

# Устройства поддержания напряжения на основе модулей питания МДМ

Анатолий МИРОНОВ  
mironov@aeip.ru  
Евгений ИНЯКИН  
zenya@list.ru

**В статье рассматриваются вопросы повышения устойчивости работы авиационной радиоэлектронной аппаратуры во время переходных процессов в системах электроснабжения и при кратковременном пропадании напряжения питания. Представлена схематехника конкретных узлов на основе серийно выпускаемых модулей серии МДМ, позволяющая обеспечить работоспособность аппаратуры и существенно уменьшить размеры и емкость буферного конденсатора.**

Задача поддержания работоспособности радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) во время переходных процессов и при кратковременном пропадании напряжения питания актуальна во многих областях применения. Для авиационной бортовой РЭА в аварийном режиме работы системы электропитания важно сохранить бесперебойное функционирование приемников электроэнергии I категории. Зачастую для решения этой задачи применяют простую схему с буферным конденсатором (рис. 1).

На рис. 1 нагрузка  $R_H$  питается стабилизированным напряжением от модуля питания МП с буферным конденсатором  $C$  на входе, который подключен к шине питания  $U_{\Pi}$  через развязывающий диод  $V$ . При пропадании питания на шине  $U_{\Pi}$  модуль МП стабильно работает некоторое время  $T$ , используя заряд конденсатора  $C$ . Время работы зависит в основном от мощности, потребляемой нагрузкой, минимального входного напряжения модуля МП и емкости конденсатора  $C$ .

Недостаток схемы состоит в том, что емкость конденсатора  $C$  необходимо выбирать исходя из минимального рабочего напряжения шины  $U_{\Pi\min}$  с учетом падения напряжения на диоде  $V$ , а его рабочее напряжение — исходя из максимального —  $U_{\Pi\max}$ . Для авиационной бортовой сети в соответствии с ГОСТ Р 54073-2010 минимальное установившееся значение напряжения

шины электропитания в аварийном режиме составляет  $U_{\Pi\min} = 18$  В, максимальное в переходных режимах  $U_{\Pi\max} = 80$  В. Имеют место провалы напряжения до 8 В в течение нескольких секунд, а также кратковременные пропадания напряжения до 80 мс. Система электропитания должна допускать бессбойную работу в указанных пределах изменения напряжения. Однако при таких параметрах сети размеры буферного конденсатора могут значительно превышать размеры и вес собственно МП.

Вначале получим формулы для расчета емкости буферного конденсатора  $C$ . Работа  $A$ , совершаемая электрическим током при разряде конденсатора  $C$  с напряжения  $U_{C\max}$  до напряжения  $U_{C\min}$ , описывается уравнением:

$$A = \frac{C \times U_{C\max}^2}{2} - \frac{C \times U_{C\min}^2}{2}. \quad (1)$$

С другой стороны, справедливо выражение для работы  $A$  электрического тока:

$$A = P \times T,$$

где  $P$  — мощность, потребляемая от конденсатора при его разряде за время  $T$ .

Объединяя эти выражения, получаем:

$$P \times T = \frac{C \times U_{C\max}^2}{2} - \frac{C \times U_{C\min}^2}{2}. \quad (2)$$

Отсюда определим емкость  $C$ , обеспечивающую указанный перепад напряжений на конденсаторе за время  $T$ :

$$C = \frac{2P \times T}{U_{C\max}^2 - U_{C\min}^2}. \quad (3)$$

Применяя формулу (3) для схемы, представленной на рис. 1, необходимо учесть, что:

- $P = P_{\text{ВЫХ}}/\eta$ , где  $\eta$  — КПД модуля МП;
- $U_{C\max} = U_{\Pi\min} - U_V$ , где  $U_V = 0,7$  В — падение напряжения на открытом диоде  $V$ ;
- $U_{C\min} = U_{\text{ВХ}\min}$  — минимальное входное напряжение для модуля МП, при котором обеспечивается стабилизация выходного напряжения.

Тогда в окончательном виде выражение (3) будет выглядеть следующим образом:

$$C = \frac{2P \times T}{\eta \left[ (U_{\Pi\min} - U_V)^2 - U_{\text{ВХ}\min}^2 \right]}. \quad (4)$$

Теперь по формуле (4) оценим параметры буферного конденсатора  $C$  для мощности нагрузки  $P_{\text{ВЫХ}} = 40$  Вт при пропадании напряжения питания на время  $T = 100$  мс. Предположим, что в качестве модуля МП работают модули питания со средним значением КПД  $\eta = 0,8$  и напряжением  $U_{\text{ВХ}\min} = 12$  В. Для перечисленных выше параметров схемы при  $U_{\Pi\min} = 18$  В получаем буферный конденсатор емкостью 64 400 мкФ с рабочим напряжением 100 В.

При повышении напряжения  $U_{\Pi\min}$  время  $T$  также увеличивается, однако ориентироваться при расчете необходимо на его минимальное значение. Следует также заметить, что большая емкость буферного конденсатора практически устраняет негативные последствия при кратковременных провалах напряжения шины до 8 В, что повышает надежность работы системы электропитания в целом. Применяя схему на рис. 1, разработчик

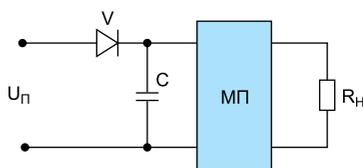


Рис. 1. Устройство поддержания напряжения с буферным конденсатором на входе

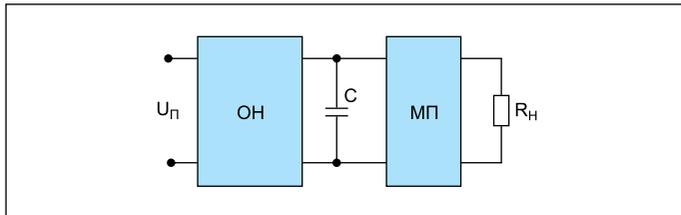


Рис. 2. Устройство поддержания напряжения с ограничителем выбросов напряжения

должен смириться с тем, что размеры и вес буферного конденсатора в несколько раз превышают аналогичные параметры модулей МП.

Несколько лучшие массогабаритные характеристики будет иметь устройство поддержания напряжения, реализованное по схеме на рис. 2.

Здесь вместо развязывающего диода  $V$  на входе системы электропитания устанавливается ограничитель напряжения (ОН), основная задача которого — защитить модули МП и буферный конденсатор  $C$  от выброса напряжения амплитудой 80 В, ограничив его на безопасном уровне максимального входного напряжения  $U_{ВХmax}$ . Обычно  $U_{ВХmax} = 36$  В. Для оценки емкости буферного конденсатора можно пользоваться той же формулой, заменив падение напряжения на открытом диоде  $U_V$  на падение напряжения на ограничителе напряжения  $U_{ОН}$ . В этом варианте исполнения рабочее напряжение буферного конденсатора можно уменьшить до 50 В, что вдвое сократит его размеры и вес. Величина же емкости останется практически той же.

Предприятие «Александр Электрик источники электропитания» серийно выпускает унифицированные модули питания серии МДМ, МДМ-П и МДМ-ЕП, применение которых позволяет значительно улучшить параметры рассматриваемого устройства. Во-первых, минимальное входное напряжение упомянутых серий модулей, при котором сохраняется режим стабилизации напряжения на выходе, значительно меньше  $U_{Пmin} = 18$  В [1]. Во-вторых, они устойчиво работают при кратковременном повышении входного напряжения вплоть до 80 В, а модули питания серии МДМ-ЕП к тому же допускают уменьшение входного напряжения до 8 В [2]! Так, применение в схеме на рис. 1 в качестве МП модуля типа МДМ-ЕП позволяет увеличить время работы  $T$  на 10%.

Значительно уменьшить размеры и вес буферного конденсатора позволяет устройство поддержания напряжения, представленное на рис. 3. Здесь вместо развязывающего диода  $V$  включен модуль питания серии МДМ-ЕП с выходным напряжением  $U_{ВЫХ МДМ-ЕП} = 36$  В. Ограничительный резистор  $R_{огр}$  фиксирует ток заряда буферного конденсатора  $C$  на уровне не более максимального выходного для модуля МДМ-ЕП. После провала напряжения шины  $U_{П}$  диод  $V$  обеспечивает подключение буферного конденсатора на вход модуля МП.

При такой структуре устройства выбросы напряжения сети до 80 В и провалы до 8 В «отрабатывает» первый модуль. Он также поддерживает буферный конденсатор  $C$  в заряженном состоянии. Поскольку выходное напряжение первого модуля  $U_{ВЫХ МДМ-ЕП} = 36$  В, в качестве модуля МП уже может работать любой модуль с максимальным входным напряжением  $U_{ВХmax} = 36$  В. Однако рекомендуется использовать модуль с возможно меньшим значением минимального входного напряжения также серии МДМ-ЕП, поскольку он обеспечивает нормальную работу нагрузки при напряжении на входе вплоть до 8 В. К тому же модули этой серии обеспечивают повышенный КПД до 0,9. Емкость буферного конденсатора для рассматриваемого устройства необходимо рассчитывать, учитывая, что  $U_{Пmin} = 36$  В, а  $U_{ВХmin} = 8$  В. Для перечисленных выше параметров схемы получаем буферный конденсатор емкостью 8500 мкФ с рабочим напряжением 50 В!

Несмотря на впечатляющие результаты по миниатюризации рассмотренной системы электропитания, габариты буферного конденсатора можно еще уменьшить! Для этого необходимо модуль питания МДМ-ЕП выбрать с большим выходным напряжением, например с  $U_{ВЫХ} = 70$  В, а модуль питания МП взять той же серии, но на вход-

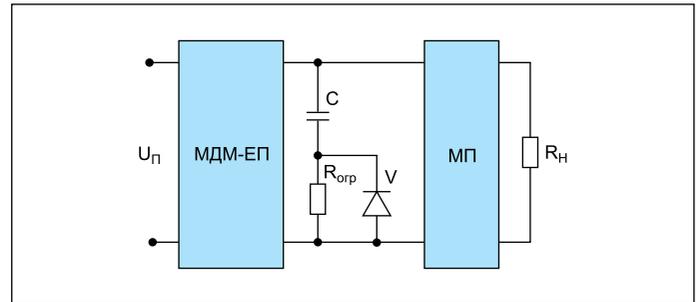


Рис. 3. Устройство поддержания напряжения с модулем питания МДМ-ЕП в качестве ограничителя напряжения

ную сеть И (от 18 до 72 В — установившееся значение входного напряжения, от 15 до 84 В — переходные отклонения). Учитывая, что средний КПД модуля МП  $\eta = 0,9$  при  $U_{Пmin} = 70$  В и  $U_{ВХmin} = 15$  В из выражения (4) получаем емкость буферного конденсатора 1940 мкФ! Это конденсатор 2000 мкФ с рабочим напряжением 100 В.

В рассматриваемой структуре значительно уменьшены размеры и вес буферного конденсатора, а время работы  $T$  при пропадании напряжения уже не зависит от входного напряжения в диапазоне от 8 до 80 В.

### Литература

1. Плоткин И. Р., Миронов А. А., Кравченко М. Н. Модули питания МДМ в бортовых вертолетов и самолетов // Электронные компоненты. 2013. № 3.
2. Твердов И. В., Кравченко М. Н. Модули питания с высоким КПД и широким диапазоном входных напряжений // Электронные компоненты. 2012. № 8.