

1236/2-78

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА



476  
Д-819

13/11-78  
13 - 11110

Р.Дульски, М.Липински, Нгуен Вьет Зунг

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СХЕМ  
ЗАЩИТЫ НИЗКОВОЛЬТНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ  
ОТ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

**1977**

13 - 11110

Р.Дульски,\* М.Липински,\* Нгуен Вьет Зунг

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СХЕМ  
ЗАЩИТЫ НИЗКОВОЛЬТНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ  
ОТ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

---

\* Институт электроники горно-металлургической  
академии, Краков, ПНР.



Некоторые вопросы проектирования схем защиты низковольтных источников питания от короткого замыкания

Изложены вопросы защиты низковольтных стабилизированных источников питания от перегрузки и короткого замыкания. Произведен анализ нескольких типов схем защиты, в том числе системы FOLD-BACK. Приведены формулы для расчета этих схем и даны рекомендации по разработке систем защиты.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1977

Some Problems of Overcurrent Protection in Low Voltage Power Supplies

Some problems of overcurrent protection in low voltage power supplies are considered. Some typical circuits, especially of FOLD-BACK type, are analysed, and the practical formulas are given.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1977

Среди различных систем защиты современных низковольтных источников питания одной из основных является система защиты от короткого замыкания /КЗ/.

Ее задачей является защита как последовательного стабилизирующего элемента, так и всех остальных, находящихся в цепи соединения источника питания с электронной аппаратурой /контактов разъемов, тонких дорожек печатных плат и др./, от повреждения в случае перегрузки или просто КЗ.

На рис. 1 показана простая схема защиты от КЗ, а также выходная характеристика источника питания,

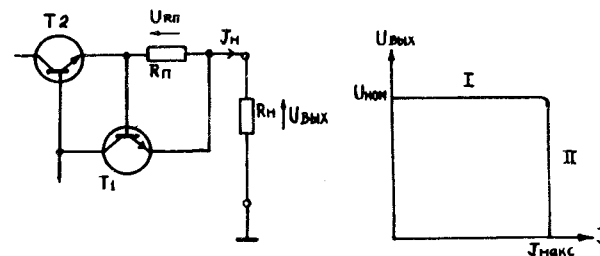


Рис. 1. Принципиальная схема и выходная характеристика системы защиты от КЗ.

имеющего такую защиту. В первой части характеристики источник работает в номинальных условиях как стабилизатор напряжения. С ростом тока нагрузки  $I_H$  напряжение  $U_{Rn}$  увеличивается до момента, когда защищающий транзистор  $T_1$  отпирается. С уменьшением

сопротивления нагрузки  $R_H$  выходной ток увеличивается и в предельном случае достигает значения  $I_{\text{макс}}$ . С этого момента источник представляет собой источник тока /вторая часть характеристики/.

Основным недостатком этой схемы является тот факт, что в случае КЗ на выходе мощность, рассеиваемая выходным транзистором  $T_2$ , намного превышает мощность, рассеиваемую на первом участке характеристики.

Значение сопротивления  $R_{\Pi}$  определяется по формуле:

$$R_{\Pi} = \frac{U_{\text{пр}}}{I_{\text{макс}}}, \quad /1/$$

где:  $U_{\text{пр}}$  - напряжение база-эмиттер /Б-Э/ транзистора  $T_1$ / в случае кремниевого транзистора с достаточной точностью можно принять значение  $U_{\text{пр}} = 0,6 \text{ В}$ ;  $I_{\text{макс}}$  - максимальное значение тока нагрузки.

В последнее время для защиты от КЗ широко применяется схема с уменьшением выходного тока. Эта схема, известная под названием FOLD-BACK /1/, показана на рис. 2, на котором также показана характеристика источника, снабженного защитой этого типа.

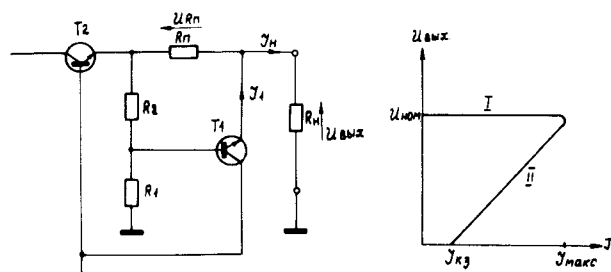


Рис. 2. Принципиальная схема и выходная характеристика системы защиты типа FOLD-BACK.

Когда ток нагрузки  $I_H$  равен нулю, напряжение перехода Б-Э транзистора  $T_1$  смещено в обратном направлении и транзистор  $T_1$  заперт. С ростом тока нагрузки напряжение смещения перехода Б-Э изменяет

полярность, а затем достигает значения, при котором транзистор  $T_1$  отпирается, что, в свою очередь, приводит к уменьшению выходного напряжения и падению напряжения на сопротивлении  $R_2$ .

Так как разность напряжений на  $R_{\Pi}$  и  $R_2$ , которая является входным сигналом системы защиты, не меняется во второй части характеристики благодаря стабилизирующему воздействию перехода Б-Э транзистора  $T_1$ , падение напряжения на  $R_{\Pi}$  уменьшается, что, в свою очередь, приводит к уменьшению выходного тока  $I_H$ .

Расчет схемы защиты сводится к определению значения сопротивления  $R_{\Pi}$  и коэффициента  $a = R_2/R_1$  для определенного значения выходного напряжения  $U_H$  и

$$\text{постоянной } K = \frac{I_{\text{макс}}}{I_{\text{кз}}}.$$

Значение выходного тока  $I_H$  в любой точке второй части характеристики определяется уравнением

$$I_H = \frac{U_{\text{пр}}}{R_{\Pi}}(a+1) + \frac{U_{\text{вых}}}{R_{\Pi}} \cdot a + I_{\text{э1}}, \quad /2/$$

где  $I_{\text{э1}}$  - эмиттерный ток транзистора  $T_1$ .

Для решения этого уравнения неявной формы необходимо учитывать зависимость  $U_{\text{БЭ1}} = f(I_H)$ , имеющую особое значение для участка характеристики, на котором транзистор  $T_1$  отпирается. Этому моменту соответствует начало второго участка характеристики /типичное "колесо"/.

Ниже приведены формулы для практического определения  $a$  и  $R_{\Pi}$ :

$$a = \frac{(K-0,9)U_{\text{пр}}}{U_{\text{вых}} - (K-0,9)U_{\text{пр}}}, \quad /3/$$

$$R_{\Pi} = \frac{U_{\text{пр}}}{I_{\text{кз}}}(a+1). \quad /4/$$

В них не учитывается влияние тока  $I_1$ , и принято, что  $U_{\text{пр}}|_{I_H=I_{\text{макс}}}$  на 10% меньше значения  $U_{\text{пр}}|_{I_H=I_{\text{кз}}}$ .

В табл. 1 показаны значения напряжения  $U_{RП}$  и коэффициента  $\alpha$  для типичных выходных напряжений источника  $U_{ВЫХ}$  и принятых на практике значений коэффициента  $K$ .

Таблица 1

Значения напряжения  $U_{RП}$  и коэффициента  $\alpha$ .

$U_{ВЫХ} / U_{RП}$	2	2,5	3	3,5	4	5
5	$\frac{1,36}{0,152}$	$\frac{1,82}{0,237}$	$\frac{2,36}{0,337}$	$\frac{3}{0,453}$	$\frac{3,75}{0,592}$	$\frac{5,76}{0,968}$
6	$\frac{1,33}{0,123}$	$\frac{1,76}{0,19}$	$\frac{2,25}{0,266}$	$\frac{2,8}{0,351}$	$\frac{3,42}{0,449}$	$\frac{5}{0,695}$
9	$\frac{1,28}{0,079}$	$\frac{1,66}{0,119}$	$\frac{2,07}{0,163}$	$\frac{2,52}{0,21}$	$\frac{3}{0,26}$	$\frac{4,09}{0,376}$
12	$\frac{1,26}{0,058}$	$\frac{1,62}{0,087}$	$\frac{2}{0,117}$	$\frac{2,4}{0,149}$	$\frac{2,82}{0,183}$	$\frac{3,75}{0,196}$
15	$\frac{1,25}{0,046}$	$\frac{1,59}{0,068}$	$\frac{1,95}{0,092}$	$\frac{2,33}{0,116}$	$\frac{2,72}{0,141}$	$\frac{3,57}{0,156}$
24	$\frac{1,23}{0,028}$	$\frac{1,55}{0,042}$	$\frac{1,89}{0,055}$	$\frac{2,24}{0,069}$	$\frac{2,59}{0,084}$	$\frac{3,3}{0,114}$

Для определения значения коэффициента  $K$  необходимо учитывать максимальное значение мощности, рассеиваемой последовательным транзистором, и значение напряжения  $U_{RП}$ , от которого непосредственно зависит КПД источника.

Основным недостатком приведенной выше схемы является необходимость применения относительно больших значений напряжения  $U_{RП}$ , что, в свою очередь,

в случае низких выходных напряжений  $U_{ВЫХ}$ , приводит к значительному уменьшению КПД источника  $/2/$ .

На рис. 3а показан модифицированный вариант схемы типа FOLD-BACK в которой транзистор  $T_1$ , ограничивающий ток, управляется суммой напряжения  $U_{RП}$  и напряжения последовательного регулятора  $U_{БЭ2}$ .

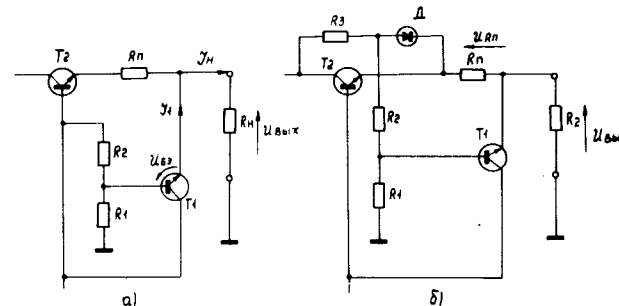


Рис. 3. Модифицированная схема FOLD-BACK.

Эта схема обеспечивает более высокие значения коэффициента  $K$ , что является особенно важным для источников с низким выходным напряжением  $U_{ВЫХ}$ .

Выходная характеристика источника, в котором применяется эта схема, не отличается от характеристики источника, показанной на рис. 2б, но второй участок этой характеристики определяется уравнением:

$$I_H = \frac{U_{ВЫХ} - U_{пр}}{R_{П}} (\alpha + 1) - \frac{U_{ВЫХ} + U_{БЭ2}}{R_{П}} + I_1, \quad /5/$$

где:  $U_{БЭ2}$  - напряжение на переходе Б-Э транзистора  $T_2$ . Расчет схемы сводится к определению следующих значений:

$$\alpha = \frac{U_{пр} (K - 0,9) - K U_{БЭ2}' - U_{БЭ2}'}{U_{ВЫХ} - U_{пр} (K - 0,9)}, \quad /6/$$

$$R_{II} = \frac{U_{\text{ВЫХ}} + 0,9U_{\text{ПР}}}{I_{\text{МАКС}}} (a + 1) - \frac{U_{\text{ВЫХ}} + U_{\text{БЭ}2}}{I_{\text{МАКС}}}, \quad /7/$$

где:  $U_{\text{БЭ}2}$  - напряжение Б-Э  $T_2$  для  $I_H = I_{\text{МАКС}}$ ,  $U_{\text{БЭ}2}$  - напряжение Б-Э  $T_2$  для  $I_H = I_{\text{КЗ}}$ .

Целесообразно подчеркнуть, что недостатком схемы FOLD-BACK, показанной на рис. 3а, является ее температурная нестабильность. А поскольку переход Б-Э транзистора  $T_2$  работает в большом диапазоне температур, это приводит к температурной нестабильности второго участка характеристики.

Этот недостаток легко устраняется путем включения дополнительного диода Д, который выполняет роль, аналогичную переходу Б-Э  $T_2$ . Схема FOLD-BACK с применением этого диода показана на рис. 3б.

Если вместо диода Д использовать переход Б-Э кремниевого транзистора и обеспечить равенство температур его кристалла и кристалла транзистора  $T_1$ , то можно получить почти полную независимость выходного тока источника от температуры на втором участке выходной характеристики.

Значение сопротивления  $R_3$  подбирается так, чтобы ток, протекающий через него, был всегда больше тока делителя  $R_1/R_2$ .

Для всех систем защиты типа FOLD-BACK максимум рассеиваемой последовательным транзистором мощности приходится на второй участок выходной характеристики, обычно для  $I_H \approx 0,7I_{\text{МАКС}}$ . Кривая зависимости этой мощности от  $I_H$  имеет форму обратной параболы, постоянные которой связаны со значением коэффициента К.

Например, для схемы источника, использующего типичный емкостный фильтр, для  $K=2,8$  выполняется условие

$$P_{I_{\text{МАКС}}} \approx P_{\text{КЗ}},$$

где  $P_{I_{\text{МАКС}}}$  - мощность, рассеиваемая транзистором  $T_2$  при  $I_H = I_{\text{МАКС}}$ ,  $P_{\text{КЗ}}$  - мощность, рассеиваемая транзистором  $T_2$  в условиях КЗ. Значение максимальной мощности составляет  $P_{\text{МАКС}} = 1,28P_{I_{\text{МАКС}}}$ . На рис. 4 показана

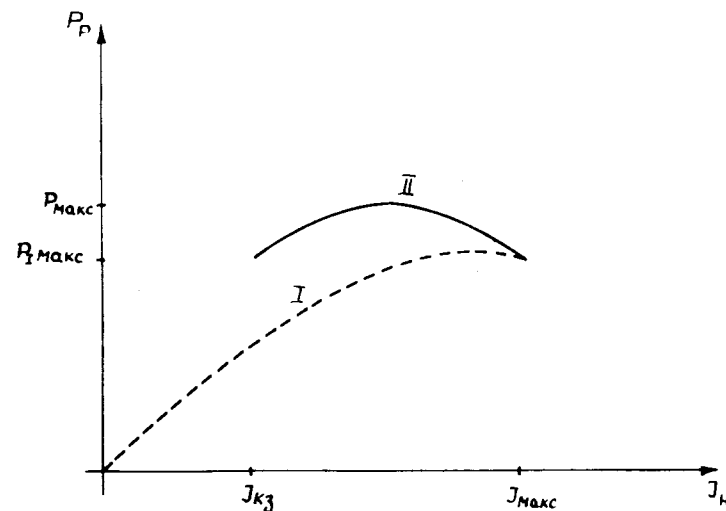


Рис. 4. Зависимость мощности потерь от тока нагрузки.

зависимость мощности потерь от выходного тока  $I_H$ . При проектировании системы защиты типа FOLD-BACK необходимо учитывать характер нагрузки. Если нагрузка нелинейная, имеет, например, характер источника тока, могут возникнуть две стабильные рабочие точки<sup>/3/</sup>. Такая ситуация показана на рис. 5а. Аналогичный эффект, даже для линейной нагрузки, может возникнуть в случае применения схемы, показанной на рис. 3а, в которой

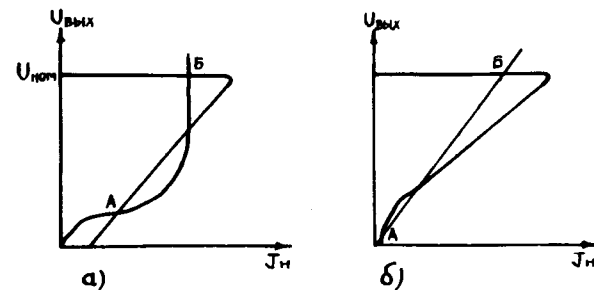


Рис. 5. Влияние нелинейности нагрузки или выходной характеристики на работу источника.

$I_{\text{КЗ}} \ll I_{\text{макс}}$ . Сильная нелинейность выходной характеристики источника питания для  $I_{\text{H}} \approx I_{\text{КЗ}}$  в этом случае вызвана нелинейным характером перехода Б-Э транзистора  $T_2$  из-за малых токов базы /порядка микроампер/.

В обоих перечисленных выше случаях включение нагруженного источника приводит к неправильному установлению рабочей точки А /рис. 5/, а выходное напряжение источника не достигает номинального значения.

Целесообразно подчеркнуть, что в источниках, имеющих малое значение коэффициента ( $K < 5$ ), вероятность такого эффекта очень невелика.

На основе вышесказанного следует, что проектирование источника питания и схем его защиты от КЗ необходимо начинать с предварительного анализа условий его работы и характера нагрузки.

Результаты этого анализа вместе с техническими требованиями к параметрам источника могут являться основой для правильного выбора схем защиты и оптимального значения коэффициента  $K$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *The Voltage Regulator Applications Handbook - Farchild Semiconductor. California, USA, March 1974.*
2. *Источник питания САМАС, тип О41. Техническое описание. ПОЛОН, Краков, 1976.*
3. *Additional Components in Current Limiter. Electronic Design, 1973/23.*

Рукопись поступила в издательский отдел  
28 ноября 1977 года.