

РЕГУЛИРОВКА АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ЗВУКОСНИМАТЕЛЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОГИТАРЫ

Сенюткин П.А.

Сенюткин Петр Алексеевич – инженер-электрик, пенсионер, г. Глазов

Аннотация: рассмотрены амплитудно-частотные характеристики типичного электромагнитного звукоснимателя для электрогитары. Регулировка амплитудно-частотных характеристик звукоснимателя производилось с помощью пассивных RC- цепей.

Ключевые слова: амплитудно-частотные характеристики, резонансный режим, полосовой режим, регулировка добротности.

В работе [1] представлено экспериментальное исследование широкополосной схема электрогитары ZombieV-165. После монтажа схемы гитары, она была подключена к бюджетному гитарному комбо усилителю Phil Pro GA-10.

Как и было предположено в работе в [2], звучание оказалось не выразительным, хотя и чистым. Заметного изменения тембра между звукоснимателями (ЗС) не наблюдалось, хотя каждый ЗС звучал несколько по – своему. ЗС_В (верхний у грифа-хамбакер) подчеркивал низкие частоты, ЗС_Н (нижний у бриджа-хамбакер) был более звонким, а ЗС_С (средний между верхним и нижним - сингл) давал нечто среднее между ЗС_В и ЗС_Н. Для существенного изменения окраски звука при таком включении ЗС необходим внешний эквалайзер.

В работе [2] представлена эквализированная схема ЭГ ZombieV-165 с тремя ЗС. На рис.1 она представлена в общем виде. Каждый ЗС имел фиксированную амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) [2]. Это значительно ограничивает разнообразие тембров. В настоящей работе рассмотрены расширенные возможности регулировки тембров каждого ЗС с помощью пассивных RC- цепей.

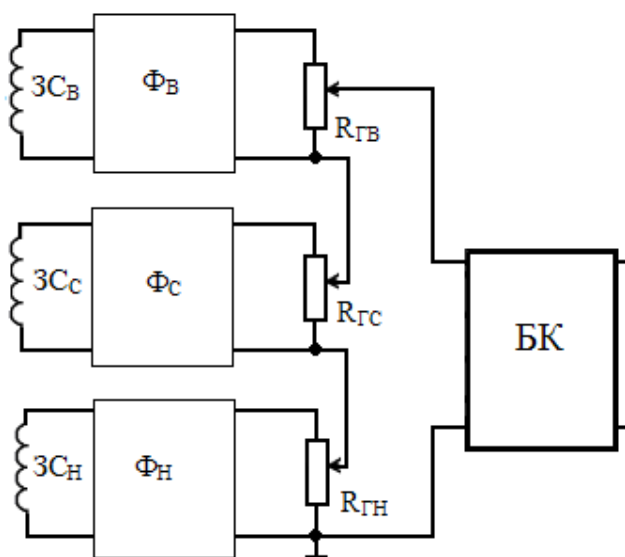


Рис. 1. Принципиальная схема электрогитары ZombieV-165 в эквализированном варианте.

Ф_В, Ф_С, Ф_Н – фильтры верхнего, среднего и нижнего ЗС соответственно, R_{ГВ}, R_{ГС}, R_{ГН} – регуляторы громкости верхнего, среднего и нижнего ЗС соответственно, БК – буферный каскад на полевом транзисторе с входным сопротивлением 20 Мом

Для расчета АЧХ ЗС следует рассмотреть его принципиальную схему совместно со схемой фильтра. Принципиальная схема ЗС показана на рис. 2а, схема фильтра на рис. 2б. Следует отметить, что наличие и величина сопротивления потерь R_П существенно влияет на форму АЧХ. Коэффициент передачи по частоте K_У ЗС совместно с фильтром [3]:

$$\hat{E}_U = \frac{U_f}{U_A} = \frac{1}{\sqrt{A^2 + B^2}} \quad (1)$$

$$\hat{A} = [4\pi^2 f^2 LC - (1 + \frac{R}{R_{\hat{A}\hat{O}}} + \frac{R}{R_f} + \frac{\tilde{N}}{\tilde{N}_1} \frac{R}{R_{\hat{A}\hat{O}}} + \frac{L}{C_1 R_f R_{\hat{A}\hat{O}}})] \quad (2)$$

$$B = \left[2\pi f L \left(\frac{1}{R_{\dot{A}\dot{O}}} + \frac{1}{R_i} + \frac{C}{C_1 R_{\dot{A}\dot{O}}} + \frac{RC}{L} \right) - \frac{1}{2\pi f \tilde{N}_1} \left(\frac{1}{R_{\dot{A}\dot{O}}} + \frac{R}{R_i R_{\dot{A}\dot{O}}} \right) \right] \quad (3)$$

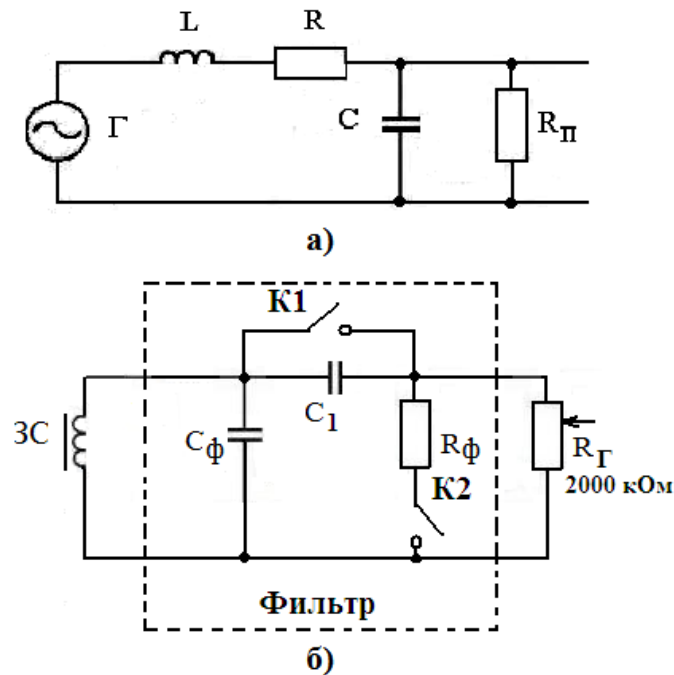


Рис. 2. Принципиальная схема ЗС и подключение ЗС к регулятору громкости

- а) – принципиальная схема ЗС: Г- генератор колебаний (струна), L- индуктивность катушки ЗС, R- активное сопротивление катушки ЗС, С – паразитная емкость катушки ЗС, Rп – сопротивление потерь ЗС.
 б) – подключение ЗС к регулятору громкости R_г через пассивный фильтр; C_ф – параллельная емкость фильтра, для регулировки резонансной частоты ЗС, C₁ – последовательная емкость фильтра для регулировки уровня низких частот, R_ф – регулятор добротности частотных характеристик ЗС, K1, K2 – кнопки с фиксацией

В формулах (2), (3) $C = C + C_{\phi}$, а $R_{вх}$ образуется при параллельном соединении R_{ϕ} и $R_{г}$.

С помощью фильтра, показанного на рис.2б можно сформировать только 3 основных вида АЧХ ЗС (рис.3). Номинальное значение $R_{г} = 2000 \text{ кОм}$ выбрано из соображения меньшего шунтирования ЗС. С помощью выражений (2), (3) можно сформировать одинаковые АЧХ для звукоснимателя любого производителя и любой марки. При этом различия в звуке, конечно, будут присутствовать, т.к. спектр сигнала струны различных инструментов будет отличаться.

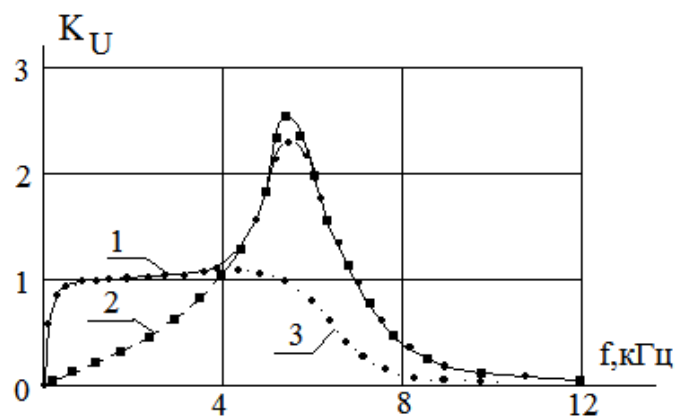


Рис. 3. Основные виды АЧХ ЗС: 1 - резонансный режим с поддержкой низких частот (Р+НЧ), 2 – резонансный режим (Р), 3 - широкополосный (полосовой) режим (ШП)

Реализация основных видов АЧХ ЗС обеспечивается коммутацией элементов фильтра (рис. 2б):

- режим Р+НЧ: кнопка K1 замкнута ($C_1 = \infty$), кнопка K2 разомкнута ($R_{\phi} = \infty$),
- режим Р: кнопка K1 разомкнута, кнопка K2 разомкнута ($R_{\phi} = \infty$),

- режим ШП: кнопка K1 замкнута ($C_1 = \infty$), кнопка K2 замкнута.

Элементы C_Φ и C_1 могут коммутироваться ступенчато и независимо, например, переключателями МПН-1. Плавная регулировка добротности обеспечивается переменным резистором R_Φ . Эти регулировки позволяют значительно разнообразить формы АЧХ.

Ниже, для сведения, приведены характеристики ЗС, известные автору:

Характеристики ЗС электрогитары Zombie V-165:

ЗС_В: $R=12,9$ кОм, $L=5,04$ Гн, $C=56$ пФ, $R_\Pi = 978$ кОм, $f_0 \approx 9,5$ кГц, $\rho \approx 300$ кОм.

ЗС_С: $R=5,8$ кОм, $L=1,85$ Гн, $C=191$ пФ, $R_\Pi = 256$ кОм, $f_0 \approx 8,5$ кГц, $\rho \approx 98$ кОм.

ЗС_Н: $R=14,55$ кОм, $L=5,8$ Гн, $C=45$ пФ, $R_\Pi = 1013$ кОм, $f_0 \approx 9,9$ кГц, $\rho \approx 360$ кОм.

ЗС Belcat BS-01-N-BK:

$R=5,4$ кОм, $L=3,4$ Гн, $C=182$ пФ, $R_\Pi = 582$ кОм, $f_0 \approx 6,4$ кГц, $\rho \approx 137$ кОм.

Один из вариантов ЗС Gibson P-90:

$R=8$ кОм, $L=7$ Гн, $C=95$ пФ, $R_\Pi = 700$ кОм, $f_0 \approx 6,2$ кГц, $\rho \approx 271$ кОм

Методика измерений всех характеристик ЗС ранее была уже подробно описана [4, 5, 6].

Следует особенно отметить, что сопротивление потерь R_Π должно быть обязательно измерено, иначе расчетные АЧХ не совпадут с практическими результатами.

Приближенная резонансная частота f_0 ЗС, указанных в работе, рассчитывалась по обычной формуле:

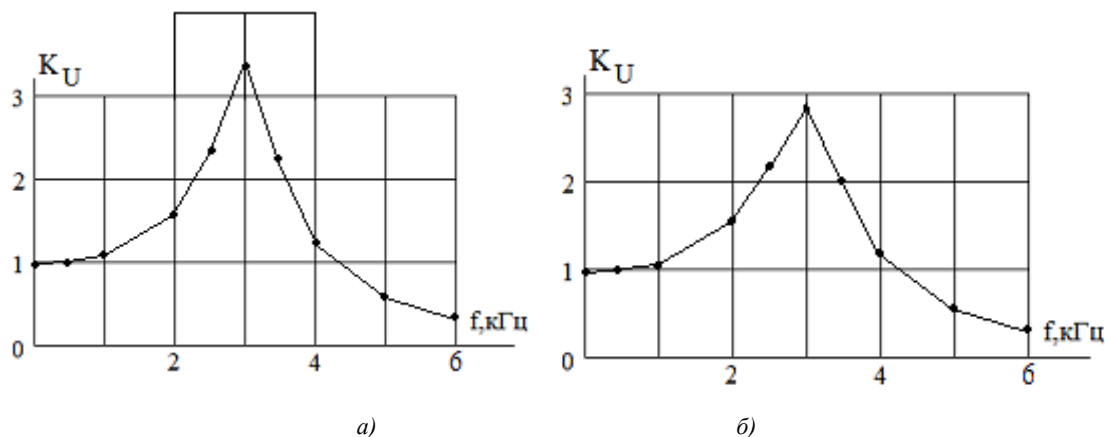
$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (4)$$

А волновое сопротивление ρ ЗС:

$$\rho = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (5)$$

Значения, рассчитанные по (4) и (5) хотя и являются приближенными, но помогут сэкономить время при расчете АЧХ ЗС. При больших значениях ρ резонансные кривые имеют более острый характер.

Рассмотрим в качестве примера расчет нижнего ЗС_Н электрогитары Zombie V-165 на частоту 3 кГц. Из (4) по заданной $f_0 = 3$ кГц и $L = 5,8$ Гн определяем значение $C = 485$ пФ. Так как значение 485 пФ является на самом деле суммой емкостей C ЗС и C_Φ фильтра, $C_\Phi = 485 - 45 = 440$ пФ. Расчетное значение C по точным формулам составляет 470 пФ, а C_Φ составит $470 - 45 = 425$ пФ. Значение ρ по (5) составит 110 кОм. Значение C_1 фильтра можно принять $C_1 = C_\Phi \times (0,05 - 5)$. От величины C_1 будет зависеть доля НЧ в АЧХ ЗС. Чем меньше C_1 , тем сильнее будут резаться низкие частоты в спектре сигнала, характеристика АЧХ станет острее, но максимальное значение K_U может изменяться [5]. На рис. 4 показаны АЧХ нижнего ЗС при различных значениях элементов фильтра, рассчитанные по (1)-(3).



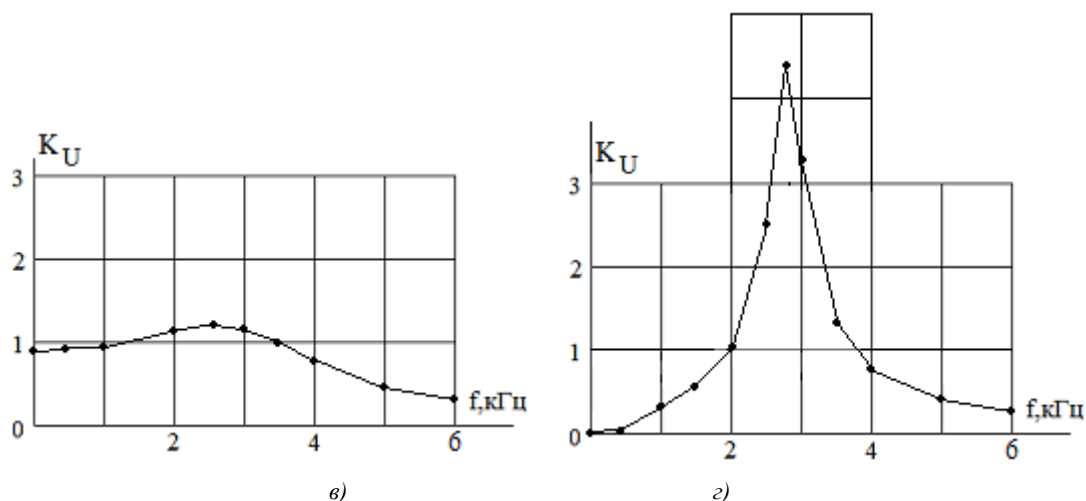


Рис. 4. АЧХ ЗСН при различных значениях номиналов фильтра

Рассмотрим каждый график более подробно.

Рис.4а. $C_\Phi = 425$ пФ, $C_1 = \infty$, $R_\Phi = \infty$. При расчетах по (1)-(3) приняты значения $C=470$ пФ, $C_1 = \infty$, $R_{BX} = 2000$ кОм. Результаты расчетов: $f_0 = 3$ кГц, $K_{УМАКС}=3,37$, $\Delta f(-3 \text{ дБ})=3,5-2,5$ кГц=1 кГц, $Q = 3$, $\Delta A = 10,7$ дБ.

Рис.4б. $C_\Phi = 425$ пФ, $C_1 = \infty$, $R_\Phi = 2000$ кОм. При расчетах по (1)-(3) приняты значения $C=470$ пФ, $C_1 = \infty$, $R_{BX} = 1000$ кОм. Результаты расчетов: $f_0 = 3$ кГц, $K_{УМАКС}=2,85$, $\Delta f(-3 \text{ дБ})=3,5-2,4$ кГц=1,1 кГц, $Q = 2,73$, $\Delta A = 9,3$ дБ.

Рис.4в. $C_\Phi = 425$ пФ, $C_1 = \infty$, $R_\Phi = 198$ кОм. При расчетах по (1)-(3) приняты значения $C=470$ пФ, $C_1 = \infty$, $R_{BX} = 180$ кОм. Результаты расчетов: $f_0 = 2,6$ кГц, $K_{УМАКС}=1,22$, $\Delta f(-3 \text{ дБ})=3,8-0$ кГц=3,8 кГц, $Q = 0,68$, $\Delta A = 2,5$ дБ.

Рис.4г. $C_\Phi = 425$ пФ, $C_1 = 47$ пФ, $R_\Phi = 2000$ кОм. При расчетах по (1)-(3) приняты значения $C=470$ пФ, $C_1 = 47$ пФ, $R_{BX} = 1000$ кОм. Результаты расчетов: $f_0 = 2,8$ кГц, $K_{УМАКС}=4,52$, $\Delta f(-3 \text{ дБ})=3-2,6$ кГц=0,4 кГц, $Q = 0,70$.

Аналогичные графики могут быть построены для 10 частот (переключатель МПН-1 имеет 10 положений) для каждого ЗС. Так как для каждой частоты существует 3 формы АЧХ, не считая плавной регулировки с помощью R_Φ , для всех трех звукоснимателей существует $27 \times 27 \times 27 = 19683$ комбинации звучания. Реально, конечно, не все они будут хорошо звучать. Это можно определить только практически, собрав схемы всех трех фильтров.

Список литературы

1. Сенюткин П.А. Экспериментальное исследование бюджетной электрогитары в широкополосном варианте. НОК. № 5 (49), 2020. Стр. 17-19.
2. Сенюткин П.А. Модификация бюджетной электрогитары: эквализированный вариант. НОК. № 5 (39), 2019. Стр. 9-11.
3. Сенюткин П.А. Подавление низких частот в электромагнитном звукоснимателе для электрогитары. НОК. № 10 (34), 2018. Стр. 16-18.
4. Сенюткин П.А. Об эквивалентной схеме электромагнитного звукоснимателя для электрогитары. Радио. № 6, 2018. Стр. 30, 31.
5. Сенюткин П.А. Влияние емкостной составляющей нагрузки на АЧХ ЗС электрогитары. Радио № 1, 2019. Стр. 42-43.
6. Сенюткин П.А. О согласовании электрогитары с усилителем. НОК. № 2 (36), 2019. Стр. 13-18.