

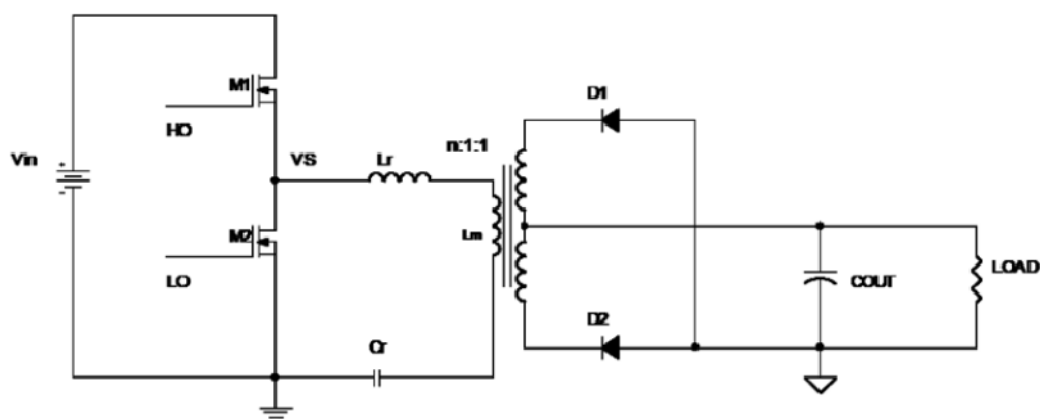


Рис. 2. Принципиальная схема полумостового резонансного преобразователя

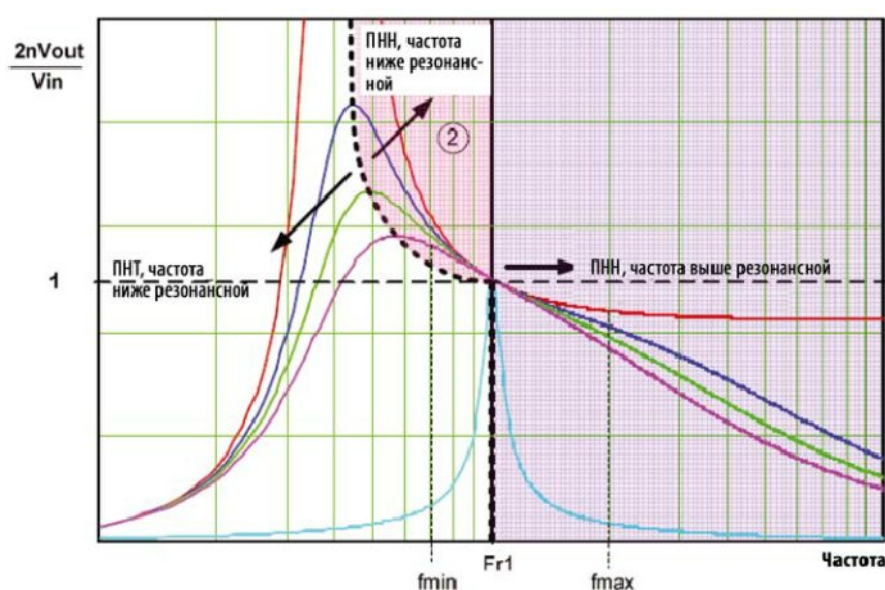


Рис. 3. Типовые передаточные характеристики резонансного преобразователя

тельного резонансного контура. Это участок, на котором преобразователь работает на индуктивную нагрузку и всегда находится в режиме ПНН независимо от условий на выходе.

НА УЧАСТКЕ 2 частота переключения больше нижней резонансной частоты, но меньше F_{r1} . Значение нижней резонансной частоты зависит от нагрузки, поэтому граница между участками 2 и 3 проходит по пиковому значению семейства кривых. На участке 2 работа преобразователя может быть разделена на два временных интервала. На первом интервале L_r резонирует с C_r , а напряжение на L_m ограничено выходным напряжением. Второй интервал наступает, когда ток, протекающий через L_r , падает до тока намагничивания, L_r и C_r перестают резонировать и L_m начинает участвовать в резонансном процессе. На этом интервале C_r резонирует с последовательным соединением L_r и L_m . На участке 2 работа преобразователя в режиме ПНН обеспечивается нахождением рабочей точки на правой стороне нагрузочной кривой.

НА УЧАСТКЕ 3 преобразователь находится в режиме переключения при нулях тока (ПНТ), транзисторы M1 и M2

переключаются в жестких условиях, что приводит к большим потерям, поэтому надо стараться избегать работы преобразователя в этом режиме.

Из рисунка 3 видно, что при фиксированном входном напряжении контроллер изменяет частоту переключения для регулировки выходного напряжения при изменении нагрузки, т.е. рабочая точка «скачет» между кривыми, соответствующими разным нагрузкам. При фиксированной нагрузке контроллер изменяет частоту переключения для регулировки выходного напряжения при изменении входного напряжения. При этом рабочая точка движется по одной кривой, соответствующей текущей нагрузке.

Чтобы упростить расчет элементов преобразователя, представленного на рисунке 2, необходимо привести все элементы вторичной стороны трансформатора к первичной, в результате чего получаем эквивалентную схему замещения, представленную на рисунке 4.

РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ РЕЗОНАНСНОГО КОНТУРА

Для примера приведем расчет элементов преобразователя с выходным напряжением 24 В мощностью 240 Вт, основные параметры которого представлены в таблице 1.

ШАГ 1. Расчет коэффициента передачи трансформатора

Коэффициент передачи рассчитывается, исходя из максимального входного напряжения, чтобы при любых условиях на входе иметь возможность регулировки выходного напряжения.

$$n = \frac{V_{in\max}}{2 \cdot V_{out}}$$

$$n = \frac{430}{2 \cdot 24} = 8,96$$

Выбираем $n = 9$.

ШАГ 2. Выбор числа k

k — это отношение индуктивности намагничивания трансформатора L_m к резонансной индуктивности L_r . Как видно из рисунка 5, меньшее значение k дает более крутую передаточную кривую, особенно в области частот ниже резонансной. При меньшем k выходное напряжение более чувствительно к изменению частоты.

Более высокое значение k ведет к увеличению индуктивности намагничивания и, как следствие, создает меньший ток намагничивания первичной обмотки трансформатора, что означает меньшие потери на перемагничивание. Однако высокие значения индуктивности намагничивания также могут быть причиной работы вне области ПНН при высоком входном напряжении или на холостом ходу. Рекомендованный диапазон значений k — от 3 до 10. Выберем $k = 5$.

ШАГ 3. Расчет максимальной добротности Q_{max} для режима ПНН при максимальной нагрузке и минимальном входном напряжении

Входной импеданс схемы замещения (см. рис. 4) вычисляется по формулам:

$$Z_{in} = j \cdot \omega \cdot L_r + \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C_r} + \frac{j \cdot \omega \cdot L_m \cdot R_{ac}}{j \cdot \omega \cdot L_m + R_{ac}}$$

$$Z_{in} = Q \cdot R_{ac} \left[\frac{k^2 \cdot x^2 \cdot Q}{1 + k^2 \cdot x^2 \cdot Q^2} + j \left(x - \frac{1}{x} + \frac{x \cdot k}{1 + k^2 \cdot x^2 \cdot Q^2} \right) \right]$$

где

$$R_{ac} = \frac{8 \cdot n^2}{\pi^2} R_{LOAD} ,$$

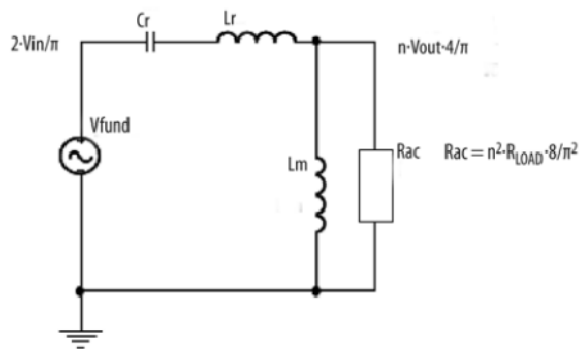


Рис. 4. Схема замещения резонансного контура

а x — отношение частоты переключения к резонансной:

$$x = \frac{F_{sw}}{F_{rl}}$$

Чтобы обеспечить работу преобразователя в режиме мягкого переключения, необходимо, чтобы рабочая точка находилась в зоне ПНН (см. рис. 3). Линия границы режимов ПНН и ПНТ соответствует фазовому углу $\Phi(Z_{in}) = 0$ (условие границы между емкостной и индуктивной нагрузкой), т.е. мнимой части Z_{in} , равной 0. Учитывая это условие, можно рассчитать максимальное значение добротности, при котором преобразователь будет оставаться в режиме ПНН. Максимальное значение Q получается при минимальном входном напряжении и максимальной нагрузке:

$$Q_{max} = \frac{1}{k} \cdot \sqrt{\frac{1 + k \cdot \left(1 - \frac{1}{M_{max}^2}\right)}{M_{max}^2 - 1}} = \frac{1}{k} \cdot \sqrt{\frac{1 + k \cdot \left[1 - \frac{1}{\left(2 \cdot n \cdot \frac{V_{out}}{V_{in\min}}\right)^2}\right]}{\left(2 \cdot n \cdot \frac{V_{out}}{V_{in\min}}\right)^2 - 1}}$$

где M_{max} — максимальное передаточное отношение при минимальном входном напряжении.

$$Q_{max} = 0,456.$$

Таблица 1. Параметры преобразователя для расчета

ПАРАМЕТРЫ	ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ	ОПИСАНИЕ	ВЕЛИЧИНЫ
$V_{in\max}$	В	Максимальное входное напряжение	430
$V_{in\min}$	В	Минимальное входное напряжение	350
$V_{in\text{ном}}$	В	Номинальное входное напряжение	390
V_{out}	В	Выходное напряжение	24
I_{out}	А	Максимальный выходной ток	10
F_{r1}	кГц	Резонансная частота	100
F_{max}	кГц	Максимальная частота переключения	150
D_{max}		Максимальный коэффициент заполнения	0,5
T_{ss}	мс	Длительность плавного старта	10
F_{ss}	кГц	Частота при запуске	300
		Сердечник	ETD49