

Мясников Д.Л.

студент

Вороной А.А., к.ф.-м.н.

доцент кафедры «РЭС»

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики

ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИМПУЛЬСНОГО СТАБИЛИЗАТОРА Понижающего типа

Аннотация: Моделирование работы устройства для расчета запаса устойчивости по амплитуде, выявление зависимости от точности частоты и формы пилообразного напряжения эталонного сигнала. Определение частоты среза, резонансной частоты, и получение запаса устойчивости по фазе по критерию Найквиста.

Ключевые слова: ИСН понижающего типа. ЛЧХ ИСН. Получение и анализ параметров ИСН. Критерий Найквиста.

Myasnikov D.L.

Voronoy A.A.

Frequency Response of a Buck-Down Switching Stabilizer

Annotation: Modeling the operation of the device for calculating the stability margin in amplitude, revealing the dependence on the frequency accuracy and the shape of the sawtooth voltage of the reference signal. Determination of the cutoff frequency, resonant frequency, and obtaining the phase stability margin according to the Nyquist criterion.

Keywords: Down-type SWR. Obtaining and analyzing the parameters of the SWR. Logarithmic frequency response of SWR. Nyquist criterion.

Исходные данные к расчету

K	$\omega_{\phi},$ 1/c	ξ	$\tau_3,$ с
40	4100	0,75	$5 \cdot 10^{-6}$

Расчет ЛЧХ ИСН-1 производится по формуле:

$$W(s) = \frac{K \cdot e^{-s\tau_3}}{T_{\phi}^2 s^2 + 2\xi T_{\phi} s + 1} \approx \frac{K(1 - \tau_3 s)}{T_{\phi}^2 s^2 + 2\xi T_{\phi} s + 1}. \quad (1)$$

Практически ЛЧХ ИСН понижающего типа без коррекции легко рассчитать и получить на экране дисплея ЭВМ с использованием программы MathCAD.

Листинг программы выглядит так:

$$\begin{array}{lll}
 n := 1, 1.1..5 & \xi := 0.75 & j := \sqrt{-1} \\
 f(n) := 10^n & p(n) := j \cdot 2 \cdot \pi \cdot f(n) & \pi = 3.141593 \\
 K := 40 & Tf := 0.24 \cdot 10^{-3} & \tau_3 := 5 \cdot 10^{-6} \\
 W(n) := \frac{K \cdot (1 - \tau_3 \cdot p(n))}{Tf^2 \cdot p(n)^2 + 2 \cdot \xi \cdot Tf \cdot p(n) + 1}
 \end{array}$$

Рис. 1 – Листинг программы

Для более удобного представления используем программу, листинг которой выглядит следующим образом:

$$D := \frac{V2}{U2} = 0.444 \quad Lk := \frac{R3 \cdot (1 - D)}{2 \cdot fk} \quad b := \frac{L1}{Lk}$$

$$b = 1.5 \quad b > 1 - \text{Режим непрерывного тока}$$

$$K_{\text{max}} := \frac{U2 \cdot D1 \cdot K4}{U} = 27 \quad \pi = 3.142$$

$$fn := \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L1 \cdot C1}} = 503.292 \quad \text{резонансная частота}$$

$$m := 1..4 \quad n := 1..10 \quad j := \sqrt{-1} \quad \text{ORIGIN} := 1$$

$$f(m,n) := n \cdot 10^m \quad K(m,n) := K$$

$$A_{11} := \frac{-R1}{L1} \quad A_{12} := \frac{-1}{L1} \quad A_{21} := \frac{1}{C1} \quad A_{22} := \frac{-1}{R3 \cdot C1}$$

$$E_1 := \frac{U2}{L1} \quad E_2 := 0 \quad F_1 := 0 \quad F_2 := \frac{-(D1 \cdot K4)}{U}$$

$$A := \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1.8 \times 10^3 & -4 \times 10^3 \\ 2.5 \times 10^3 & -208.333 \end{pmatrix} \quad F_{\text{max}} := (F_1 \ F_2) \quad I := \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$E := \begin{pmatrix} E_1 \\ E_2 \end{pmatrix} \quad E = \begin{pmatrix} 1.08 \times 10^5 \\ 0 \end{pmatrix} \quad F = (0 \ -1) \quad I = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$W_{xu(m,n)} := (j \cdot 2 \cdot \pi \cdot f(m,n) \cdot I - A)^{-1} \cdot E \cdot F$$

$$W_{22(m,n)} := -W_{xu(m,n)}_{2,2}$$

Рис. 2 – Листинг программы

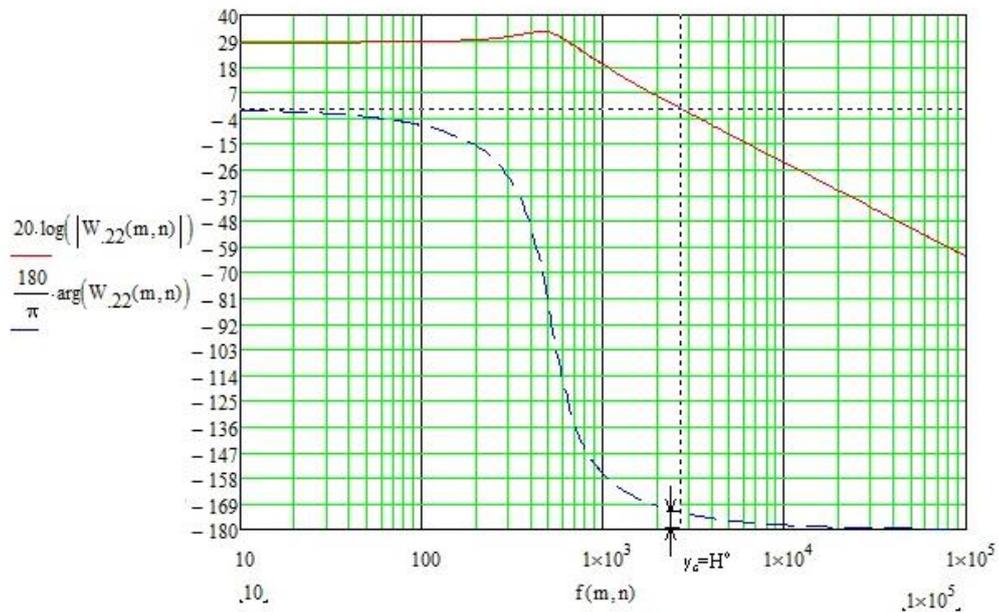


Рисунок 3 – ЛЧХ ИСН без коррекции

На рисунке 3 изображены ЛАЧХ и ФЧХ импульсного источника электропитания без цепей коррекции, из которых следует, что его резонансная частота фильтра $f_0 \approx 503$ Гц, а частота среза $f_{cp} \approx 2700$ Гц. На

частоте среза $f=2700$ Гц запас устойчивости по фазе γ_c по критерию Найквиста составляет $6-7^0$ ($\gamma_c=6-7^0$).

Частота коммутации ключа ИСН $f_k=20000$ Гц.

На оси ординат также необходимо отметить значение величины $L_{нс}$ в 0 дБ. Пересечение ординаты величиной 0 дБ с ЛАЧХ ИСН необходимо спроектировать на ось абсцисс (на рис. 3 изображено пунктиром), и это значение будет соответствовать частоте среза $f_{ср} \approx 2700$ Гц т.е.

$$\omega_{ср} = 2\pi f_{ср}, \quad (2)$$

$$\omega_{ср} = 2\pi \cdot 2700 = 16956 \text{ 1/с.}$$

Кроме ЛАЧХ необходимо также получить распечатку (зарисовку с экрана дисплея на клетчатой бумаге) ФЧХ заданного варианта ИСН с соблюдением того же масштаба частот, и по критерию Найквиста оценить устойчивость и запас устойчивости по фазе $\gamma_c = H^0$.

ЛЧХ рассматриваемого ИСН в системе MathCAD приведены на рис. 3, из которых следует, что он находится на грани устойчивости, так как имеет на частоте среза $f_{ср}=2700$ Гц значение фазового угла:

$$\varphi_{нс} = \frac{180}{y} \arcsin(W(n)) = 173^\circ, \quad (3)$$

т.е. запас по фазе $\gamma_c = H = 7^\circ$.

Как следует из рис. 4.6.3 упрощенную (асимптотическую) ЛАЧХ можно также построить на клетчатой бумаге в координатной сетке, по вышеприведенной формуле для $W(s)$. Для ИСН-1 без коррекции на вышеприведенные параметры по оси ординат откладывается значение $L_{нс}$:

$$L_{нс} = 20 \lg W(0) = 20 \lg K, \quad (4)$$

$$L_{нс} = 20 \lg 40 = 32 \text{ дБ.}$$

Проводится горизонтальная линия параллельно оси абсцисс до собственной (резонансной) частоты фильтра f_0 :

$$f_0 = \frac{\omega_\phi}{2\pi} = \frac{4100}{2\pi} = 653 \text{ Гц.} \quad (4.6.5)$$

Правее этой частоты ЛАЧХ $L_{\text{НС}}$ получает наклон -40дБ/дек , что объясняется влиянием колебательного звена (звена второго порядка) в знаменателе выражения передаточной функции $W(s)$. Пересечение $L_{\text{НС}}$ с горизонтальной линией 0 дБ фиксирует на оси абсцисс частоту среза $f_{\text{ср}} = 4000\text{ Гц}$, т.е. при частоте среза модуль передаточной функции (или коэффициент усиления системы) $W(f_{\text{ср}})=1$.

По частотному критерию Найквиста, амплитудно-фазовая характеристика передаточной функции $W(j\omega)=V(\omega) + jV(\omega)$ для устойчивой системы не должна охватывать точку с координатами $(-1; j 0)$, а по логарифмическому частотному критерию Найквиста для устойчивости системы необходимо, чтобы во всей области частот, где ЛАЧХ $L_{\text{НС}}$ – положительна, т.е. до частоты среза $f_{\text{ср}}$, фазовая характеристика (ФЧХ) проходила выше уровня $-\pi$ или -180° . При этом запас устойчивости по фазе $\gamma_c=N^\circ$ показывает, насколько фазовый угол ФЧХ $\varphi(f_{\text{ср}})$ отличается от $-\pi$ (-180°) на частоте среза $f_{\text{ср}}$.

Использованные источники:

1. Четти П. Проектирование ключевых источников электропитания. –М.: Энергоатомиздат, 1990. – с. 108 – 109
2. Коржавин О.А. Динамические характеристики импульсных источников электропитания постоянного напряжения с входными фильтрами. [Текст] / О.А. Коржавин / учебное пособие // М. : Горячая линия-Телеком, 2010 - 219 с.
3. Исследовано в России [Электронный ресурс] : Расчет силовой части импульсного стабилизатора напряжения понижающего типа. / Москва 2017. // Режим доступа: <http://electricalschool.info/electronica/2085-ponizhayuschiy-preobrazovatel-buck-converter-raschet-komponentov.html>