

УДК 621.396.6

Болдырев А.В. к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО ДГТУ;
Мищенко Д.А. магистрант, гр. УМАП21, ФГБОУ ВО ДГТУ.

SPICE-МОДЕЛИРОВАНИЕ СИЛОВОЙ ЧАСТИ ИМПУЛЬСНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ

Аннотация. В работе рассматривается получение импульсной SPICE-модели силовой части SEPIC преобразователя в программе MicroCap 10 с целью исследования потерь на силовых элементах, а также проверка её адекватности путём сравнения с реальным прототипом

Abstract. This abstract describes the reception of pulse SPICE-model of the SEPIC power stage in MicroCap 10 for the purpose of investigation of losses on the power components, as well as checking its adequacy by comparing with the actual prototype.

Ключевые слова: SPICE-модели, импульсные источники питания.

Key words: SPICE-model, SEPIC, MicroCap, switching power supply.

Введение

Импульсные модели позволяют детально исследовать процессы во временной области, например, переходные процессы в полупроводниковых приборах. Целью создания и исследования импульсной модели в данном случае является определение потерь в силовых элементах и общего КПД преобразователя.

1. Результаты моделирования

На рис. 1 показана импульсная модель силовой части преобразователя, в которой использованы стандартные элементы из библиотек резисторов, конденсаторов и индуктивностей и SPICE-модели полевого транзистора Si7370DP и диода MBR360T3 [1, 2]. Нумерация элементов аналогична таковой в [3] для удобства.

Входное напряжение задано источником напряжения V_{in} . Параметр V_{in_DC} позволяет варьировать величину входного напряжения для исследования схемы в различных режимах. Управление транзисторов VT3 осуществляется генератором импульсов V_{pwm} , моделирующим выход ШИМ-контроллера.

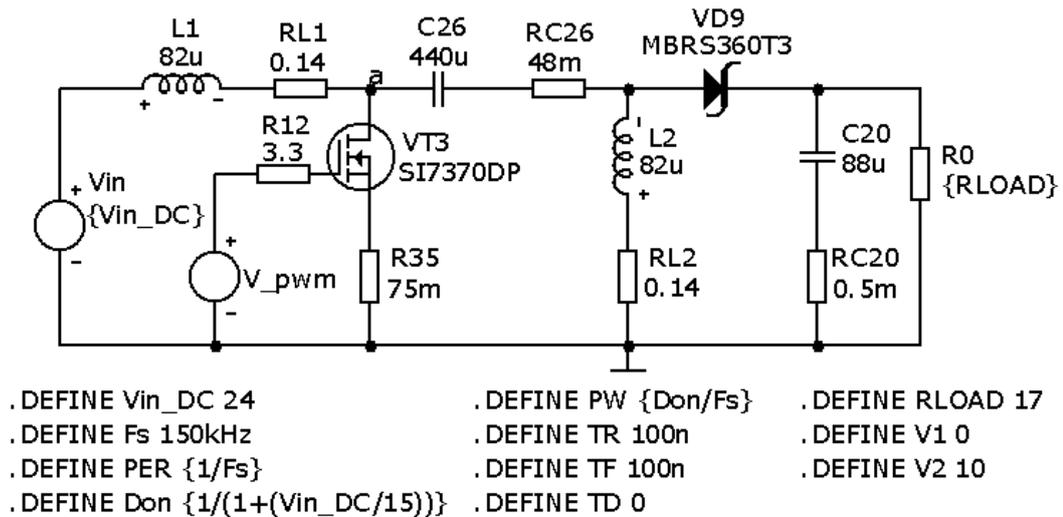


Рис. 1. Импульсная модель силовой части преобразователя

В качестве параметров генератора импульсов заданы частота коммутации преобразователя $F_s = 150$ кГц и коэффициент заполнения, определяемый постоянным выходным напряжением 15 В и варьируемым входным напряжением:

$$Don = \frac{1}{1 + \frac{Vin_DC}{15}} \quad (1)$$

В модели учтены также эквивалентные последовательные сопротивления дросселей и конденсаторов.

Анализ импульсной модели преобразователя проводится в режиме временного анализа (*Transient Analysis*). Процесс моделирования заключается в пошаговом решении программой *MicroCap 10* системы дифференциальных уравнений, описывающих моделируемую схему, и выводе результатов в графическом виде. Подробное описание работы с программой *MicroCap 10* можно найти в [4].

Для примера на рис. 2 показаны результаты анализа переходного процесса выключения транзистора VT3. На графиках хорошо видны типичные для полевого транзистора этапы процесса выключения, в частности, «плато», обусловленные эффектом Миллера.

Для расчёта средней мощности, рассеиваемой каким-либо элементом, необходимо вычислить интеграл от произведения напряжения, приложенного к его выводам, на протекающий через него ток и разделить на интервал времени интегрирования:

$$P = \frac{\int_{T1}^{T2} V(t)I(t)dt}{T2 - T1} \quad (2)$$

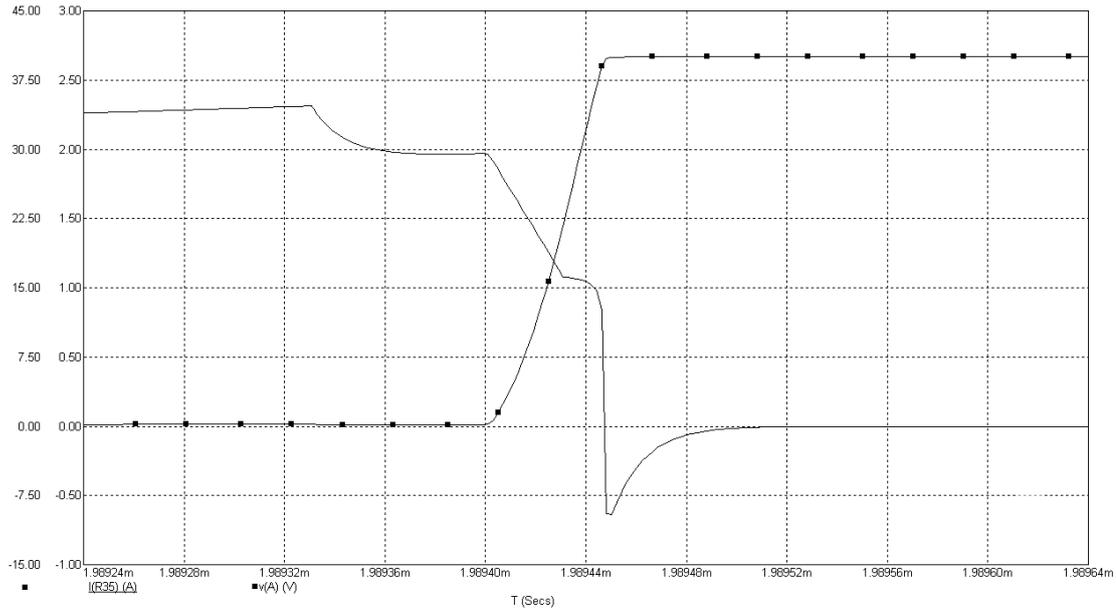


Рис. 2. Переходные процессы при закрытии транзистора

При ручных расчётах мощности потерь обычно используют различные аппроксимации переходных процессов. Использование встроенной функции интегрирования *SUM* программы *MicroCap 10* берётся в конечной точке временного интервала. Например, для расчёта потерь в данном случае был выбран интервал времени 3...6 мс, а выражение для расчёта потерь на транзисторе *VT3* было записано в следующем виде:

$$P = \text{SUM}((V(VT3.3) - V(VT3.2)) * I(R35), T, 3m) / 3m. \quad (3)$$

Подынтегральная функция представляет собой произведение разности напряжений между стоком и истоком транзистора на ток стока, проинтегрированное на интервале времени 3 мс.

Потери на диоде *VD9*:

$$P = \text{SUM}(V(VD9) * I(VD9), T, 3m) / 3m. \quad (4)$$

Аналогичным образом можно рассчитать мощность, потребляемую от входного источника питания *Vin*, и мощность, рассеиваемую нагрузкой, что позволяет оценить КПД преобразователя:

$$P = \frac{\text{SUM}((V(R0) * I(R0)), T, 3m) / 3m}{-\text{SUM}((V(Vin) * I(Vin)), T, 3m) / 3m}, \quad (5)$$

где *T* — время моделирования, 6 мс; выражение в числителе — мощность, потребляемая нагрузкой, в знаменателе — мощность, потребляемая от

входного источника питания (знак минус указывает направление тока, вытекающего из источника питания).

Результаты расчёта КПД по данным моделирования и экспериментальные данные, взятые из графиков в статье [3], приведены в табл. 1 для двух значений входного напряжения. Результаты расчёта потерь на силовых элементах приведены в табл. 2.

Таблица 1. Расчётный и экспериментальный КПД преобразователя

Входное напряжение, В	Ток нагрузки, А	КПД, %	
		Модель	Эксперимент [3]
12	0,9	91,5	92
	1,5	88,3	90,5
24	0,9	91,6	92,5
	1,5	90,6	92,5

Таблица 2. Расчётные потери на силовых элементах

Входное напряжение, В	Ток нагрузки, А	Потери на элементах, мВт	
		VT3	VD9
12	0,9	332	395
	1,5	539	763
24	0,9	443	379
	1,5	728	725

Заключение

Сравнение значений КПД, полученных в результате моделирования и эксперимента, показывает достаточно близкое соответствие импульсной модели преобразователя своему реальному прототипу, что позволяет ещё на этапе разработки оценить потери в силовых элементах и КПД изделия.

Список литературы

1. Si7370DP Datasheet. <http://www.vishay.com/docs/71874/71874.pdf>
2. MBRS360T3 Datasheet. <http://www.onsemi.ru.com/pub/Collateral/MBRS360T3-D.PDF>
3. Betten J., Kollman R. No Need to Fear: SEPIC Outperforms the Flyback. http://www.planetanalog.com/document.asp?doc_id=527401
4. Амелина М.А., Амелин С.А. Программа схемотехнического моделирования *Micro-Cap*. Версии 9, 10. Смоленск, Смоленский филиал НИУ МЭИ, 2013.