ОСНОВНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГРАММЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИМПУЛЬСНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ LTPOWERCADII

статье приведена краткая информация о Dпрограмме моделирования LTpowerCADII, разработанной компанией Analog Devices. На примерах продемонстрированы основные функциональные возможности программы по проектированию импульсных DC/DC-преобразователей. Отличительной особенностью программы является возможность проектирования помехоподавляющих фильтров и отображения спектра помех при включенном и отключенном фильтре помех. Программа позволяет проверить соответствие параметров преобразователя требованиям стандартов по электромагнитной совместимости, а именно по уровню кондуктивных помех, требованиям различных стандартов.

В. Макаренко

Компания Analog Devices выпустила новую версию программы LTpowerCADII [1], которая позволяет осуществлять проектирование импульсных источников питания на основе ИМС и микромодулей, выпускаемых компанией. Рассмотрим кратко ее возможности. Для ускорения освоения этой программной среды Analog Devices предлагает рекомендации по быстрому освоению работы [2] и подробные описания возможностей и порядка работы со средой проектирования [3, 4].

Рассмотрим кратко основные возможности LTpowerCAD. После пуска программы открывается окно (рис. 1), в котором выведены иконки всех модулей среды проектирования.



Рис. 1. Стартовое окно LTpowerCAD

KEY FEATURES OF LTPOWERCADII POWER SUPPLY DESIGN ENVIRONMENT

Abstract - This article provides a summary of the LTpowerCADII simulation program developed by Analog Devices. The examples demonstrate the basic functionality of the program for designing switching DC / DC converters. A distinctive feature of the program is the ability to design noise suppression filters and display the noise spectrum when the noise filter is on and off. The program allows you to check the compliance of the converter parameters with the requirements of the standards for electromagnetic compatibility, namely the level of conducted interference, the requirements of various standards.

V. Makarenko

ЭКиС

Рассмотрим назначение каждого модуля в процессе проектирования импульсного источника питания. Модуль Supply Design (рис. 2) позволяет задать требуемые параметры источника питания. Рассмотрим пример проектирования понижающего преобразователя напряжения со следующими параметрами:

- диапазон изменения входного напряжения от 8 до 40 В
- выходное напряжение 5 В
- ток нагрузки 5 А.

Параметры вводятся в верхней части окна модуля Supply Design (рис. 3).

Топологию преобразователя (Converter Topology) при необходимости можно выбрать из выпадающего списка (рис. 4), а тип преобразователя (Converter Type) – из списка на рис. 5.

Выберем для реализации ИМС LT8640. После нажатия на кнопку Start LTpowerCAD Design Tool в строке с выбранной микросхемой (рис. 3) открывается окно с принципиальной схемой преобразователя (рис. 6).

Возле каждого из пассивных элементов схемы находится небольшая табличка, выделенная голубым цветом, в которой приведены требуемые параметры элемента. Программа LTpowerCAD позволяет выбрать компонент из своей базы данных компонентов. Для этого необходимо поместить курсор

ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ

ЭКиС

		DG ES				LTpowerCAD De Copyright 2014, Analog De	sign Tool v2.7.0 vices Inc. All rights reserved.							NR.
Converter Sp Converter Topo	ecificati	All	-			Output Rail 1	Optional Features Synthronous FET			Search	1	Search Parts		
Converter type	2.635	-				out 1	Burry Eneble					At Parts		
Nam Input Vol	itaga	12	v.				Cutput Voltage Tracking Remote Voltage Sensing					Web Search	0	
Hum al Cuspu Max Num Fas Find Part # 11 PUMM Come	rt Raine allei Prop (anna)		+ Co				Darge Carrier Pour Cod Nonter Poly-plans / Load Stare Loa Mil / Sken Sotther DC/MULe Instruct DC/MULe Instruct				C-	Konson Karap Search Fil	Ngo Queri terz	
Search For Po	orts Sei	arch For 5	olutions											
Design To	bol	Website	G Fart #	Topolog/	() hpe Char	Description (Cear)	O * Output Rails	er () # Franse	Min. Tin (V)	Nas Vin (i) Oear	Min. Tout (1)	Clear	Max invo?hase iA	3 Min
170	3	-Weir -	171406715	Beth (Medule	609. SA Spodmanius Step Davin Silant Solantar (Medula Regulator	9	1	3.6;	80	0.37	18	B;;	200
0	2	Web	178540	Bici	Manalthic	42V 54 Sime Step-Down Silent Switcher with 2 Sold lig	1	1	3.4	42	0,17	40	5	300
IJ,	3	Visib	173070	fact .	Monalities	47V 54, 2Mins Rep-Down Swazning Regulator with 33µH Quisseers Convert	1	,	43	40	1.197	384	5	300
17	2	Web -	176413	Ball (Mensione	42Vin 53 Spec Burk Regulator with Su3 in	10	1	3,4	43	0.97	40	8	300
IJ	2	Web	3785435	Buck	Monsithig	42x 6A Synt Step-Down Silent Switcher 2	4	1	11	42	0.87	40	0	300
A	3	Web	LTBEACE .	Ref.	Manazina	42V 6A Spine Rep Down Event Switcher with 2 dual lig	1	1	3.4	e.	0.97	<u>19</u>	e.	300
A metit	<u>1.</u> 0	ND Daviger 1	Wecse	Back-Boost	Module	53 v/m, 48 vlaut Buck-Societ "Module Regulator	8.	1	\$))) (14 K	1.8	48 :	5.4	300
IT	3	(1789499	Baçi -	Managering -	42v 154 Sync Step-Down Steet Switcher 3	1	1	3	42	0,8	40	12	300
91	3	web	(TCA13)	Buck-Boott	Controller	11V Back-Foost Math-Chemany Battery Charger	4	1	45	99	0	15.	10	90
17	2	ylinte	1103600	But	Controller	Low IQ. High Frequency SOV Synchronous Step-Down Cantaller	1	1	4))	80	0,8	24	20	320
4	2	Veb	003891	Bati	Controllar	Loss 1Q Single Phase 80111 2410 Synchronous Step Down Controller	4	1	4	40	0.8	24	20	<u>80</u>
DT.	2	VIED	1785435	Buck	Monourse	83V dis Spriz Dep-Down Silent Switcher 2 with 2 Salk iq	1	1	3,4	45	0.97	10	â.	300

Рис. 2. Окно установки параметров источника питания модуля Supply Design



Рис. 3. Исходные данные для проектирования источника

питания

Converter Topology	All
Converter Type	All
	Buck
Min. Input Voltage	Boost
Nom. Input Voltage	BuckBoost
Max. Input Voltage	Sepic
	Cuk
Num. of Output Rails	InvertingBuckBoost
Max. Num. Parallel Phases	Flyback
	ChargePump

Рис. 4. Список доступных топологий преобразователей

Converter Specification Converter Topology All All Converter Topology All Min. Input Voltage Monolithic Nom. Input Voltage Controller Num. of Output Rails One J Num. Anum. Paralel Phase J

Рис. 5. Список доступных типов преобразователей



Рис. 6. Окно Power Stage Design с принципиальной схемой понижающего преобразователя на базе ИМС LT8640



на изображение элемента (например CinB) и нажать левую кнопку "мышки". В открывшемся окне (рис. 7) выводится таблица данных доступных конденсаторов. Рекомендуемые типы конденсаторов помечены в таблице как True. После двойного щелчка по выбранному конденсатору он вносится на принципиальную схему преобразователя. Аналогично выбирается тип керамических конденсаторов и катушки индуктивности.

Схема преобразователя с внесенными данными о типах пассивных компонентов приведена на рис. 8. Параметры выходного напряжения и напряжения пульсаций указаны в правой части схемы: V_{outProg} = 4.962 B, V_{out Ripple (pk-pk)} = 26.694 мВ. Там же указаны и параметры импульсов управления при входном напряжении 12 В и частоте коммутации силовых ключей 1987 кГц (рис. 8).

Рассмотрим, какие параметры преобразователя и какие дополнительные функции реализует программа LTpowerCAD. На рис. 9 приведено меню окна Design (рис. 6). Рассмотрим более подробно некоторые пункты меню.

При выборе пункта **Lost Estimate & Break Down** (рис. 9) открывается окно (рис. 10), в котором отображаются графики зависимости КПД и рассеиваемой мощности от тока нагрузки. Кроме графиков в левой части окна приведено значение рассеиваемой мощности при входном напряжении 12 В, зависимость температуры катушки индуктивности от рассеиваемой на ней мощности, мощность, рассеиваемая на катушке, и другие параметры. Приведем некоторые из этих параметров при токе нагрузки 5 А:

• сопротивление катушки постоянному току 16 мОм

• Өwa = 43.5 °С/Вт

• мощность, рассеиваемая на катушке, 0.41 Вт при $T=25\ ^{\circ}\text{C}$

• мощность, потребляемая от источника питания, 27.179 Вт

• выходная мощность 24.8 Вт

Shaw All 🔹 Shaw	v Suggested					Key / Built	e Parts	User Parts /						☐ Show	City ABC-Q Parts	Clear Search	Entrie
Il Parts User P	arts																
Verdor	Clear	Crom(uP)	C @ Vbies nom (uF)	Affea to Equal Crom	Area Each (mm2)	Tet. Area to Equal Cripm (mm2)	ESR)+Cl	ESLINHI Clear	Ciese	Vinax (V)	Type Clear	Cese	Limmi	() Wimm)	() Himmi Clear	() Diam (mm)	0
NURATA	GCM32EC71H106KA03	30	1.5	1.12			17	0.284	5.4	50	CERAMIC X75	1210	3.2	25	23		True
NJRATA	GRM32EE71J106KA12	10	8.4	1,06	8	85	1.9	0,3062	5	63	CERAMIC X7R	1210	12	25	υ		False
DK:	C3216X541H106C16048	10	t.t.	1,23	5.12	6.5	2.2	1.03	4,85	50	CERANEC X58	1206	1,2	1,6	1,0		Faipt
DK	CGASLEXSR1H106M16048	10	R(1	1.23	5,12	63	23	1,05	3,37	50	CERAMIC XSR	1206	12	1,5	1年()		Trut
DK-	C3225X7RTH106M2504C	10	19	1,12	8	9	23	1.14	3,48	50	CERAMIC X7R	1210	12	2.5	2,8	1	False
DK	C3225X751H106K25048	10	1.6	1.16		23	23	1,22	4,03	50	CERAMIC XTE	1210	3,2	25	2.6		1 also
DK:	CGA6FEXTS1H100K250AB	10	8.6	1,16	8	93	23	1.22	4.63	50	CERAMIC X75	1210	12	25	2.8		True
DK:	C3225X5R1H100M25048	10	89	1.12	8	9	24	1,14	3.5	50	CERAMIC XSR	1210	3,2	2.5	1.8		False
pk:	C5750XERTH108K230KA	10	19	612	26.5	11.9	2.7	1.63	5.54	50	CERAMIC X3R	2220	\$.7	\$	2.5		Raise
DK:	C\$750X7£1H106K230KE	10	19	012	28.5	21.9	27.	1,62	\$54	50	CERAMIC X7R	2200	\$7	5	2,5		False
DK	CGARNERTATH 106K230KB	10	89 (1,32	28,5	11.9	2.7	1.63	5.54	50	CERAMIC X78	2220	\$7	5	2.5		Tiut
DK .	C5750X752A108K220K8	10	10	1	18.5	28.5	15	1,82	4.88	100	CERAMIC 375	2220	\$.7	5.	25		Faile
DK	COASNER752A106K230KB	10	10	1	20,5	28.5	15	1/87	400	100	CERAMIC X75	2220	27	\$	25		True
WX.	120652106KAT2A	10	E3.()	1,23	5.12	63	*	0,85	35	50	CERAMIC XTS	1206	3.2	1,6	19		False
WX.	12705C10EK472A	10	17	1.15	8	9.2	10 III	58.0	15	50.	CERALLIC XTR	1210	12	25	2.7		Inite

Рис. 7. Таблица данных полярных конденсаторов



Рис. 8. Схема преобразователя на базе ИМС LT8640 с внесенными данными о типах пассивных компонентов



Рис. 9. Назначение кнопок меню окна Design



Рис. 10. Зависимости КПД и рассеиваемой мощности от ока нагрузки

 мощность, рассеиваемая на элементах преобразователя, 2.379 Вт

• КПД 91.25%.

Используя курсор, можно определить КПД и рассеиваемую мощность в любой точке графика. Кроме того, можно получить значения параметров при других значениях входного напряжения. Передвигая указатель **Estimate** (рис. 10) или вписав в окошко Vin, можно установить значение входного напряжения в диапазоне от 8 до 40 В. Автоматически осуществляется пересчет всех параметров преобразователя. Например, при входном напряжении 40 В и токе нагрузки 5 А КПД преобразователя составляет 84.56%, а при входном напряжении 8 В – 91.49%.

После нажатия кнопки Зависимости параметров

от входного напряжения (рис. 9) открывается окно (рис. 11), в котором приведены графики зависимостей:

• тока через катушку индуктивности (пикового, среднеквадратического и амплитуды пульсаций)

• среднеквадратического значения тока через входной конденсатор

• среднеквадратического значения тока через выходной конденсатор.

Отличительной особенностью новой версии программы LTpowerCADII от предыдущей версии является наличие утилиты проектирования помехоподавляющего фильтра. После нажатия кнопки EMI Filter Design (рис. 9) открывается окно с принципиальной схемой фильтра подавления ЭМП, функциональной



схемой измерения кондуктивных помех и графиком зависимости уровня электромагнитных помех (ЭМП) от частоты, приведенное на рис. 12.



Рис. 11. Графики зависимостей тока через пассивные компоненты от величины входного напряжения

Измерение параметров помехоподавляющего фильтра производится с использованием эквивалента сети. Пользователю предоставляется возможность выбрать стандарт измерения уровня кондуктивных помех в окне EMI Specifications: CISPR22, CIS-PR25 или MIL-STD-461F. По умолчанию на рис. 12 красным цветом показаны границы допустимого уровня ЭМП по стандарту CISPR22. Как следует из рис. 12, на частоте 720 кГц и 2 МГц наблюдаются выбросы в спектре ЭМП, что объясняется высокой добротностью колебательного контура, образованного катушкой индуктивности и конденсатором фильтра Cf. Уменьшить выброс можно, изменив сопротивление резистора RdA. При уменьшении сопротивления добротность контура снижается и выброс будет уменьшаться.

Прежде чем менять или не менять сопротивление резистора RdA выберем пассивные компоненты фильтра и зададим запас по подавлению уровня ЭМП 6 дБ, значение которого нужно ввести в окошко EMI Margin Desired. Чтобы график спектра отобразился с учетом внесенных изменений, необходимо поставить "птичку" в окошке Use Suggested Values. А чтобы увидеть, как выглядит спектр ЭМП без применения фильтра, необходимо поставить "птичку" в окошке Show EMI Without Input Filter (рис. 12).

По аналогии с выбором компонентов в окне проектирования преобразователя необходимо сделать выбор катушки и конденсаторов фильтра. Результат,



Рис. 12. Окно Input EMI Filter Design с результатами проектирования фильтра

ЭКиС

ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ

полученный после этих операций, приведен на рис. 13. Как следует из рисунка, полученный результат удовлетворяет требованиям стандарта CISPR22 по уровню ЭМП. При выключенном фильтре (график черного цвета) уровень помех намного превышает допустимые пределы.

Кроме спектра помех можно получить информацию об АЧХ фильтра, нажав кнопку Filter Attenuation, и о зависимости входного сопротивления фильтра от частоты, нажав кнопку Impedance. АЧХ фильтра и зависимость входного сопротивления от частоты приведены на рис. 14 и 15, соответственно.

При установке стандарта измерения ЭМП MIL-STD-461F значение индуктивности катушки устанавливается автоматически равное нулю. Графики зависимости ЭМП от частоты, АЧХ и входного сопротивления фильтра приведены на рис. 16-18, соответственно.

Так как в составе фильтра остались только конденсаторы и внутреннее сопротивление преобразователя, то в области частот до 5 кГц АЧХ линейна, а на более высоких частотах спадает со скоростью 6 дБ/октаву. Входное сопротивление практически не зависит от частоты. Уровень ЭМП не превышает допустимых значений кроме выброса 0.9 дБ на частоте 2 кГц. Для устранения выброса необходимо увеличить запас по затуханию (EMI Margin Desired). Для снижения уровня ЭМП достаточно увеличить





Рис. 14. Амплитудно-частотная характеристика фильтра ЭМП при установленном стандарте CISPR22

емкость конденсатора Cf до 2 мкФ. Однако, сделать это путем выбора требуемой емкости из базы элементов программы невозможно. Доступны только конденсаторы различного типа емкостью 1 мкФ.

Совершенно другая картина формируется при измерении по стандарту CISPR25. Значение индуктивности автоматически устанавливается равным 0.007 мкГн. Как следствие, пик АЧХ фильтра смеща-



Рис. 13. Окно Input EMI Filter Design с результатами проектирования фильтра после выбора компонентов фильтра при установленном стандарте CISPR22

ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ



Рис. 15. Зависимость входного сопротивления фильтра ЭМП от частоты при установленном стандарте CISPR22



Рис. 16. Спектр ЭМП при установленном стандарте MIL-STD-461F

ется на частоту 1.3 МГц (рис. 19), а спектральные составляющие ЭМП значительно превышают допустимые по стандарту CISPR25 пределы (рис. 20).

Установить значение индуктивности вручную невозможно. Для того чтобы характеристики фильтра удовлетворяли требованиям стандарта CISPR25 по уровню ЭМП, программа позволяет сделать только только одним способом – путем изменения запаса по затуханию в окошке EMI Margin Desired. При установленном значении запаса по затуханию 50 дБ индуктивность катушки устанавливается равной 1.1 мкГн и спектр ЭМП укладывается в границы, установленные стандартом CISPR25 (рис. 21).

Попытка передать модель преобразователя в LTspice для анализа не увенчалась успехом. Про-



ЭКиС

Рис. 17. Амплитудно-частотная характеристика фильтра ЭМП при установленном стандарте MIL-STD-461F



Рис. 18. Зависимость входного сопротивления фильтра ЭМП от частоты при установленном стандарте MIL-STD-461F

грамма выводит сообщение о невозможности передачи модели в LTspice при заданной конфигурации компонентов (рис. 22), хотя модель LT8640 в библиотеке программы LTspice имеется.

Как выяснилось в процессе экспериментов, передача модели в LTspice возможна только для преобразователей на основе контроллеров, а ИМС LT8640 является монолитным преобразователем. Можно собрать модель рассмотренного выше преобразователя в LTspice самостоятельно для дополнительных исследований.

Рассмотрим, как работает программа при проектировании преобразователя на базе LTC78000. Принципиальная схема преобразователя приведена на рис. 23. После выбора пассивных компонен-

ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ

ЭКиС









Рис. 20. Спектр ЭМП при установленном стандарте CISPR25



Рис. 21. Окно Input EMI Filter Design с результатами проектирования фильтра после выбора компонентов фильтра при установленном стандарте CISPR25



Рис. 22. Сообщение о невозможности передачи модели для анализа в LTspice

тов схемы остается подсвеченное красным цветом окошко Vsns1 Rip. (pk-pk), что свидетельствует о неверном выборе параметров сопротивления резистора датчика тока Rsns1 (рис. 23). Первое предположение состоит в том, что пульсации напряжения на нем превышают допустимое значение пульсаций тока в катушке, которое не должно превышать 40% от максимального тока. Для датчика тока максимальное падение напряжения составляет 18.394 мB, а значение напряжения пульсаций 6.787 мB, что со-





Рис. 23. Принципиальная схема преобразователя на ИМС LTC8700

ставляет 37%. Следовательно дело не в амплитуде пульсаций. Другой параметр, который выводится в области Rsense Current Sensing, это iL1 Pk@ lo1 Limit равный 10 A, в то время как в параметрах катушки L1 указано значение пикового тока 6.131 A. Однако ни выбор другого типа катушки индуктивности, ни изменение сопротивления резистора Rsns1 не позволяют устранить эту проблему.

Если нажать на окошко Select DCR sensing, то конфигурация схемы изменится. На рис. 24 приведен фрагмент схемы с измененной конфигурацией.





Как следует из рис. 24, предел ограничения тока установленный меньше, чем максимальный ток нагрузки. Для устранения этой ошибки необходимо выбрать катушку со значительно меньшим активным сопротивлением DCR катушки индуктивности. На рис. 25 приведен фрагмент схемы с верно установленной конфигурацией катушки индуктивности, о чем свидетельствует отсутствие подсвеченных красным окошек с параметрами.

Следует заметить, что при выборе типа катушки индуктивности таблица с параметрами доступных



Рис. 25. Модифицированная схема датчика тока с правильно установленными параметрами

компонентов открывается с задержкой примерно 30 с.

Фильтр ЭМП, приведенный на рис. 26 (при установленном запасе по затуханию 10 дБ), удовлетворяет стандартам CISPR22, CISPR25 (рис. 27) и MIL-STD-461F (рис. 28).

При использовании контроллера LTC8700 стано-

ЭКиС ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ



Рис. 26. Окно Input EMI Filter Design преобразователя на ИМС LTC8700 с результатами проектирования фильтра при установленном стандарте CISPR22



Рис. 27. Спектр ЭМП преобразователя на ИМС LTC8700 при установленном стандарте CISPR25

вится доступной функция передачи модели для анализа работы преобразователя в программе LTspice. После нажатия кнопки **Передать в LTspice** было выведено сообщение о том, что невозможно экспортировать параметры полевых транзисторов в LTspice (рис. 29). Это связано с тем, что в базе компонентов LTspice отсутствует транзистор TK25S06N1L. Однако передача модели осуществляется с автоматической заменой транзистора TK25S06N1L на транзистор BSZ065N06LS5 с аналогичными пара-



Рис. 28. Спектр ЭМП преобразователя на ИМС LTC8700 при установленном стандарте MIL-STD-461F

метрами.

Модель преобразователя в LTspice приведена на



Рис. 29. Сообщение о невозможности передачи параметров транзисторов TK25S06N1L в LTspice



рис. 30. Напряжение на входе установлено автоматически равным номинальному 12 В. Результаты моделирования работы преобразователя при входном напряжении 12 В приведены на рис. 31.

Особенностью модели является наличие динамической нагрузки LoadStep1, которая позволяет скачкообразно изменять ток от 2.5 до 5 А. Значение тока нагрузки и интервалы времени, на которых ток изменяется, можно легко изменять, открыв свойства этой нагрузки.

Чтобы сопоставить результаты моделирования с полученными в LTpowerCAD (рис. 32), необходимо немного модифицировать модель, а именно, ввести фиксированную нагрузку для обеспечения тока 5 А, начать процесс моделирования после завершения переходного процесса и для автоматизации процесса расчета КПД преобразователя ввести соответствующую директиву. Модифицированная модель приведена на рис. 33.

Формы напряжения на выходе преобразователя и его входного тока приведены на рис. 34. Амплитуда пульсаций выходного напряжения не превышает 45 мВ. Величина, полученная в LTpowerCAD, не превышает 59.7 мВ (рис. 23). Это объясняется тем, что параметры транзисторов в LTpowerCAD и в LTspice различаются.

Результат расчет КПД преобразователя приве-

LTC7800 - 60Vin, 24Vo_max High Efficiency Synchronous Step-Down



Рис. 31. Временные диаграммы выходного напряжения (зеленая кривая) и тока нагрузки DC/DC-преобразователя на основе контроллера LTC7800

Vin	12 V	Update
External B	ias	
EXTVCC :	V	(12 28887 (3, 19)
Rail Total	Power Los	s @ Full Load
Pint	26,339	W
	25	W
Pout :	6.3	
Pout : PLoss :	1,339	w

Рис. 32. Результаты расчета КПД преобразователя на основе контроллера LTC7800 в LTpowerCAD

bnous Step-Down Supply (L DCR sense example) If simulation model is not found, please "Sync release".



Рис. 30. Модель понижающего DC/DC-преобразователя на основе контроллера LTC7800

LTC7800 - 60Vin, 24Vo max High Efficiency Synchronous Step-Down

ЭКиС



Рис. 33. Модифицированная модель преобразователя на основе контроллера LTC7800



Рис. 34. Форма напряжения на выходе (синяя кривая) и входного тока преобразователя на основе контроллера LTC7800

ден в отчете о моделировании SPICE Error Log, фрагмент которого приведен на рис. 35. Как следует из полученного результата, КПД преобразователя при токе нагрузки 5А и входном напряжении 12 В составляет 97.67%, что больше, полученного в LTpower-CAD. Это объясняется тем, что сопротивление открытого транзистора BSZ065N06LS5 равно 5.4 мОм, а у TK25S06N1L – 22.13 мОм, что и обеспечивает более высокое значение КПД для модели в LT- spice.

Для оценки эффективности применения фильтра ЭМП в рассматриваемом преобразователе необходимо измерить спектр входного тока при отсутствии фильтра, а затем добавить в модель фильтр подавления помех и провести измерение спектра тока источника входного напряжения. На рис. 36 приведен спектр входного тока преобразователя при отсутствии фильтра.

Supply (L DCR sense example)



Рис. 36. Спектр входного тока преобразователя на основе контроллера LTC7800 при отсутствии фильтра подавления помех

pout: AVG(i(r4)*v(out))=25.0054 FROM 0 TO 0.001
pin: AVG(i(vin1)*v(in))=-25.5997 FROM 0 TO 0.001
eff: pout/pin=-0.976784

Рис. 35. Фрагмент отчета SPICE Error Log

Модель с фильтром подавления ЭМП приведена на рис. 37. Кроме фильтра в модели изменена директива начала и окончания процесса фиксации результатов моделирования. Это связано с тем, что при наличии LC-фильтра подавления помех значительно возрастает время переходного процесса. Для уменьшения выброса в спектре на частоте резонанса контура, образованного катушкой фильтра L1 и конденсаторами фильтра C1 и C2, параллельно катушке включен резистор сопротивлением 10 Ом. Спектр тока источника входного напряжения приведен на рис. 38.

При сравнении спектров на рис. 36 и 38, можно сделать вывод, что фильтр подавления помех позволяет ослабить уровень кондуктивных помех примерно на 60 дБ на частоте коммутации силовых ключей и на более высоких частотах.

Для преобразователя на основе контроллеров LT6480 и LTC7800 в LTpowerCAD недоступны примеры расположения элементов на печатной плате.

Для иллюстрации возможностей программы, недоступных для LT6480 и LTC7800, рассмотрим пример проектирования преобразователя на универсальном синхронном понижающе/повышающем контроллере LTC3779. Принципиальная схема преобразователя приведена на рис. 39. Входные и выходные параметры преобразователя приведены на рисунке и схожи с параметрами рассмотренных



ЭКиС



выше преобразователей.

При передаче модели преобразователя на ИМС контроллера LTC3779 выяснилось, что в LTspice передана модель с двумя ошибками: отсутствовал провод связи между входом FB и делителем напряжения Rt, Rb (цепь обратной связи, задающая выходное напряжение) и провод, соединяющий резистор Rfreq, задающий частоту коммутации ключей, к общему проводу. Естественно, это привело к неверной работе преобразователя. После восстановления этих связей преобразователь обеспечил заданные параметры.

Для преобразователя на ИМС LTC3779 программа LTpowerCAD предлагает два варианта располо-



Рис. 37. Модель преобразователя на основе контроллера LTC7800 с фильтром подавления ЭМП



ЭКиС



Рис. 39. Принципиальная схема преобразователя на ИМС контроллера LTC3779

жения элементов на плате с минимальной длиной горячего контура – при отсутствии в преобразователе резистора Rsen (рис. 40) и с этим резистором (рис. 41).



Рис. 40. Расположение элементов на печатной плате при отсутствии резистора Rsen в схеме преобразователя

Конструкция печатной платы (верхний и нижний слои) приведена на рис. 42 и 43, соответственно.

Из проделанных экспериментов можно сделать выводы о том, что процесс проектирования преобразователей на базе элементов Analog Devices значительно упрощен и занимает мало времени. Возможность оценить соответствие преобразователя требованиям различных стандартов по электромагнитной совместимости при наличии и без фильтра





подавления ЭМП значительно расширяет функциональные возможности программы. Однако, программа еще не совершенна и в некоторых случаях не позволяет реализовать все, заявленные в ней функции. Например, наборы транзисторов в LTpowerCAD и в LTspice не совпадают. Несомненно, в следующей версии программы многие из недостатков будут устранены.

ЭКиС





Рис. 42. Верхний слой печатной платы

ЛИТЕРАТУРА

1. http://ltpowercad.analog.com/software/LT-powerCADII.zip

2. https://www.analog.com/media/en/simulation-models/software-and-simulation/LTpowerCADI-



Рис. 43. Нижний слой печатной платы

IQuickStart.pdf

3. https://www.analog.com/media/en/simulation-models/software-and-simulation/LTpowerCADIlhelp.pdf

4. https://www.analog.com/media/en/technicaldocumentation/user-guides/ltpowerplanneriii_qsg.pdf

Обращаться по адресу: г. Киев, ул. М. Донца 6 info@vdmais.ua тел.: (044)201-0202 (внутр. 1329, 1328) факс: 202-1110 Контактное лицо: Пацев Андрей Викторович