Индуктивность транс рассчитана с помощью программы Карпова TubeTransCalc.exe , сечение 16см<sup>2</sup>, железо Э320. В реальности, то железо что мы применяем, дает в 5 раз большую индуктивность, но тенденция будет понятна.

Для увеличения количества витков брался все более тонкий провод, количества секций не менялось – увеличивалось только количество витков в слое.

По результатам видно, что рост индуктивности отстает от роста сопротивления обмотки и всё больший ток теряет лампа. Это так же подтверждается формулами:

$$L = 10^{-7} * 4 * \pi * \mu * N^2 * S / l$$

а так как длина зазора равна  $l = N * I_0 / (B_0 * 795)$ , то после подставлений/сокращений получим:

$$L = \mu * S * N * B_0 / (1000 * I_0)$$

т.е индуктивность в трансформаторе с подмагничиванием **ЛИНЕЙНО** зависит от количества витков (т.к. приходится одновременно изменять зазор). А т.к. площадь окна для катушки ограничено, то активное сопротивление растёт почти в **КВАДРАТЕ**.

Изложенное выше показывает, что для улучшения «плотности» звучания трансформаторного каскада необходимо мотать минимальное кол-во витков, уменьшая тем самым сопротивление. Но это вступает в противоречие с ещё одним нашим постулатом. А именно – практическим (слуховым) критерием «хорошести» (Кх) звучания на СЧ. По этому критерию катушка трансформатора должна работать без сердечника, начиная с 350 – 400 Гц., что приводит к увеличению числа витков и соответственно активного сопротивления. Так же уменьшение числа витков не способствует снижению полосы на НЧ. Здесь мы в очередной раз упираемся в компромиссы, обойти которые простым и легким (в прямом и переносном смысле) путём не удастся. Для того, чтобы минимизировать сопротивление в катушке, работающей с 400Гц, надо брать провод с большим сечением. Т.е. катушка получается весьма большой и может быть использована только с большим сердечником, т.к. большой площади окна у маленьких сердечников, увы, не бывает. Для того, чтобы сердечник с большим сечением нормально работал на НЧ при малых амплитудах сигнала, необходимо применять лампы с большим анодным током, следовательно – с низким внутренним сопротивлением.

Если же отталкиваться от имеющегося сердечника, то необходимо для себя решить комплексную задачу сочетания применяемой лампы с «Кж», «Кх» и НЧ границы. Заметим, что в случае оптимального «Кх» вопрос с НЧ границей (но не со звучанием на НЧ!) снимается сам собой (малосигнальная полоса получается 2 – 6Гц)

Бдительный читатель может возразить, что лампа «видит» не только первичную обмотку и в формулу ещё необходимо включить приведенное сопротивление вторичной обмотки и реактивное первичной. Действительно, так и есть. Но мы здесь исходим из того, что активное сопротивление вторичной обмотки практически не влияет на звучание, в отличие от первичной. Кроме того, формулы, изложенные выше, не объясняют самого факта, т.е. почему активное сопротивление первичной обмотки **ТАК** влияет на звучание. Они лишь помогают облечь в математическую форму уже найденные и многократно подтверждённые эмпирические результаты в виде некоего коэффициента Кж.

Рабочий коллектив «НЭМ» с помощью некоторых формул, подсказанных А.Соколовым

Новосибирск, декабрь 2006г.