

Новые малогабаритные DC/DC модули АЭИЭП серии МДМ-ЕП

ООО «Александр Электрик источники электропитания». Тел.: (499)181-19-20, (499)181-26-04, (909)156-54-97. Факс: (499)181-05-22, (916)950-87-53. Web-сайт: www.aeip.ru. E-mail: alecsan@aeip.ru.

И.Р. Плоткин, И.В. Твердов, С.Л. Затулов, А.В. Журба.

Московское предприятие «АЛЕКСАНДЕР ЭЛЕКТРИК источники электропитания» (далее АЭИЭП) начало выпуск новых модулей электропитания серии МДМ-ЕП в диапазоне мощностей 7,5...750 Вт. Новые модули имеют удельную мощность 2500...3800 Вт/дм³ и по этому показателю превосходят продукцию многих отечественных и зарубежных фирм. В статье особое внимание уделяется ЭМС, так как модули работают на высоких частотах преобразования (до 500 кГц) и помехи с большим уровнем попадают в диапазон радиовещания и телевидения.

Ключевые слова: модуль электропитания, DC/DC модуль.

The Moscow firm "ALEXANDER ELECTRIC istochniki electropitaniya" started production of new power DC/DC modules of the MDM-EP series with the range of output power 7.5 ... 750 W. The new modules have a specific power of 2500 ... 3800 W / dm³ and in this indicator surpass the output of many domestic and foreign firms. In the article, special attention is paid to EMC, since the modules operate at high conversion frequencies (up to 500 kHz) and interference with a large level falls within the range of broadcasting and television.

Keywords: power supply module, DC / DC module.

Для сравнения на рис. 1а представлен 10-ваттный модуль МДМ10-1Е3,3ВУП первого поколения [1], на рис. 1б – новый 15-ваттный модуль МДМ15-1Е3,3ВУП второго поколения.

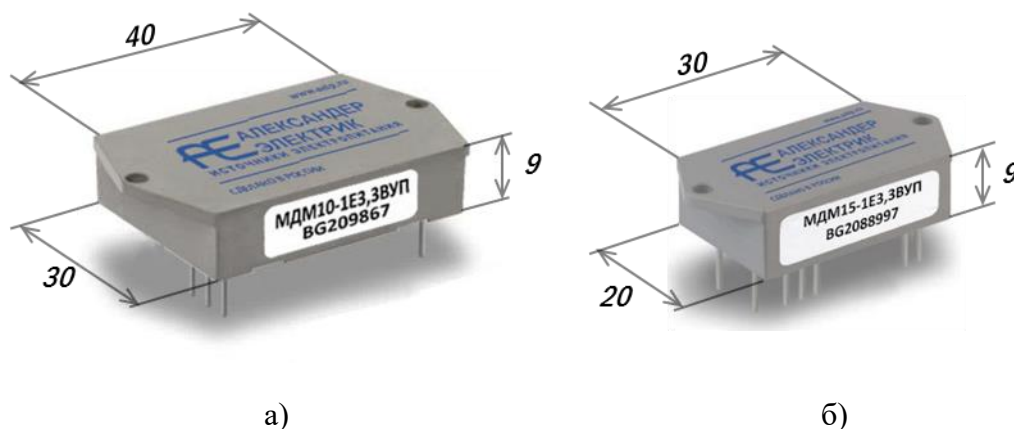


Рис.1 Модули двух поколений

По основному критерию миниатюризации, удельной мощности Вт/дм³, модули второго поколения в 3 раза превосходят модули первого.

Новые модули МДМ-ЕП, как и предыдущие этой серии [1, 3], предназначены для применения в сетях постоянного тока с ультрашироким диапазоном напряжения 9...36 В (переходное отклонение 8...80 В) и 18...72 В (переходное отклонение 15...84 В). Модули с диапазоном входных напряжений

9...36 В сохраняют стабильные параметры в борсети с нормами качества электроэнергии в соответствии с ГОСТ Р 54073-2010.

Для нового поколения модулей появились **новые сети**. Для модулей МДМ-ЕП мощностью 60...750 Вт возможно исполнение с диапазоном входных напряжений 43...160 В (переходное отклонение 36...166 В) для применения в системах электропитания подвижного ж/д состава или стационарных объектах, питаемых от электрогенераторов, и для преобразования высоковольтного постоянного напряжения от резервного источника питания или шины, формируемой бортовым генератором и выпрямителем, - с напряжением в диапазоне 85...350 В (переходное отклонение 80...400 В).

В зависимости от исполнения модули имеют один, два или три гальванически развязанных выходных канала, могут включаться и выключаться по команде, имеют полный комплекс защит: от перегрузки по току, короткого замыкания, перегрева, подстройку выходного напряжения $\pm 5\%$ для одноканального исполнения. Трансформаторная обратная связь обеспечивает надежное функционирование модулей в условиях воздействия высокой температуры.

Кроме очевидного уменьшения габаритов модули мощностью от 200 до 750 Вт получили **новую функцию** – «синхронизация», которая обеспечивает работу модулей на одной общей частоте.

Система обозначения модулей показана на Рис.2.



Рис.2 Система обозначения модулей

Сравнение параметров модулей МДМ-ЕП двух поколений представлено в таблице 1.

Таблица 1. Параметры модулей двух поколений.

Тип преобразователя I поколение II поколение	МДМ3; 5 МДМ7,5	МДМ8 МДМ15	МДМ10 МДМ18	МДМ20 МДМ30	МДМ40 МДМ60	МДМ80 МДМ120	МДМ160 МДМ200	МДМ240 МДМ320	МДМ480 МДМ750
Выходная мощность, Вт	3; 5 7,5	8 15	10 18	20 30	40 60	80 120	160 200	240 320	480 750
Максимальный выходной ток, А	1; 1,5 2	2 4	3 5	5 6	10 12	15 20	25 30	30 35	40 45
Диапазон входного напряжения (переходное отклонение), В	«Е» – 9 ... 36 (8 ... 80) «И» – 18 ... 72 (15 ... 84)				«Е» – 9 ... 36 (8 ... 80) «И» – 18 ... 72 (15 ... 84) «Ф» – 43 ... 160 (36 ... 166) «Г» – 85 ... 350 (80 ... 400)				
Выходные напряжения, В	1,5 ... 80								
Количество выходных каналов	1, 2	1, 2	1, 2, 3	1, 2	1, 2	1, 2	1	1	1
Типовой КПД, %	80 80	83 86	83 86	88 88	89 89	89 90	87 88	87 88	88 89
Частота преобразования, кГц	250 400	250 400	250 300	250 250	250 270	250 250	170 170	170 170	170 170
Диапазон рабочей температуры, °С	-60 ... +115 для приёмки «5» (-60 ... +125 для приёмки «ОТК»)								
Габаритные размеры (с фланцами), мм	30×20×8 (40×20×8)	30×20×9 (40×20×9)	40×30×9 (50×30×9)	48×33×9 (58×33×9)	58×40×10 (68×40×10)	73×53×13 (85×53×13)	95×68×13 (107×68×13)	110×84×13 (122×84×13)	127×97×13 (139×97×13) 127×97×16 (139×97×16)
Масса модуля (с фланцами) не более, г	15 (20)	20 (25)	35 (40)	45 (50)	65 (70)	120 (130)	200 (210)	270 (280)	390 (400) 480 (490)

Как видно из таблицы, КПД (η) новых модулей на 1...3 % выше предыдущих, и в тех же габаритах мощность в 1,5...2 раза больше.

Новые модули, как и предыдущие, работают в широком диапазоне температур -60...+115°С и жёстких условиях эксплуатации (Таблица 2).

Таблица 2. Внешние воздействующие факторы

Наименование воздействующего фактора, единица измерения	Значение воздействующего фактора
Механические факторы	
Синусоидальная вибрация: диапазон частот, Гц амплитуда ускорения, м/с^2 (g)	1 – 2000 200 (20)
Широкополосная случайная вибрация: диапазон частот, Гц среднеквадратическое значение ускорения, м/с^2 (g) спектральная плотность ускорения, $\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-4} \cdot \text{Гц}^{-1}$ ($\text{г}^2/\text{Гц}$)	20-2000 230 (23) 5 (0,05)
Механический удар одиночного действия: пиковое ударное ускорение, м/с^2 (g)	10000 (1000)

длительность действия ударного ускорения, мс	0,1 - 2
Механический удар многократного действия: пиковое ударное ускорение, м/с ² (g)	1500 (150)
длительность действия ударного ускорения, мс	5 - 10
Акустический шум: диапазон частот, Гц	50 – 10000
уровень звукового давления (относит. $2 \cdot 10^5$ Па), дБ	170
Линейное ускорение, м/с ² (g)	1150 (115)
Климатические факторы	
Повышенная температура среды, °С: при эксплуатации	115
при транспортировании и хранении	125
Пониженная температура среды, °С: при эксплуатации	минус 60
при транспортировании и хранении	
Повышенная температура корпуса, °С:	115
Повышенная влажность воздуха: относительная влажность при температуре среды 35 °С, %	98
Повышенное давление (при эксплуатации), Па (мм рт.ст.)	$2 \cdot 10^5$ (1500)
Атмосферное пониженное давление, Па (мм.рт.ст.)	$1,33 \cdot 10^{-4}$ (10^{-6})
Изменение атмосферного давления, Па/с (мм.рт.ст./с)	9000 (70)
Атмосферные конденсированные осадки (иней, роса): при пониженной температуре среды, °С	минус 20
при пониженном атмосферном давлении, Па (мм.рт.ст.)	$22,67 \cdot 10^3$ (170)
при относительной влажности не менее, % (при 28 °С)	95
Соляной (морской) туман	ГОСТ РВ 20.57.416
Статическая пыль (песок): концентрация, г/м ³	3
скорость циркуляции, м/с	0,5 – 1,0
Плесневые грибы: при относительной влажности, %	ГОСТ 28206 95 – 98
при температуре, °С	29

Схемотехника и КПД модулей

Повышение КПД (η) являлось основной задачей при создании новых модулей, в которых приняты все возможные меры для снижения потерь: ограничены выбросы напряжения на силовом ключе, применен планарный трансформатор и синхронный выпрямитель на MOSFETax.

Основой модулей МДМ-ЕП является обратноходовой преобразователь с подключением конденсатора к нулевой шине (Рис.3), работающий на частотах до 500 кГц [2]. Такое подключение конденсатора уменьшает перенапряжение на MOSFETax и позволяет использовать низковольтные ключи с меньшим падением напряжения. Главные преимущества преобразователя – низкие потери и экономичность процесса передачи мощности схемы с ШИМ, поскольку колебания напряжения и тока имеют прямоугольную форму. Эти преимущества позволили на частотах сотни кГц получить КПД силового ключа ($\eta_{\text{кл}}$) 90...92 %. Снижение потерь было достигнуто также за счёт трансформатора, выполненного на планарном сердечнике с обмоткой в виде плоских медных дорожек на многослойной печатной плате и за счет выходного синхронного выпрямителя на MOSFETax.

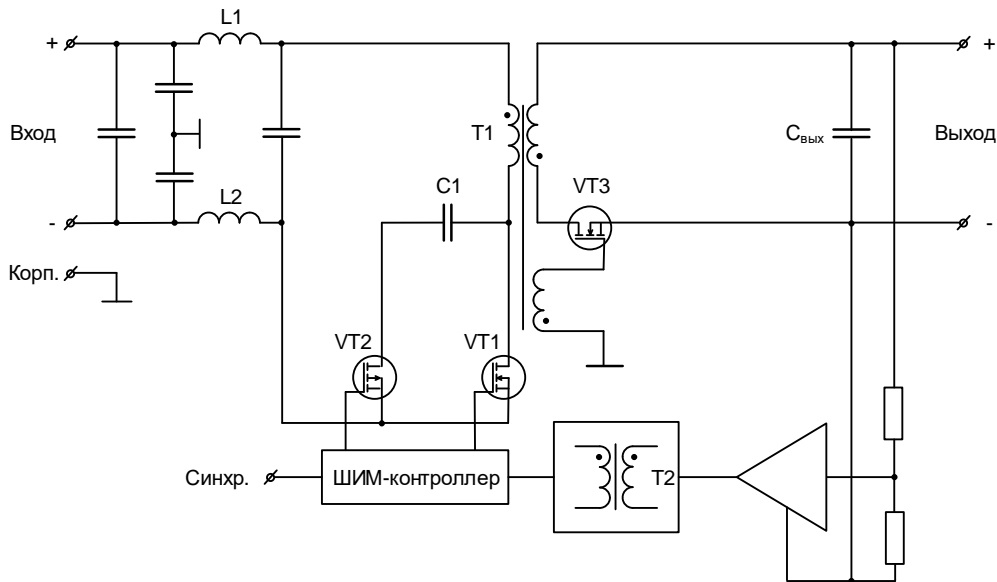


Рис.3 Преобразователь с конденсатором, подключенным к нулевой шине.

Экспериментально полученные зависимости КПД нового модуля МДМ18-1Е05ВП в корпусе 40×30×9 мм от тока нагрузки и входного напряжения представлены на рис. 4. КПД модулей при номинальном входном напряжении и типовой нагрузке $0,8I_{ном}$ составляет 87 % и незначительно меняется в диапазоне нагрузок $(0,5...1,0)P_{ном}$ и входного напряжения 9...36 В.

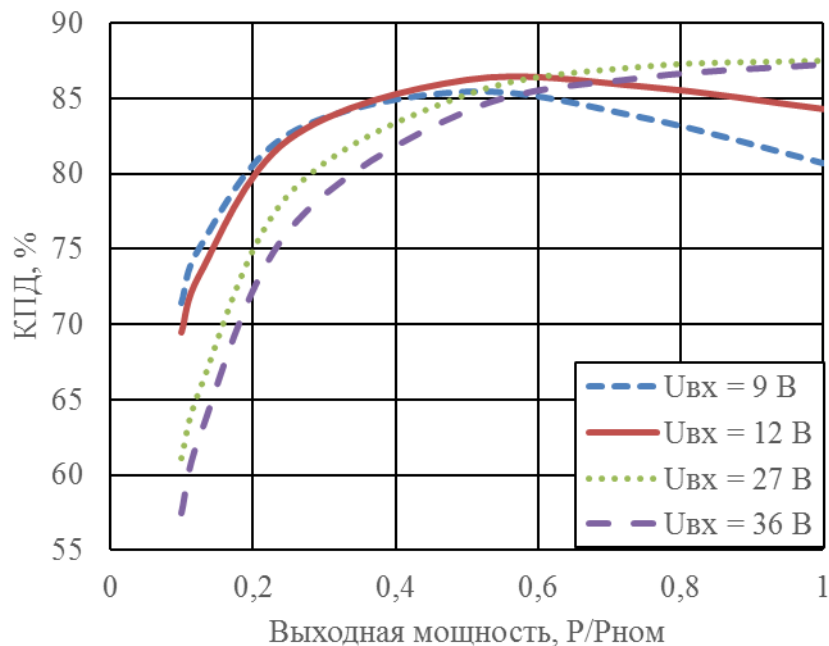


Рис.4 График зависимости КПД от нагрузки и входного напряжения для МДМ18–1Е05ВП.

ЭМС

В последние годы обостряется проблема обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) импульсных модулей с питающей сетью и радиоэлектронной аппаратурой. Прежде всего, это связано с ростом частоты преобразования, которая у современных модулей составляет сотни кГц. В результате частотный спектр помех перемещается в сторону более высоких частот. Уже на частоте преобразования помеха на уровне сотни тысяч микровольт попадает в диапазон длинных волн, а затем, уменьшаясь обратно пропорционально частоте, распространяется на все диапазоны радиовещания и телевидения.

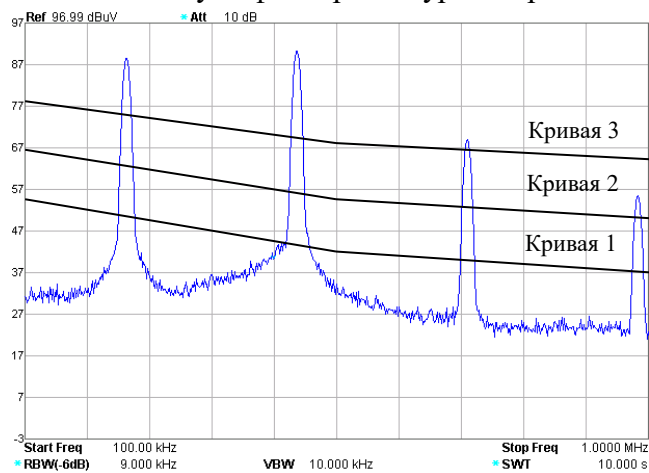
Для подавления помех в новых модулях серии МДМ-ЕП была сделана попытка использовать встроенные фильтры радиопомех (ФРП) предыдущей серии. Но при переходе на частоту преобразования 400 кГц вместо 250 кГц эти ФРП оказались малоэффективны. Хотя схема ФРП осталась неизменной, потребовалось изменение параметров элементов и конструкции.

Вторая причина увеличения помех связана с применением высокоплотных технологий при изготовлении модулей. В малогабаритных модулях основной источник помех – транзисторный ключ находится вблизи входного разъема, в результате растет наведенная помеха на входные клеммы.

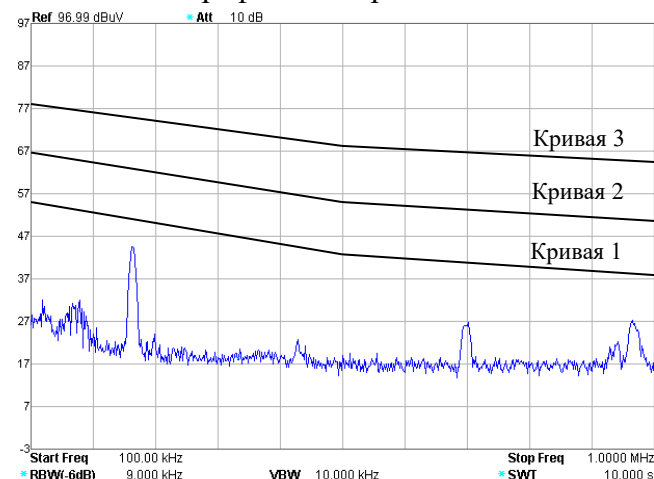
Новые модули мощностью 15 Вт удалось разместить в габаритах 5-ваттного модуля первого поколения. В результате уплотнения наводки радиопомех на разъемы увеличились. Чтобы уровни помех остались на допустимом уровне потребовались новые конструктивные решения.

На рис. 5а, 5б показаны типичные графики напряжения радиопомех на входе новых модулей. Из сравнения результатов измерения с Нормами следует, что уровни радиопомех значительно выше всех Норм, как в начале нормируемого участка, так и до частоты 30 МГц.

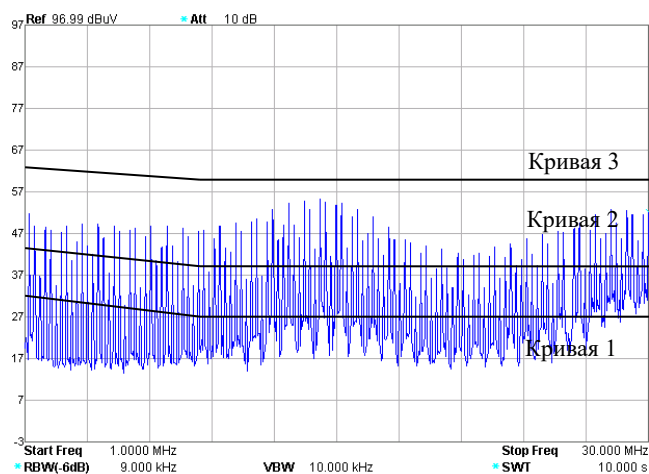
Чтобы обеспечить высокие требования ГОСТов на входе применяются внешние модульные фильтры или используются типовые схемы подключения [1]. Как видно из рис. 5в, 5г при применении модуля фильтрации уровни радиопомех ниже значений графика 2 Норм.



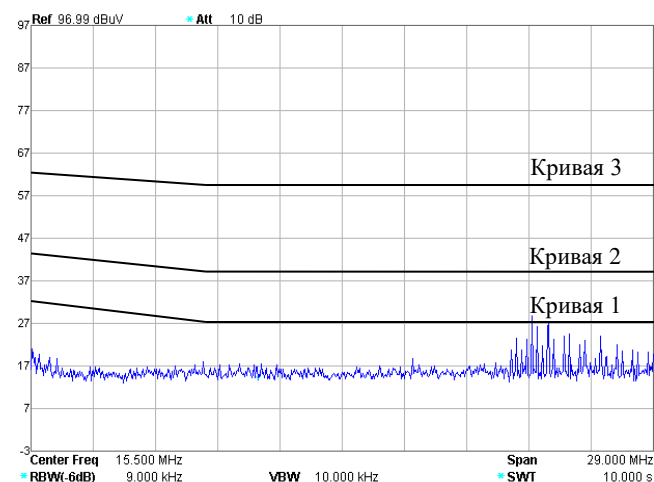
а)



б)



в)



г)

Рис. 5 Спектрограммы для новых модулей

Аналогичные результаты получены при применении на входе типовых схем подключения.

Сервисные функции модулей

Все модули содержат функцию подстройки выходного напряжения $\pm 5\%$ от номинального значения, модули мощностью 80 Вт и более имеют выносную обратную связь. Модули МДМ200-ЕП...МДМ750-ЕП допускают параллельное соединение по выходу при работе на общую нагрузку и содержат выносную обратную связь для компенсации падения на проводах. Эти же модули могут быть синхронизированы для работы на одной общей частоте или подключены к внешнему источнику синхронизирующих импульсов (Рис. 6). Например, модуль МДМ750-ЕП с частотой преобразования 170 кГц допускает подачу на выводы «Синхр.» импульсов с частотой 190...270 кГц. На более низких и высоких частотах синхронизации, модуль переходит на работу от ШИМ контролера на собственной частоте.

Осциллограммы пульсаций выходного напряжения без синхронизации и с синхронизацией работы на одной частоте приведены на рис. 7. При работе без синхронизации (Рис. 7а) на осциллограмме можно видеть биения, в то время как при её наличии (Рис. 7б) биения отсутствуют, и на осциллограмме присутствуют пульсации с частотой синхронизации и их высокочастотные составляющие.

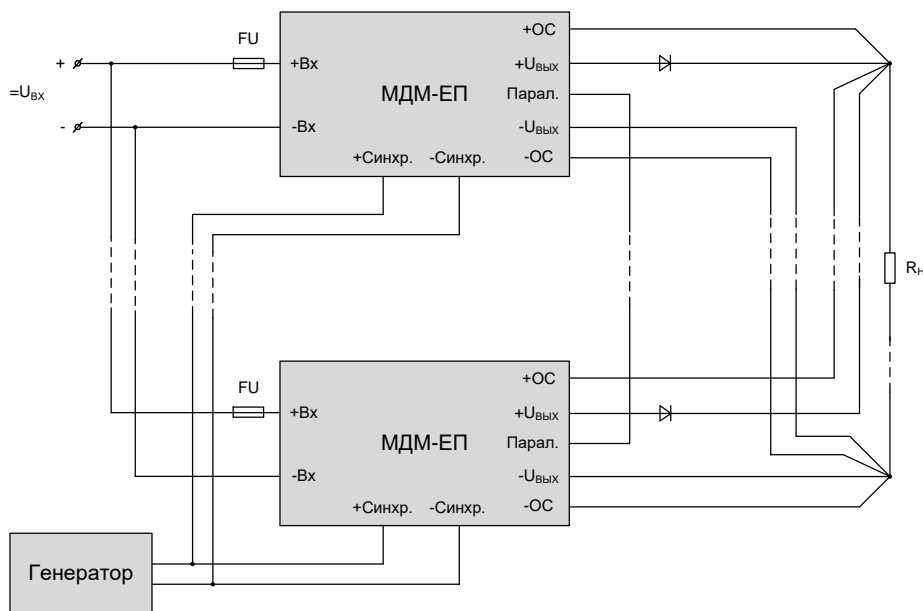
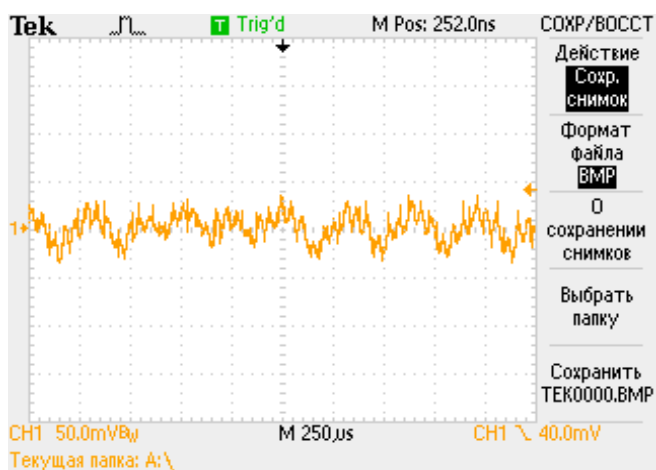
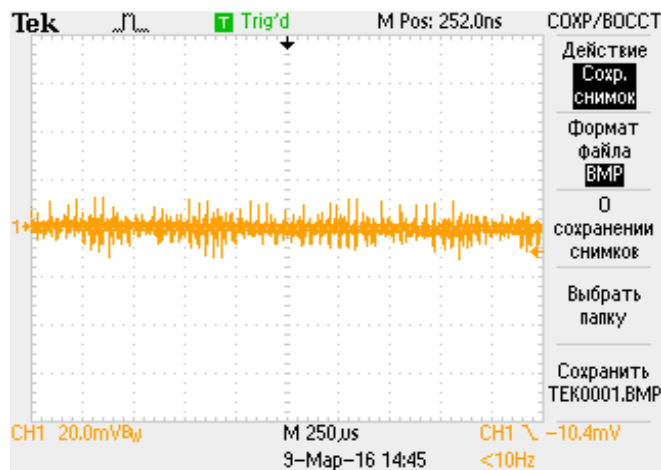


Рис.6 Схема включения модулей МДМ-ЕП для параллельной работы с внешней синхронизацией частоты преобразования



а)



б)

Рис.7 Осциллограммы пульсаций выходного напряжения модулей: а) – без синхронизации б) - с синхронизацией;

Рассмотренные технические характеристики и функциональные возможности делают модули МДМ-ЕП весьма привлекательными для электропитания многих видов электронной техники [3]. К тому же, стоимость этих моделей в 3-4 раза меньше зарубежных.

1. Руководящие технические материалы по применению модулей электропитания МДМ, МДМ-П, МДМ-ЕП, МДМ-М М.2010, АЭИЭП.

2. А. Поликарпов и др. «Однотактные преобразователи напряжения в устройствах электропитания РЭА». М. Радиосвязь 1989.

3. М. Кравченко и др. «Как выбрать модуль электропитания для распределённой системы». Сб. докладов конференции ассоциации «Электропитание» 2016.