

ПОДАВЛЕНИЕ ИМПУЛЬСОВ 600 В В БОРТСЕТЯХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

СЕРГЕЙ ЗАТУЛОВ, ООО «Александр Электрик источники электропитания»,
ЕВГЕНИЙ ИНЯКИН, ОАО МНПК «Авионика»

В статье представлены результаты исследования ослабления импульсных помех с амплитудой 600 В с помощью модулей фильтрации, которые устанавливаются в бортовых сетях для подавления радиопомех от импульсных высокочастотных преобразователей. Показано, что эти модули обеспечивают надёжную защиту аппаратуры от таких импульсов.

В цепях электропитания летательных аппаратов (ЛА) на контактах коммутационного оборудования со стороны выключаемых приёмников электроэнергии в момент размыкания цепи, а также за счёт наводок от электромагнитных полей или передачи со стороны приёмников электроэнергии возможно появление импульсов напряжения с амплитудой 600 В (ГОСТ Р 54073). Эти импульсы (см. рис. 1) способны вывести из строя электронную аппаратуру или вызвать в ней сбой. Мы рассмотрим ослабление только положительного импульса, т.к. отрицательный устраняется параллельным включением диода. Для борьбы с импульсами используются высокочастотные (ВЧ) сетевые фильтры, варисторы, полупроводниковые ограничители напряжения. Одновременно в электропитающие цепи устанавливаются фильтры радиопомех (ФРП), кото-

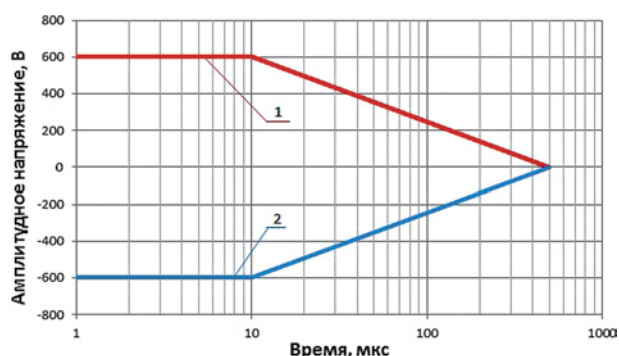


Рис. 1. Положительное (1) и отрицательное (2) амплитудные напряжения

рые подавляют помехи от импульсных ВЧ-преобразователей. Как и высокочастотные сетевые фильтры, ФРП строятся на основе Г- или Т-образных LC-схем. Это позволило предположить, что ФРП могут достаточно эффективно ослаблять импульсную помеху.

В оборудовании, размещаемом на самолётах и вертолётах, в основном используются однопроводные системы электропитания [1], для которых предприятие АЭИЭП выпускает ФРП [2] в модульном исполнении типов МРМ и МРО (см. табл. 1).

Таблица 1. Электрические и эксплуатационные характеристики модулей серий МРМ, МРО БКЮС.468240.003-01 ТУ

Тип сети	Обозначение	Диапазон входного напряжения, В	Значение проходного тока, А	Коэффициент ослабления помех в диапазонах частот, дБ				Падение напряжения на модуле, В	Габаритные размеры (с фланцами), мм	Масса, г	Диапазон рабочей температуры корпуса, °С
				0,15–0,3 МГц	0,3–1,0 МГц	1,0–10 МГц	10–30 МГц				
DC	МРМ1	сеть В – 27 В, диапазон (0...40) сеть Д – 60 В, диапазон (0...84)	2,5	≥ 30	≥ 40	≥ 60	≥ 50	≤ 1% U _{вхmax}	30×20×10 (40×20×10)	20	M: –60...85
	МРМ2		5						50×30×10 (50×30×10)	30	
	МРМ3		10						47,5×33×10 (57,5×33×10)	40	
	МРМ4		20						57,5×40×10 (67,5×40×10)	60	
	МРО1		2,5	≥ 30	≥ 40	≥ 30	≤ 0,5% U _{вхmax}		30×20×10 (40×20×10)	20	
	МРО2		5						40×30×10 (50×30×10)	30	
	МРО3		10						47,5×33×10 (57,5×33×10)	40	
	МРО4		20						57,5×40×10 (67,5×40×10)	60	

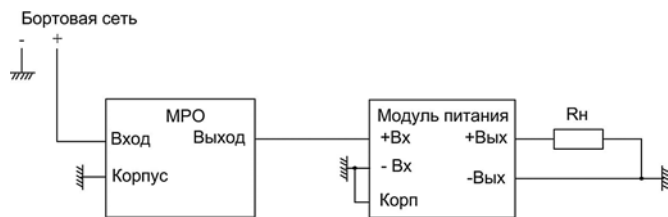


Рис. 2. Схема подключения модуля фильтрации МРО к модулю питания в однопроводной сети



Рис. 3. Схема подключения модуля фильтрации МРМ к модулю питания в однопроводной сети

Модули фильтрации МРО специально разработаны для однопроводных бортсетей. Совместное включение модулей МРО и модулей питания (в качестве примера рассматриваются модули МДМ [3]) не вызывает затруднений (см. рис. 2).

Модули МРМ являются универсальными и применяются как в двухпроводных, так и в однопроводных сетях постоянного тока. В однопроводных бортсетях, когда отрицательный полюс питания заземлён, при подключении модуля фильтра-

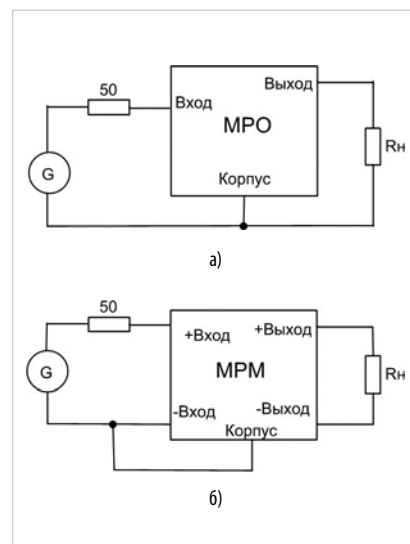


Рис. 4. Схема измерения с подачей импульса по ГОСТ Р 54073 (начальное условие: $U_{вх} = 0$ В) на вход модуля: а) МРО; б) МРМ

Параметры импульса после прохождения через ФРП двух типов МРО2-Д5ДМ и МРМ4-Д20ДМ определялись с помощью моделирования в программе схемотехнического анализа Micro-CAP (демонстрационная версия). Импульс подавался от генератора G с формой по ГОСТ Р 54073 и внутренним сопротивлением 50 Ом при начальных условиях $U_{вх} = 0$ В (см. рис. 4), $U_{вх} = 27$ В (см. рис. 5). Нагрузкой являлось активное сопротивление R_n , рассчитанное для режимов: $U_{вх} = 27$ В, $I_{ном}$; $U_{вх} = 27$ В, $0,1 I_{ном}$

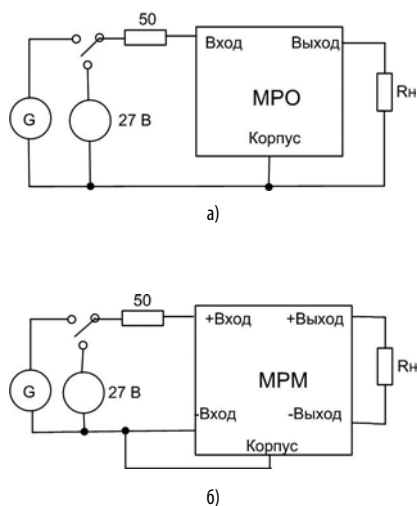


Рис. 5. Схема измерения с подачей импульса по ГОСТ Р 54073 (начальное условие: $U_{вх} = 27$ В) на вход модуля: а) МРО; б) МРМ

ции к модулю питания выводы «КОРП» и «-ВХ» модуля питания соединяются (см. рис. 3). Если заземлён положительный полюс бортсети, то объединяются выводы «КОРП» и «+ВХ» модуля питания.

Аналитическое исследование процессов, происходящих при передаче импульса через ФРП, достаточно сложное, т.к. эквивалентные схемы, особенно с учётом паразитных параметров, описываются дифференциальными уравнениями высокого порядка. Компьютерные программы значительно упрощают решение этой задачи.

Модули фильтрации и защиты

МРМ

Для 1-фазной и 3-х фазной сети переменного тока без нейтрали

Коэффициент ослабления помех до 80 Дб
 Диапазон рабочих температур от минус 60 °С до +85 °С
 Защита от выбросов напряжения до 1000 В
 Приемка "5"

ООО "АЛЕКСАНДЕР ЭЛЕКТРИК источники электропитания"
 129226, Москва, пр-т Мира, 125, тел: (909)156-54-97, (499)181-19-20, (499)181-26-04
 авт. факс: (916)960-91-97, (916)950-87-53, тел/факс: (499)181-05-22
 e-mail: alecsan@aeip.ru www.aeip.ru

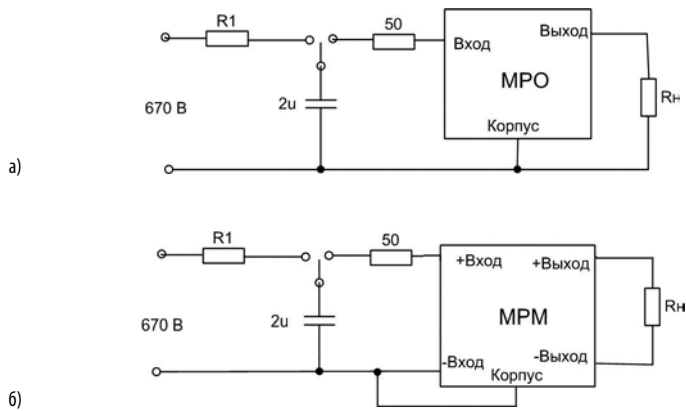


Рис. 6. Схема измерения с подачей импульса разрядом конденсатора на вход модуля: а) МРО; б) МРМ

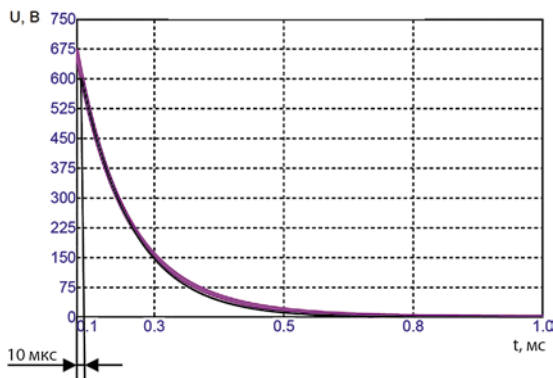


Рис. 7. Форма импульса на конденсаторе и генераторе

($I_{ном}$ — номинальный проходной ток модуля фильтрации).

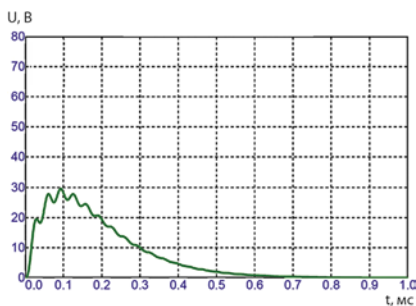
Для экспериментальной проверки результатов компьютерного моделирования был изготовлен макет, в котором для формирования импульса 600 В использовался разряд конденсатора ёмкостью 2 мкФ от напряжения 670 В через резистор (см. рис. 6).

Форма импульса примерно повторяет заданную ГОСТом за исключением плоского начального участка (600 В в течение 10 мкс), где действует импульс большего напряжения.

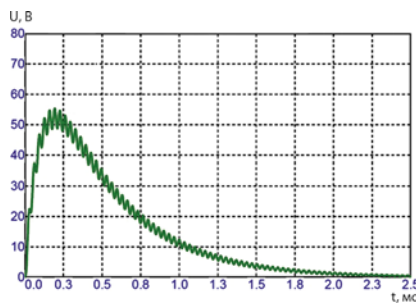
На рисунке 7 показана форма импульса на конденсаторе 2 мкФ (фиолетовая кривая) и на генераторе с помощью моделирования в программе Micro-CAP (черная кривая) при измерениях с модулем МРО2-Д5ДМ при номинальном токе нагрузки.

Результаты измерения напряжения на выходе ФРП с помощью моделирования в программе Micro-CAP и осциллограммы, полученные на макете с реальными образцами, приведены на рисунках 8–9. Измерения выполнялись для двух типов модулей фильтрации МРО2-Д5ДМ и МРМ4-Д20ДМ в режиме номинальной нагрузки $I_{ном}$ и $0,1I_{ном}$ при начальных условиях $U_{вх} = 0$ В и $U_{вх} = 27$ В.

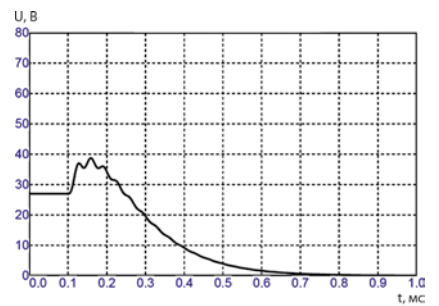
На рисунке 8а, б показано напряжение на выходе модуля фильтра-



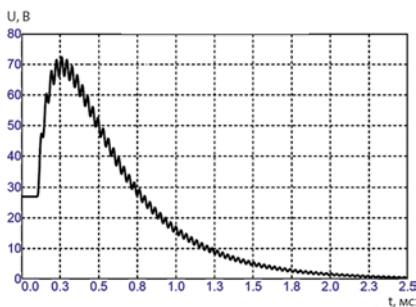
а) $\Delta U = 29,5$ В; $I_{ном} = 5$ А



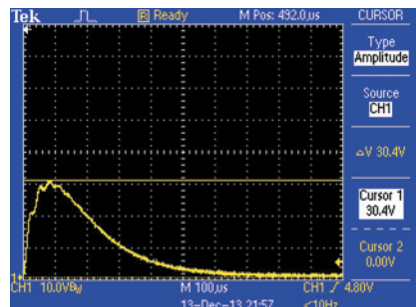
б) $\Delta U = 55,1$ В; $0,1I_{ном} = 0,5$ А



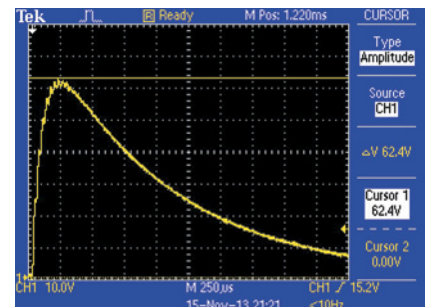
в) $\Delta U = 38,7$ В; $I_{ном} = 5$ А



г) $\Delta U = 72,0$ В; $0,1I_{ном} = 0,5$ А



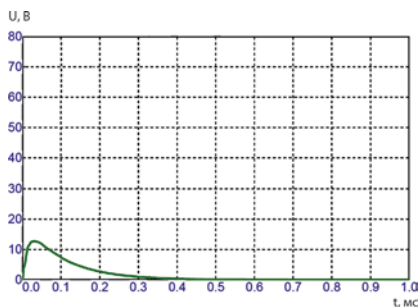
д) $\Delta U = 30,4$ В; $I_{ном} = 5$ А



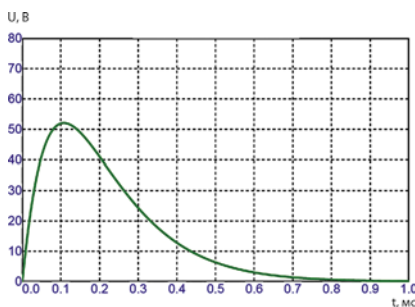
е) $\Delta U = 62,4$ В; $0,1I_{ном} = 0,5$ А

Рис. 8. Формы напряжения на выходе модуля МРО2-Д5ДМ:

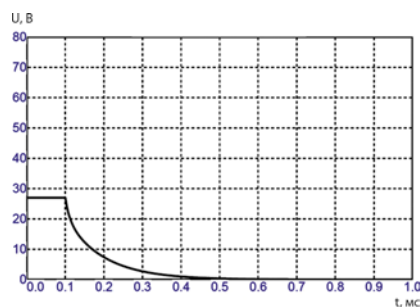
- при воздействии импульса по ГОСТ Р 54073 (моделированием) в следующих режимах: а) начальное условие: $U_{вх} = 0$ В; $I_{ном}$; б) начальное условие: $U_{вх} = 0$ В; $0,1I_{ном}$; в) начальное условие: $U_{вх} = 27$ В; $I_{ном}$; г) начальное условие: $U_{вх} = 27$ В; $0,1I_{ном}$
- при воздействии импульса разрядом конденсатора в следующих режимах: д) начальное условие: $U_{вх} = 0$ В; $I_{ном}$; е) начальное условие: $U_{вх} = 0$ В; $0,1I_{ном}$



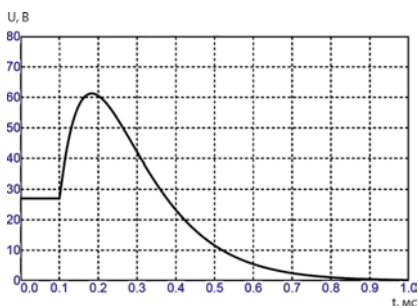
а) $\Delta U = 12,9 \text{ В}; I_{\text{ном}} = 20 \text{ А}$



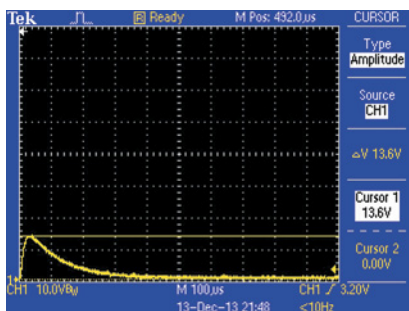
б) $\Delta U = 52 \text{ В}; 0,1 I_{\text{ном}} = 2 \text{ А}$



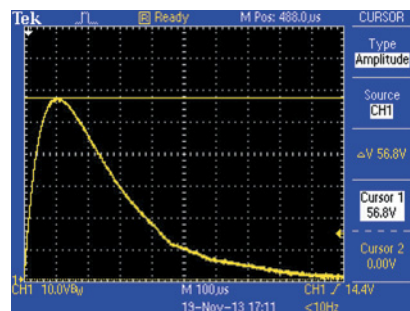
в) $\Delta U = 0 \text{ В}; I_{\text{ном}} = 20 \text{ А}$



г) $\Delta U = 61 \text{ В}; 0,1 I_{\text{ном}} = 2 \text{ А}$



д) $\Delta U = 13,6 \text{ В}; I_{\text{ном}} = 20 \text{ А}$



е) $\Delta U = 56,8 \text{ В}; 0,1 I_{\text{ном}} = 2 \text{ А}$

Рис. 9. Формы напряжения на выходе модуля МРМ4-Д20ДМ:

– при воздействии импульса по ГОСТ Р 54073 (моделированием) в следующих режимах:
 а) начальное условие: $U_{\text{вх}} = 0 \text{ В}; I_{\text{ном}}$; б) начальное условие: $U_{\text{вх}} = 0 \text{ В}; 0,1 I_{\text{ном}}$; в) начальное условие: $U_{\text{вх}} = 27 \text{ В}; I_{\text{ном}}$;
 г) начальное условие: $U_{\text{вх}} = 27 \text{ В}; 0,1 I_{\text{ном}}$
 – при воздействии импульса разрядом конденсатора в режимах
 д) начальное условие: $U_{\text{вх}} = 0 \text{ В}; I_{\text{ном}}$; е) начальное условие: $U_{\text{вх}} = 0 \text{ В}; 0,1 I_{\text{ном}}$

ции МРО2-Д5ДМ при воздействии на входе импульса 600 В для двух нагрузок с номинальным током $I_{\text{ном}}$ и током $0,1 I_{\text{ном}}$ (начальное условие: $U_{\text{вх}} = 0$). Напряжение на выходе модуля фильтрации значительно уменьшилось по сравнению с уровнем 600 В и не превысило допустимого значения переходного отклонения 80 В для модулей питания МДМ [3], рассматриваемых в качестве примера использования с модулями МРМ и МРО. Амплитуда этого напряжения (см. рис. 8в, г) при начальном условии $U_{\text{вх}} = 27 \text{ В}$ выросла несущественно — на величину напряжения, не превышающего $U_{\text{вх}}$. При уменьшении тока нагрузки конденсатор на входе модуля фильтрации ($C_{\text{вх}}$) заряжается быстрее, что вызывает повышение напряжения на его выходе.

Сравнение осциллограмм (см. рис. 8д, е) с кривыми выходного напряжения (см. рис. 8а, б), полу-

ченными при моделировании, позволило оценить погрешность компьютерного моделирования, которая не превышает 3–5%.

Аналогичные кривые и осциллограммы выходного напряжения для модуля фильтрации МРМ4-Д20ДМ представлены на рисунке 9. Сравнение показывает, что во всех режимах модуль МРМ, у которого ёмкость $C_{\text{вх}}$ близка по значению ёмкости $C_{\text{вх}}$ в МРО, при больших в четыре раза тока нагрузки обеспечивает лучшее ослабление входного импульса 600 В. В режиме номинальной нагрузки и при начальных условиях $U_{\text{вх}} = 27 \text{ В}$ импульс на выходе практически отсутствует (см. рис. 9в). Осциллограммы (см. рис. 9д, е) подтверждают хорошую сходимость результатов компьютерного и физического моделирования.

В заключение следует заметить, что модули питания с номинальным значе-

нием входного напряжения 27 В, выпускаемые предприятием ООО АЗИЭП, изначально рассчитаны на работу от авиационной бортовой сети 27 В с выбросом до 80 В. Применение их совместно с модулями фильтрации серий МРО и МРМ в системах электропитания обеспечит надёжную защиту электронной аппаратуры от импульсов с амплитудой 600 В в бортовых летательных аппаратах.

ЛИТЕРАТУРА

1. И. Твердов, С. Затулов. Универсальные фильтры радиопомех в однопроводных бортовых сетях подвижных объектов. Труды конференции «Научно-технические проблемы электропитания». М. 2011.
2. Руководящие технические материалы. Модули фильтрации и защиты. АЗИЭП. М. 2011.
3. Каталог ООО «АЛЕКСАНДЕР ЭЛЕКТРИК источники электропитания». Осень 2013 г.