

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МАЛОСИГНАЛЬНЫХ ЧАСТОТНЫХ  
ХАРАКТЕРИСТИК ШУНТОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ**

В.А. Кабилов

Научный руководитель: профессор, к.т.н. Семенов В.Д.

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: [kva@vipelec.com](mailto:kva@vipelec.com)

**EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF SMALL-SIGNAL FREQUENCY CHARACTERISTICS OF  
A BYPASS VOLTAGE CONVERTER**

V.A. Kabirov

Scientific Supervisor: Prof., Ph.D, V.D. Semenov

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics

Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: [kva@vipelec.com](mailto:kva@vipelec.com)

***Abstract.** In this state we showed results of researches small-signal frequency characteristics of a bypass voltage converter*

**Введение.** Основной задачей систем электропитания космических аппаратов СЭП КА является поддержание с высокой точностью стабильного выходного напряжения при всех дестабилизирующих факторах, возникающих в системе. Дестабилизирующими факторами для СЭП могут быть: изменение мощности потребляемой нагрузкой, изменение мощности генерируемой первичными источниками питания (солнечными батареями (СБ) как из-за изменения освещенности, так и от их деградации), изменение запасенного заряда в накопителях энергии (аккумуляторных батареях как из-за их разряда, так и от их деградации), выход из строя узлов внутри самой СЭП КА. Отклонение стабилизированного выходного напряжения в статике задается обычно около 1% от номинального значения. Отклонение выходного напряжения в динамических режимах, при воздействии всех возмущающих факторов, не задается обычно около 2-5% от номинального значения, при этом длительность переходных процессов должна быть не более нескольких миллисекунд.

Статические и динамические характеристики СЭП КА в первую очередь определяются быстродействием контура стабилизации напряжения, а именно корректирующим звеном. Выбор корректирующего звена является сложной и противоречивой задачей, потому что импульсный преобразователь является и импульсным и нелинейным объектом управления. Существует множество методик синтеза корректирующего звена [1]. По мнению автора наиболее интересным является метод синтеза с использованием логарифмической амплитудно-частотной характеристики (ЛАЧХ). Но для того чтобы воспользоваться этим методом, необходимо получить малосигнальную (линеаризованную) модель импульсного преобразователя и определить передаточную функцию разомкнутого контура (объекта

управления) нескорректированной системы. Один из методов нахождения малосигнальной модели преобразователей с ШИМ модуляцией приведен в [2].

После получения линеаризованной передаточной функции объекта управления (линеаризованной передаточной функции разомкнутого контура нескорректированной системы) ее необходимо проверить для исключения вычислительных ошибок и ошибок линеаризации. Для этого достаточно сравнить частотные характеристики полученной линеаризованной передаточной функции объекта управления с частотными характеристиками разомкнутого контура нескорректированной системы, снятыми экспериментально. Метод экспериментального измерения амплитудно-частотных характеристик разомкнутого контура нескорректированной системы с ШИМ приведен в [3]. В качестве экспериментального объекта исследования удобно применять имитационную импульсную модель шунтового преобразователя (ШП), построенную, например, в среде MATLAB.

**Моделирование.** Произведем экспериментальную проверку теоретически полученной передаточной функции разомкнутой нескорректированной системы с шунтовым преобразователем напряжения в качестве импульсного преобразователя. Шунтовой преобразователь применяется в СЭП КА в качестве преобразователя энергии, получаемой от солнечных батарей. На рис.1 приведена эквивалентная схема стабилизатора напряжения (СН), с источником питания  $I_{БС}$  и нагрузкой  $R_n$ . СН состоит из ШП и контура регулирования. Контур регулирования включает в себя сумматор  $S$ , корректирующее звено  $W_{кз}$  и модулятор ШИМ. На вход сумматора  $S$  поступает сигнал опоры  $u_{ref}$  и напряжение  $U_{C3}$  с выхода преобразователя. В качестве модулятора используем широтно-импульсный модулятор первого рода (ШИМ I) с запаздыванием на один такт развертывающего сигнала. Такой модулятор реализуется в цифровых системах управления на основе микроконтроллеров.

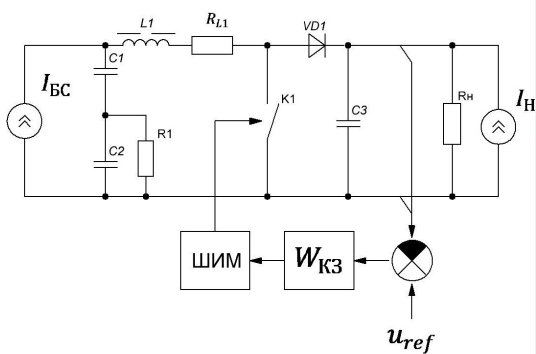


Рис. 1 Эквивалентная схема СН.

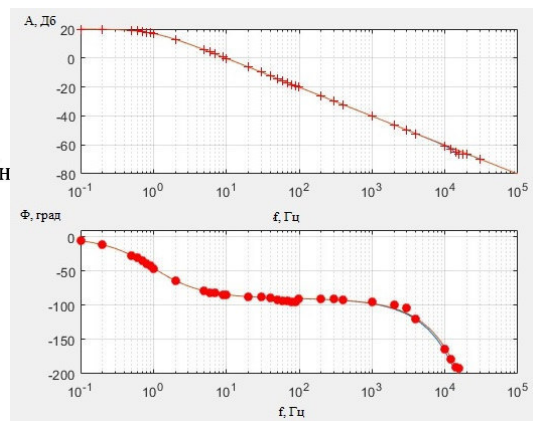


Рис 2. ЛАЧХ и ЛФЧХ шунтового преобразователя

ШП состоит из входного фильтра на элементах ( $C_1$ ,  $C_2$ ,  $L_1$ ,  $R_1$ ), транзисторного ключа  $K_1$ , полупроводникового диода  $VD_1$  и емкостного выходного фильтра на конденсаторе  $C_3$ . Дроссель  $L_1$  и последовательно соединенные конденсаторы  $C_1$  и  $C_2$  рассчитываются из условия подавления пульсаций на входе преобразователя до необходимого уровня, при минимальных габаритах, а сопротивление  $R_1$ , необходимое для уменьшения добротности входного фильтра, выбирается по методике, описанной в [4]. Конденсатор  $C_3$  выбирается из условий подавления пульсаций выходного напряжения и уменьшения

выходного сопротивления СЭП КА. Кроме основных элементов в схеме учтено «паразитное» сопротивление  $R_{L1}$  дросселя L1.

ШП применяется при работе БС на токовой ветви вольт-амперной характеристики, поэтому для упрощения анализа заменяем солнечную батарею идеальным источником тока  $I_{BC}$ . Нагрузкой ШП будем считать постоянное сопротивление  $R_n$  и регулируемый источник тока  $I_n$ .

Параметры преобразователя, полученные расчетным путем, указаны в таблице 1.

Таблица 1

Параметры эквивалентной схемы шунтового преобразователя

Обозначение	C1	C2	R1	L1	$R_{L1}$	C3	$R_n$	$I_{BC}$	$I_n$
Значение	1 мкФ	1 мкФ	10 Ом	170 мкФ	33 мОм	1200 мкФ	Изменяется в диапазоне 13.5 .. 135 Ом	7.4 А	Импульсное: от 0 до 4 А.

Выражение для линеаризованной передаточной функции разомкнутой нескорректированной системы, полученное теоретически, является громоздким, имеет четвертый порядок. Однако его, без ущерба для точности, можно упростить и записать в виде:

$$W_p(p) = \frac{R_n I_{BC}}{R_n C3 p + 1} e^{-\tau p} \quad (1)$$

На рис. 2. приведены логарифмические амплитудно- и фазо- частотные характеристики ЛФЧХ ЛФЧХ шунтового преобразователя, построенные по точной линеаризованной передаточной функций (сплошная коричневая линия), упрощенной передаточной функции (сплошная синяя линия) по выражению (1) и экспериментально измеренные значения ЛАЧХ и ЛФЧХ, полученные на имитационной модели ШП в среде MATLAB, отмеченные знаками «+» и «.» соответственно.

Из рисунка видно, что амплитудно- и фазо- частотные характеристики точной передаточной функций и упрощенной передаточной функции хорошо совпадают и имеют небольшое отклонение на частотах 10 до 20 кГц, лежащих далеко за частотой среза.

**Вывод.** Синтез корректирующего звена СН, построенного на основе шунтового преобразователя, можно проводить, применяя приближенное выражением (1), в качестве передаточной функции его малосигнальной модели.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бурцева Ю.С. Беспойсковый метод расчета настроек регуляторов на минимум квадратичного критерия. Москва: дис.. канд. тех. наук. Московского энергетического института, 2014.
2. Мелешин В.И., Овчинников Д.А. Управление транзисторными преобразователями электроэнергии. Москва: Техносфера, 2011.
3. Четти П. Проектирование ключевых источников электропитания: Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 240 с.
4. Казанцев Ю.М., Гордеев К.Г., Лекарев А.Ф., Черданцев С.П., Гаврилов А.М. Токовый преобразователь энергии солнечной батареи в системе электропитания космических аппаратов// Известия Томского политехнического университета. 2011. - Т.319. - №4 - С. 148-153