

УДК 621.311.6

## ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ОГРАНИЧИТЕЛЯ ПУСКОВОГО ТОКА ДЛЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

А. А. Миронов

ООО «Александр Электрик источники электропитания»  
Российская Федерация, 129226, г. Москва, просп. Мира, 125  
E-mail: mironov@aeip.ru

*Описываются алгоритмы и особенности работы ограничителей пускового тока для систем электропитания космических аппаратов. Рассматриваются вопросы увеличения надёжности, расширения их функциональных возможностей.*

*Ключевые слова: система электропитания, пусковой ток, датчик тока, регулирующий элемент, защита от перегрева, фильтрация радиопомех.*

## SELECTION OF THE OPTIMAL STRUCTURE OF THE STARTING CURRENT LIMITER FOR POWER SUPPLY SYSTEMS OF SPACE VEHICLES

А. А. Mironov

ООО "Alexander Electric istochniki electropitaniya"  
125, Mira Av., Moscow, 129226, Russian Federation  
E-mail: mironov@aeip.ru

*The article describes the algorithms and features of the starting current limiters for power supply systems of space vehicles. The issues of increasing reliability and expanding their functionality are considered.*

*Keywords: power supply system, starting current, current sensor, control element, overheat protection, radio interference filtering.*

Ограничители пускового тока (ОПТ) широко применяются для построения систем электропитания РЭА, первичный источник электропитания которых ограничен по мощности и не допускает бросков тока. К которым относятся системы вторичного электропитания (СВЭП) космических аппаратов. Обычно ОПТ включается на входе СВЭП, ограничивая зарядный ток конденсаторов входных фильтров всей группы модулей электропитания и защищая заодно контакты силового коммутатора, ресурс которых невелик.

На рис. 1 приведена функциональная схема ОПТ с общей шиной, регулирующей элемент (РЭ) которого работает в режиме непрерывного регулирования [1]. Обозначим эту структуру как ОПТ1.

Увеличенная мощность, выделяемая на РЭ во время запуска или КЗ на его выходе, влечёт за собой перегрев регулирующего элемента и ограничивает время действия перегрузки на уровне единиц мс. Поэтому ОПТ с непрерывным режимом регулирования РЭ применяется только при малых токах нагрузки (до 1...2 А). Но даже в этом случае необходимо предусмотреть ограничение длительности перегрузки РЭ включением в схему специального таймера, выключающего РЭ по истечении указанного времени (на рис. 1 не показан).

Другой путь решения проблемы перегрева РЭ – перевод его при перегрузке в импульсный режим работы. На рис. 2 показана функциональная схема такого ОПТ [2]. Назовём эту структуру ОПТ2.

Усилитель У измеряет ток в «минусовой» шине питания с помощью резистора-датчика тока  $R_{ДТ}$  и управляет работой регулирующего элемента РЭ. Драйвер Др преобразует выходной сигнал У в управляющее напряжение  $U_{У,РЭ}$  формата, требуемого для быстрого открывания и запираания РЭ. Для устойчивой работы ОПТ в режиме переключения РЭ усилитель У охвачен положительной обратной связью на резисторах R1R2.

В установленном режиме работы ОПТ2 справедливо соотношение:  $I_{Н} = I_{L} = I_{ДТ}$ , на выходе У напряжение близко к нулю:  $U_{У,ВКЛ} \approx 0$ , на выходе драйвера Др – напряжение  $U_{РЭ,ВКЛ}$ , обеспечивающее открывание РЭ. Рабочий ток протекает от источника входного напряжения через открытый РЭ, дроссель L, нагрузку и резистор-датчик тока  $R_{ДТ}$ . На рис. 3 показаны эпюры сигналов во время включения ОПТ при запуске на ёмкостную нагрузку.

При включении ОПТ, когда происходит зарядка конденсаторов фильтров подключённых на выход ОПТ СВЭП, ток нагрузки увеличивается, и при напряжении на датчике тока  $U_{ДТ,ВЫКЛ} = U_{ОП} \cdot (1 + R1/R2)$  на выходе У скачкообразно устанавливается напряжение  $U_{У,ВЫХ}$ , на выходе драйвера Др – 0 и РЭ закрывается. Ток в дросселе L начинает уменьшаться, протекая теперь через замыкающий диод VD, нагрузку и  $R_{ДТ}$ . При напряжении на  $R_{ДТ}$   $U_{ДТ,ВКЛ} = U_{ОП} \cdot (1 + R2/R1) - U_{У,ВЫХ} \cdot R2/R1$  напряжение на вы-

ходе  $U$  вновь устанавливается на уровне 0, на выходе Др – напряжение  $U_{PЭ.ВКЛ}$ , РЭ вновь открывается и процесс повторяется. Резисторами  $R1R2$  реализован гистерезис  $\Delta U_{ДТ} = U_{ДТ.ВКЛ} - U_{ДТ.ВЫКЛ} = U_{У.ВЫХ} \cdot R2/R1$ . От выражений напряжения переключения  $U_{ДТ.ВКЛ}$ ,  $U_{ДТ.ВЫКЛ}$  через  $R_{ДТ}$  просто перейти к соответствующим значениям токов  $I_{ДТ.ВКЛ}$ ,  $I_{ДТ.ВЫКЛ}$ .

Напряжение на выходе ОПТ увеличивается до тех пор, пока на очередном периоде работы ток  $I_{ДТ}$  уже не достигает значения  $I_{ДТ.ВЫКЛ}$ . Мощность, выделяющаяся на РЭ во время запуска или перегрузки, многократно меньше аналогичного показателя структуры

ОПТ1, поэтому длительность перегрузки значения не имеет. В установившемся режиме LC-элементы устройства работают как помехоподавляющий фильтр с эффективным диапазоном фильтрации до нескольких десятков МГц.

В установившемся режиме суммарное падение напряжения на открытом РЭ, L и ДТ чуть больше аналогичного параметра ОПТ1 и составляет доли В. Нагрузка должна выбираться на максимальное значение среднего выходного тока  $I_{ВЫХ.МАКС} = (I_{ДТ.ВКЛ} + I_{ДТ.ВЫКЛ})/2$ , хотя в импульсный режим ОПТ2 переходит при значении тока  $I_{ДТ.ВЫКЛ} > I_{ВЫХ.МАКС}$ .

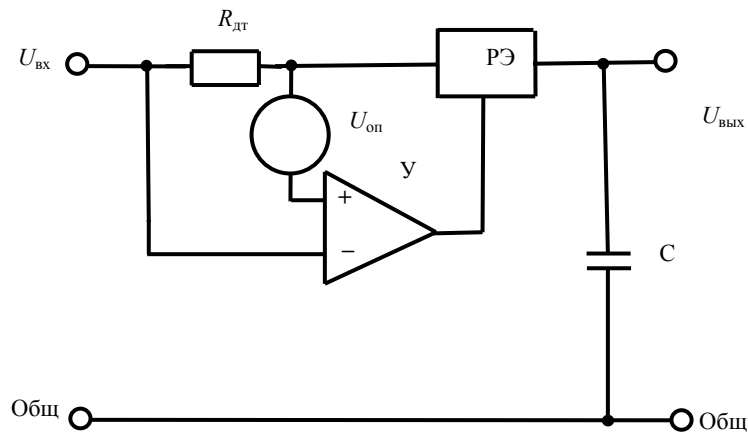


Рис. 1. Функциональная схема ОПТ1 с регулирующим элементом непрерывного регулирования.

Максимальное значение тока ОПТ1  $I_{ОПТ.МАКС}$  определяется номиналом резистора-датчика тока  $R_{ДТ}$ :

$I_{ОПТ.МАКС} = U_{ОП}/R_{ДТ}$ . Тогда при токе регулирующего элемента РЭ  $I_{РЭ} < I_{РЭ.МАКС}$  сигнал на выходе усилителя У максимален и регулирующий элемент РЭ открыт. При увеличении тока нагрузки до значения  $I_{РЭ.МАКС}$  сигнал на выходе усилителя У уменьшается, переводя регулирующий элемент РЭ в линейный режим и ограничивая тем самым ток через него и в нагрузке значением  $I_{РЭ.МАКС}$ .

Установившееся значение выходного напряжения ОПТ при этом  $U_{ВЫХ} = R_{Н} \cdot I_{РЭ.МАКС}$ , где  $R_{Н}$  – эквивалентное активное сопротивление нагрузки. На РЭ в этом режиме выделяется мощность  $P_{РЭ} = (U_{ВХ} - U_{ВЫХ}) \cdot I_{РЭ.МАКС}$ , а при коротком замыкании (КЗ) на выходе –  $P_{РЭ.МАКС} = U_{ВХ} \cdot I_{РЭ.МАКС}$

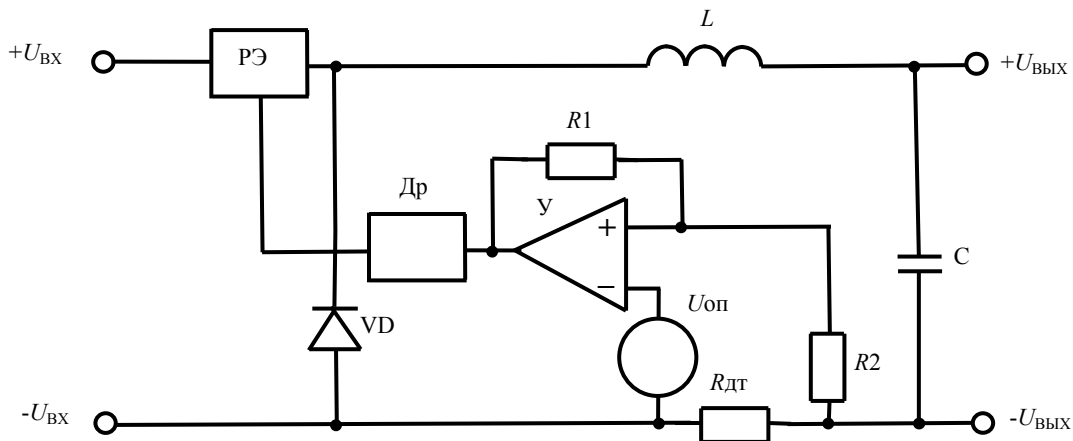


Рис. 2. Функциональная схема ОПТ2 с импульсным режимом работы РЭ при перегрузках

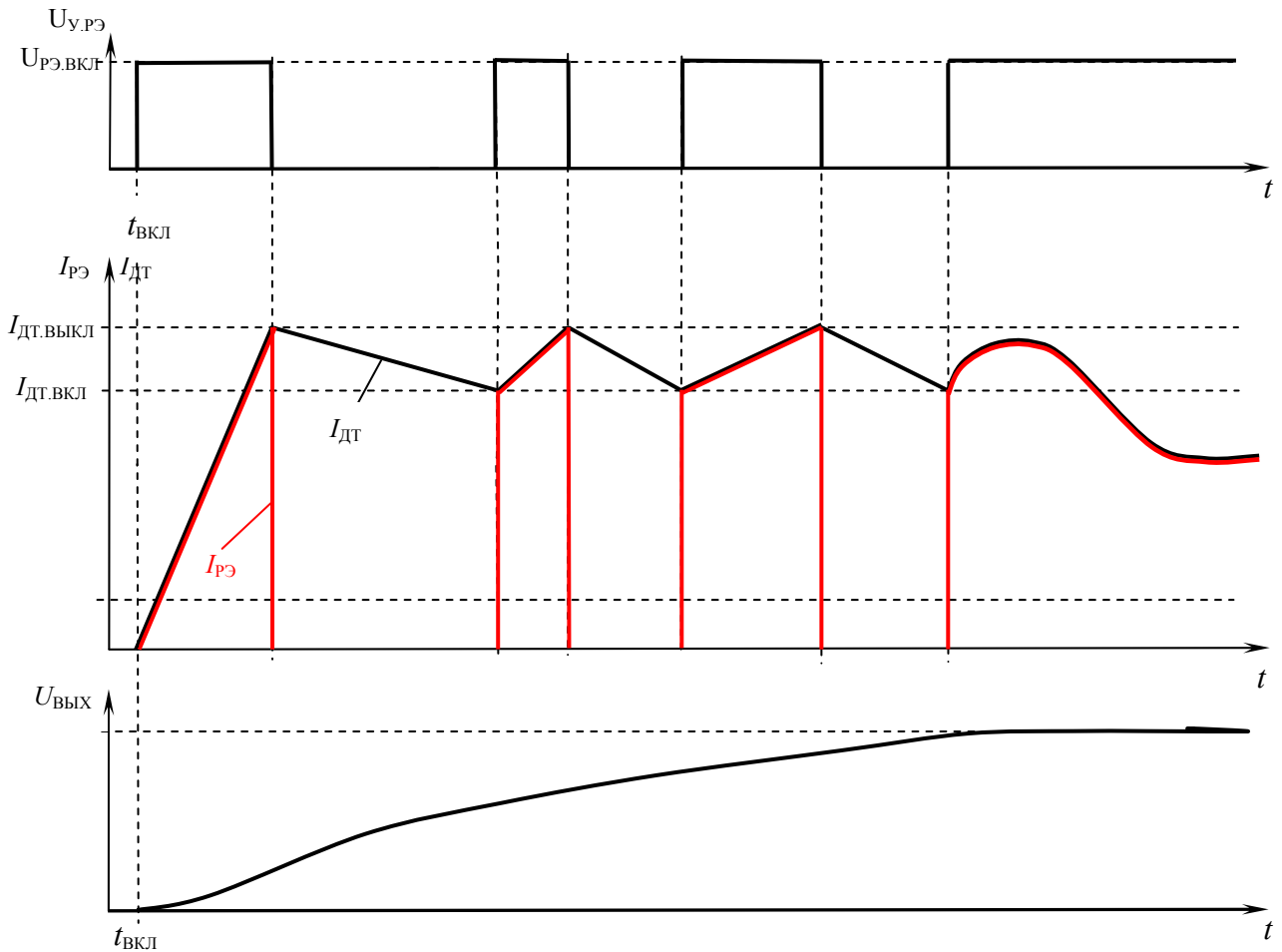


Рис. 3. Эпюры сигналов ОПТ2 при запуске на ёмкостную нагрузку

Относительно небольшая мощность рассеивания на РЭ во время запуска и перегрузки позволяет проектировать на основе этой структуры ОПТ на токи в десятки А.

#### Библиографические ссылки

1. Миронов А. А. Некоторые проблемы разработки ограничителей пускового тока. Обзор по материалам отечественной и зарубежной патентной информации за 1972–1989 гг. / Центр научно-технической информации «Поиск». 1990. Вып. 42. С. 5.
2. Миронов А. А. Структура и алгоритмы работы ограничителей пускового тока для бортовых систем

электропитания // Силовая электроника. 2017. № 1. С. 40–42.

#### References

1. Mironov A. A. Some problems of development of start-up current limiters. Review of the materials of domestic and foreign patent information for 1972–1989. Center for Scientific and Technical Information “Poisk”, 1990. No. 42. P. 5.
2. Mironov A. A. Structure and operation algorithms of start-up current limiters for on-board power supply systems // Journal of Power Electronics., 2017. No. 1. P. 40–42.

© Миронов А. А., 2018