

УДК 621.314

DOI: 10.30987/conferencearticle_5c19e5df1d8d31.70501716

М.А. Амелина, А.С. Амелин
(г. Смоленск, филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СХЕМОТЕХНИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПРОВЕРКИ МЕТОДИКИ СИНТЕЗА КОРРЕКТИРУЮЩИХ ЦЕПЕЙ ИМПУЛЬСНЫХ СТАБИЛИЗАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ

Предложена методика синтеза цепей коррекции импульсных стабилизаторов напряжения, использующих тракт обратной связи с гальванической оптоэлектронной развязкой. Проведено моделирование частотных характеристик тракта обратной связи с цепями коррекции, рассчитанными по предложенной методике. Показана применимость разработанной методики и возможность её использования при проектировании и использовании контроллеров управления мощными силовыми ключами со встроенной гальванической развязкой.

The method for the synthesis of correction circuits of Switch-mode Power Supplies using a feedback path with galvanic optoelectronic isolation is offered. The frequency characteristics of the feedback path with correction circuits calculated by the proposed method were simulated. The applicability of the developed technique and the possibility of its use in the design and use of controllers for driving power switches with integrated electrical isolation is shown.

Ключевые слова: импульсный стабилизатор напряжения, контроллер силовых ключей, устойчивость, цепи коррекции, усилитель с оптоэлектронной развязкой, ЛАЧХ, полюс, ноль.

Keywords: switching voltage regulator, power switch controller, stability, correction circuits, opto-isolator amplifier, logarithmic amplitude-frequency response, pole, zero.

Одной из важных составляющих проектирования импульсного источника вторичного электропитания является обеспечение его устойчивости во всех возможных режимах работы. Импульсные стабилизаторы напряжения бывают двух типов: с режимом управления Voltage Mode и с режимом управления Current Mode [1]. Первый режим характеризуется управлением коэффициентом заполнения силового ключа (ключей) преобразователя только сигналом рассогласования выходного напряжения. Второй режим характеризуется дополнительным введением местной обратной связи по току дросселя, осуществляемой заменой генератора пилообразного напряжения на одном из входов ШИМ-компаратора сигналом с датчика тока дросселя. Большинство современных ШИМ-контроллеров позволяют управлять преобразователем постоянного напряжения и в первом, и во втором режимах.

При синтезе корректирующих цепей используют стандартную методику теории автоматического управления. Строят желаемую ЛАЧХ разомкнутой системы для обеспечения устойчивости и необходимых показателей качества замкнутой системы стабилизации (рис. 1). Затем из желаемой ЛАЧХ вычитают имеющуюся, в рассматриваемом случае это ЛАЧХ преобразователя и усилителя рассогласования без частотно-зависимых цепей. После вычитания получается ЛАЧХ звена коррекции (рис. 1). Установлено [1, 2], что большинство преобразователей постоянного напряжения, работающих в режиме непрерывных токов, имеют частотную характеристику двойной полюс (на резонансной частоте) – нуль, т.е. их ЛАЧХ состоит из трех участков (перечисленных в порядке возрастания частоты): 0 дБ/дек, -40 дБ/дек, -20 дБ/дек (рис. 1). В этом случае ЛАЧХ звена коррекции без использования местной обратной связи по току, т.е. в режиме Voltage Mode, получается следующей: 2 полюса, 2 нуля (рис. 1).

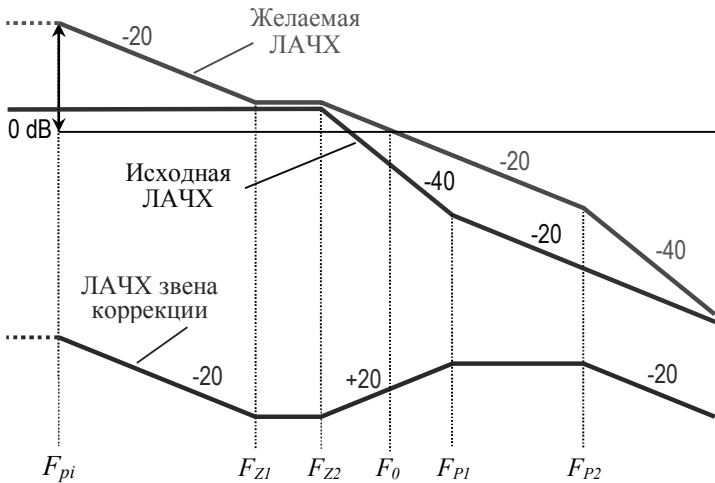


Рис. 1. Получение ЛАЧХ звена коррекции

Коррекция в импульсных источниках питания, как правило, осуществляется введением в усилитель сигнала рассогласования частотно-зависимых цепей. Для усилителя рассогласования с оптоэлектронной развязкой на основе микросхемы TL431 [3], получение указанной передаточной характеристики в частотной области может осуществляться следующими дополнительными цепями (рис. 2).

Для схемы рис. 2 частота доминантного полюса (полюса неидеального интегратора на основе TL431):

$$F_{pi} = \frac{1}{2\pi \cdot K_{U(TL431)} \cdot C_{Zero1} \cdot R_{Upper} \parallel R_{Lower}},$$

где $K_{U(TL431)} = dU_{cath}/dU_{in}$ — коэффициент передачи по напряжению ИМС TL431 на малом сигнале в схеме включения рис. 2.

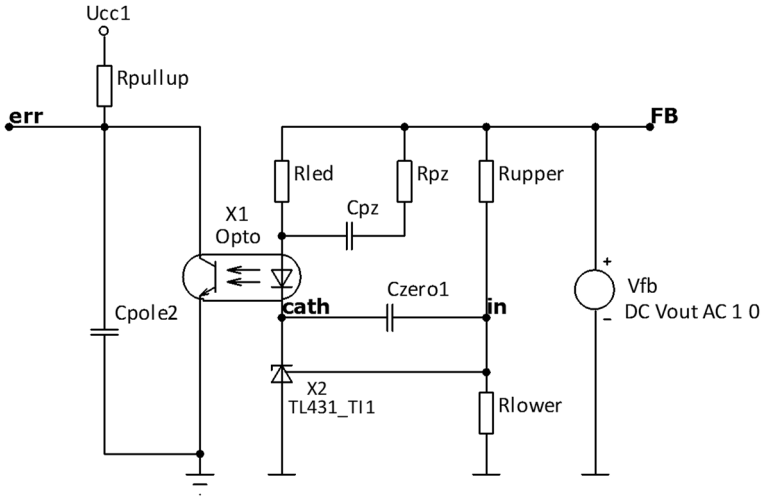


Рис. 2. Усилитель рассогласования с оптоэлектронной развязкой с частотной характеристикой 2 полюса – 2 нуля

Частота первого нуля:

$$F_{Z1} = \frac{1}{2\pi \cdot C_{Zero1} \cdot R_{Upper}} \quad (1)$$

Частота второго нуля:

$$F_{Z2} = \frac{1}{2\pi \cdot C_{PZ} \cdot (R_{PZ} + R_{Led})} \quad (2)$$

Частота первого полюса:

$$F_{P1} = \frac{1}{2\pi \cdot C_{PZ} \cdot R_{PZ}} \quad (3)$$

Частота второго полюса:

$$F_{P2} = \frac{1}{2\pi \cdot C_{Pole2} \cdot R_{Pullup}} \quad (4)$$

Из формул (1) – (4) несложно получить соотношения для расчета параметров звена коррекции: R_{PZ} , C_{PZ} , C_{Zero1} , C_{Pole2} :

$$R_{PZ} = \frac{F_{Z2} \cdot R_{Led}}{F_{P1} - F_{Z2}};$$

$$\begin{aligned}
 C_{PZ} &= \frac{1}{2\pi \cdot F_{P1} \cdot R_{PZ}}; \\
 C_{Zero1} &= \frac{1}{2\pi \cdot F_{Z1} \cdot R_{Upper}}; \\
 C_{Pole2} &= \frac{1}{2\pi \cdot F_{P2} \cdot R_{Pullup}}.
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

Спротивлением верхнего плеча делителя обратной связи задаются, можно взять, например, $R_{Upper} = 20$ кОм. Спротивление нижнего плеча делителя обратной связи рассчитывается, исходя из заданного выходного напряжения стабилизатора U_{OUT} и внутреннего опорного напряжения ИМС TL431 $U_{ref} = 2,5$ В:

$$R_{Lower} = \frac{R_{Upper}}{U_{OUT} / U_{REF} - 1}.$$

Остальные параметры усилителя R_{Led} , R_{Pullup} рассчитываются при задании рабочей точки на постоянном токе [3], и на данном этапе известны.

Таким образом, зная положения полюсов и нулей корректирующего звена, можно получить значения параметров частотно-зависимых цепей усилителя рассогласования.

Методика проверялась путем моделирования в среде программы Micro-cap [4] при задании в формульном режиме на поле схемы параметров цепей, зависящих от положения нулей и полюсов (соотношения (5)). Моделирование (рис. 3) подтвердило верность методики расчета частотно-зависимых цепей усилителя.

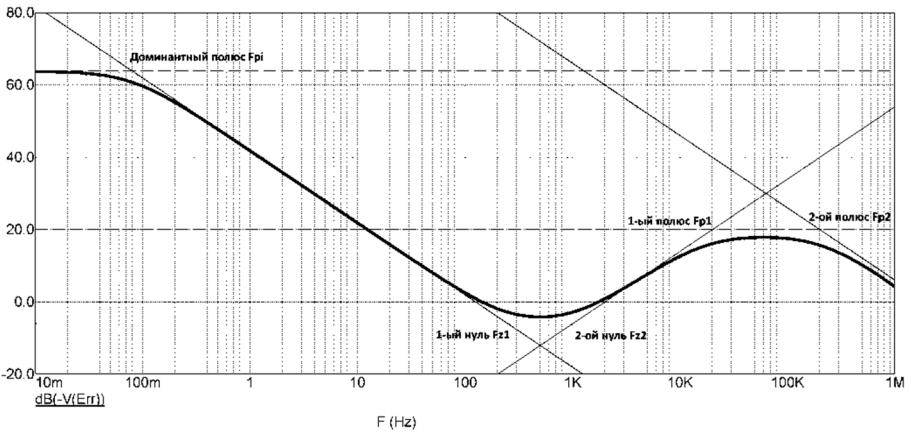


Рис. 3. АЧХ рассчитанного усилителя при задании $F_{Z1} = 250$ Гц, $F_{Z2} = 1000$ Гц, $F_{P1} = 20$ кГц, $F_{P2} = 200$ кГц

Также было выявлено следующее. Полное совпадение характеристик с заданными наблюдалось без учёта инерционности оптрона. При введении реальных параметров оптрона, АЧХ в области верхних частот шла значительно ниже желаемой характеристики. Исправить эту ситуацию отчасти удается удалением конденсатора C_{Pole2} , обеспечивающим 2-й высокочастотный полюс.

Разработанная методика позволяет достаточно точно рассчитывать параметры корректирующей цепи для обеспечения устойчивости импульсных стабилизаторов напряжения и иных устройств, содержащих гальванически развязанную цепь обратной связи. В частности, такую методику можно использовать при проектировании преобразователей электроэнергии, содержащих контроллеры управления мощными силовыми ключами со встроенным оптоэлектронным каналом обратной связи.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта № 16-07-00380 А.

Список литературы

1. Christophe P. Basso Switch-Mode Power Supplies Spice Simulations and Practical Designs, Copyright © 2008 by The McGraw-Hill Companies.

2. Мелешин, В.И. Управление транзисторными преобразователями электроэнергии / В.И. Мелешин, Д.А. Овчинников. – М.: Техносфера, 2011. – 576 с.

3. Амелина, М.А. Методика расчета статического режима усилителя рассогласования на основе микросхемы TL431/ М.А. Амелина, А.И. Гатина // ЭНЕРГЕТИКА, ИНФОРМАТИКА, ИННОВАЦИИ-2015 – ЭИИ-2015: сборник трудов: В 2 т. – Смоленск: Универсум, 2015. – Т.1. – Секции 1,2,3,4. – 506 с.: ил. (с. 245–250).

4. Амелина, М.А. Программа схемотехнического моделирования Micro-Cap. Версии 9, 10. [Электронный ресурс]: учеб. пособие / М.А. Амелина, С.А. Амелин–Электрон. текстовые дан. – СПб. : Лань, 2014. – 632 с. Режим доступа: URL http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=53665

Материал поступил в редколлегию 12.10.18.

УДК 621.314

DOI: 10.30987/conferencearticle_5c19e5e1dc9249.56226934

С.А. Амелин, А.С. Амелин

(г. Смоленск, филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕПРЕРЫВНОЙ МОДЕЛИ ОБРАТНОХОДОВОГО СТАБИЛИЗАТОРА ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Рассмотрен способ обеспечения устойчивости импульсного стабилизатора напряжения с использованием непрерывной модели этого