

УДК 621.311. : 629.12

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ В СУДОВЫХ ВТОРИЧНЫХ ИСТОЧНИКАХ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

Гуляев Владимир Викторович¹, доцентe-mail: eovt@mail.ru¹ Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

Аннотация. Произведен обзор класса устройств преобразователи постоянного напряжения, которые могут использоваться при построении структур вторичного электропитания малой мощности. Показаны особенности работы преобразователей в различных режимах работы, рассмотрены расчетные соотношения, которые необходимо использовать при проектировании преобразователей. Показаны возможности моделирования режимов работы преобразователей постоянного напряжения при помощи среды моделирования Matlab Simulink.

Ключевые слова: преобразователь постоянного напряжения, Matlab Simulink.

DC VOLTAGE CONVERTERS IN MARINE SECONDARY POWER SUPPLIES

Gulyaev Vladimir Viktorovich¹, Associate professore-mail: eovt@mail.ru¹ Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. A review of the class of devices DC voltage converters, which can be used in the construction of low-power secondary power supply structures, is carried out. The features of the operation of converters in various operating modes are shown, the calculated ratios that must be used in the design of converters are considered. The possibilities of modeling the operating modes of DC voltage converters using the Matlab Simulink simulation environment are shown.

Keywords: DC voltage converter, Matlab Simulink.

Преобразователи постоянного напряжения (ППН), используются для построения систем вторичного электропитания достаточно давно [1]. На настоящий момент разработано и внедрено в практику электротехнических расчетов более сотни различных вариантов схем таких преобразователей. Однако, в среде *Matlab Simulink* модели данного класса устройств исследовались нечасто, возможно, из-за сложностей моделирования процессов в обмотках импульсного трансформатора.

При классификации используют различные предпосылки и положения, предусматривающие разделение ППН по преобразуемым параметрам электрической энергии, числу используемых звеньев, принципам управления ими и т.п. На рисунке 1 приведена классификация импульсных ППН.

Верхний уровень классификационной структуры занимают ППН, различающиеся между собой наличием трансформатора, то есть принципиальной возможностью построения источников вторичного электропитания (ИВЭП) с электрической развязкой цепей входа и выхода, или же не предусматривающей такую реализацию схемы.

На следующем уровне преобразователи разделяются по числу входящих в него элементарных звеньев, представляющие собой одноконтурные преобразователи (ОТП). Поскольку ОТП содержат практически один и тот же набор элементов (транзистор, трансформатор, выходной фильтр и выпрямитель), систематизация их по внешним признакам не отражает в достаточной степени принципиальные особенности схем, обусловленных спецификой процессов энергообмена между первичными и вторичными цепями. Предлагается производить классификацию одноконтурных трансформаторных ППН по режиму работы сердечника трансформатора, в значительной степени определяющего массогабаритные показатели преобразователей в целом:

- с размагничиванием сердечника трансформатора – тип Р;
- с размагничиванием и перемагничиванием сердечника трансформатора – тип РП.

Под размагничиванием следует понимать процесс снижения напряженности поля H в сердечнике трансформатора до нуля при выключенном транзисторе. Особенностью преобразователей типа Р является перемещение рабочей точки, характеризующей магнитный режим сердечника трансформатора, по частным гистерезисным циклам без изменения знака напряженности поля H и индукции B . Предельный цикл перемагничивания сердечника трансформатора таких ППН характеризуется изменением индукции в диапазоне от B_r до B_s .

Для обеспечения заданного режима работы сердечника трансформатора и предотвращения перенапряжений на активных элементах ОТП вводятся цепи размагничивания сердечника трансформатора. Наибольшее распространение из-за малых потерь мощности и простоты получила цепь из последовательно соединенных размагничивающей обмотки и рекуперационного диода, а преобразователи с такой цепью получили название – тип Р.

В зависимости от способа подключения размагничивающей цепи ОТП подразделяются на типы Р1 (размагничивающая цепь включена на источник входного напряжения) и Р2 (размагничивающая цепь включена на выходные клеммы ППН). Для организации размагничивающей цепи возможно использовать не только самостоятельную обмотку (вариант А), но и первичную (вторичную) обмотку или их часть (вариант Б). В соответствии с указанными принципами классификации ОТП с размагничиванием сердечника трансформатора они получили названия: Р1А, Р1Б, Р2А, Р2Б.

ОТП, в которых размагничивание трансформатора осуществляется в специальный емкостный накопитель, получили название РК. В зависимости от способа формирования размагничивающей цепи они подразделяются на тип РК1А и РК1Б.

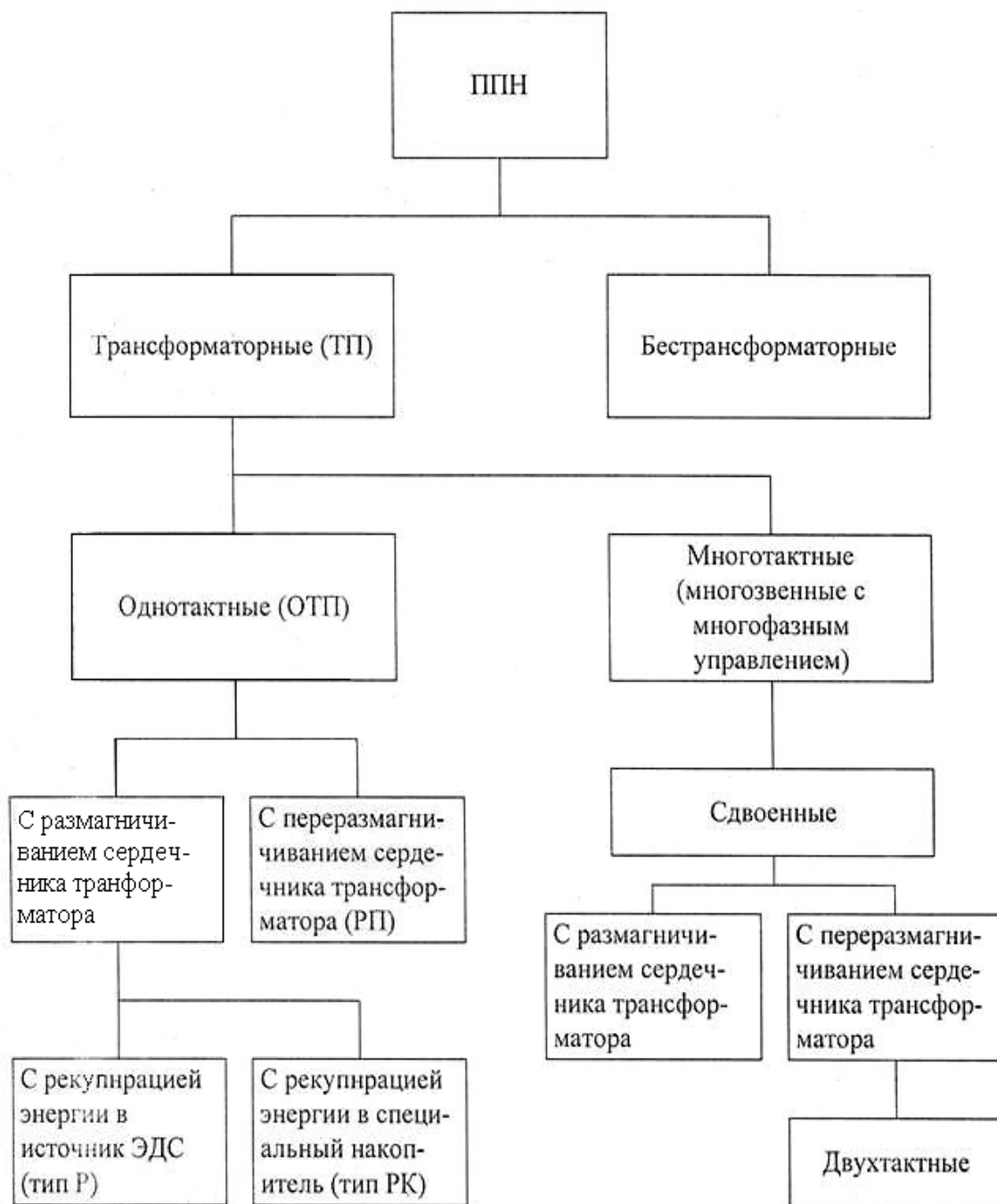
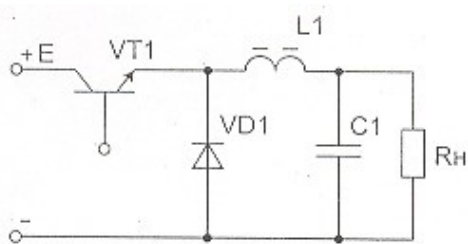
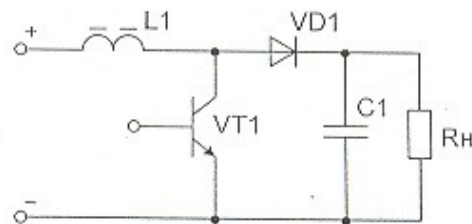


Рисунок 1 – Классификация ППН

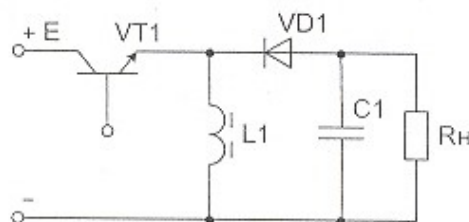
В ИВЭП, к которым не предъявляются требования с электрической развязкой цепей входа и выхода, целесообразно в качестве силовой части использовать схемы однотактных ячеек ППН (рис. 2). Эти схемы принято считать базовыми. Принципы их работы, расчетные соотношения при проектировании, определение внешней характеристики и массогабаритных показателей подробно и широко освещено в [1 – 3].



а) понижающего типа



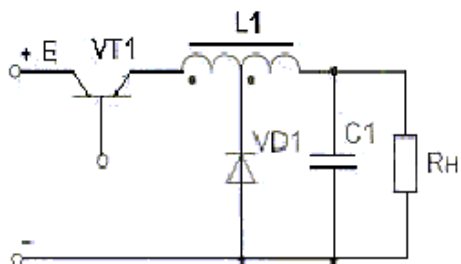
б) повышающего типа



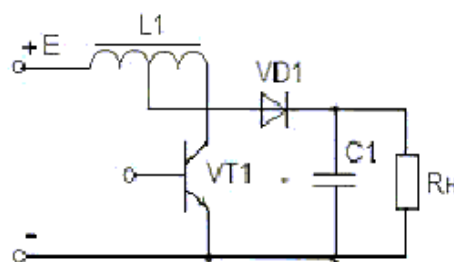
в) инвертирующего типа

Рисунок 2 – Схемы простейших ППН

В более общем виде базовые схемы регуляторов приведены на рисунке 3.



а) понижающего типа



б) повышающего типа

Рисунок 3 – Схемы простейших ППН в общем виде

Такое включение элементов ППН (рисунок 3) позволяет расширить возможности использования РН не только в плане получения желаемых регулировочных характеристик, но и требуемого перераспределения токов и напряжений на регулирующем транзисторе и диоде. Однако трудность получения хорошей магнитной связи обмоток дросселя и связанные с этим явления перенапряжения на регулирующем ключе, и ухудшение регулировочной и внешней характеристик привели к тому, что регуляторы таких типов не получили столь широкого распространения, как простейшие базовые РН.

Схемы рассмотренных преобразователей содержат наименьшее количество элементов, обладают потенциально высокими КПД, надежностью и удельной выходной мощностью. Они получили широкое распространение в случаях, когда не требуется гальванической развязки выходных и входных цепей при отношении входного к выходному напряжений K , равным от 1,5 до 5.

Поэтому при больших разностях входного и выходного напряжения использование ТП позволяет обеспечить работу с оптимальными коэффициентами заполнения и исключение возможности попадания на выход ИВЭП входного напряжения при выходе из строя транзисторного ключа.

Расчет режимов работы этих простейших схем достаточно подробно описан в литературе [1 – 4]. В нашем обзоре ограничимся основными расчетными формулами. В частности, напряжения в схеме связаны соотношением:

$$U_{\text{ЛИ}}\gamma T = U_{\text{ЛП}}(1 - \gamma)T, \quad (1)$$

где $U_{\text{ЛИ}}$, $U_{\text{ЛП}}$ – значения напряжений преобразователя в импульсе и паузе соответственно; γ – коэффициент заполнения импульсов преобразователя.

Токи, действующие в схеме:

$$I_{\text{СИ}}\gamma T = I_{\text{СП}}(1 - \gamma)T \quad (2)$$

где $I_{\text{СИ}}$, $I_{\text{СП}}$ – значения токов преобразователя, протекающих через емкость C сглаживающего фильтра, в импульсе и паузе соответственно.

Средний ток входного источника:

$$I_{\text{E}} = I_{\text{И}}\gamma + I_{\text{П}}(1 - \gamma) \quad (3)$$

где $I_{\text{И}}$, $I_{\text{П}}$ – средние значения токов преобразователя в импульсе и паузе соответственно.

$$U_{\text{H}} = n_{\text{И}}U_{\text{И}}\gamma + n_{\text{П}}U_{\text{П}}(1 - \gamma), \quad (4)$$

где $U_{\text{И}}$ и $U_{\text{П}}$ – усредненные напряжения на первичной обмотке импульсного трансформатора на этапах импульса и паузы соответственно;

$n_{\text{И}}$, $n_{\text{П}}$ – коэффициенты трансформации импульсного трансформатора.

Для идеализированных схем уравнение баланса мощностей имеет вид:

$$E I_{\text{E}} = U_{\text{H}} I_{\text{H}} \quad (5)$$

Уравнение энергетического баланса в общем случае:

$$U_{\text{H}} I_{\text{H}} T = \int_0^T U_{\text{ист}} i_{\text{ист}} dt \quad (6)$$

где $U_{\text{ист}}$ и $i_{\text{ист}}$ – напряжение и ток источника. С учетом формулы (4), получаем следующие преобразованные расчетные соотношения:

$$I_{\text{H}} n_{\text{И}} U_{\text{И}} \gamma T = \int_0^{\gamma T} U_{\text{И}} i_{\text{И}}(t) dt \quad (6,а)$$

$$I_{\text{H}} n_{\text{П}} U_{\text{П}} (1 - \gamma) T = \int_0^{(1 - \gamma)T} U_{\text{П}} i_{\text{П}}(t) dt, \quad (6,б)$$

где $i_{\text{И}}(t)$ и $i_{\text{П}}(t)$ – токи источника в импульсе и паузе соответственно.

Рассмотренные выше соотношения (1)-(6) позволяют производить расчет режимов работы простейших структурных звеньев ППН.

Модель понижающего ППН, позволяющая проводить вычислительный эксперимент при различных соотношениях параметров схемы показана на рис. 4.

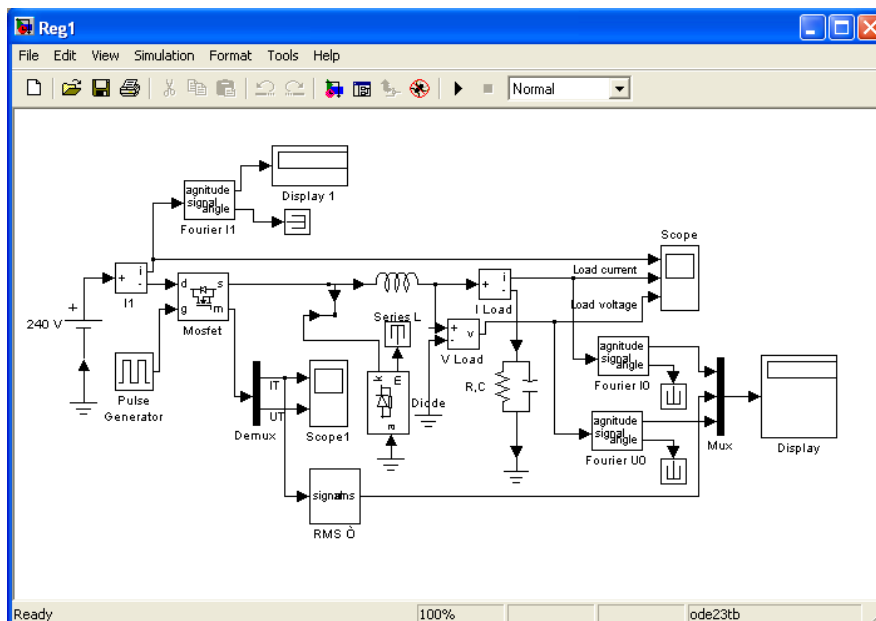


Рисунок 4 – Модель понижающего ППН

Модель повышающего ППН приведена на рис. 5.

Обе модели содержат стандартные блоки, среды программирования Matlab Simulink.

Предварительная настройка параметров модели может осуществляться на основе приведенного выше типового расчета. В ходе исследования модели параметры схемы корректируются в соответствии с полученными результатами моделирования.

Представленные модели позволяют рассчитать процессы в преобразователях на этапе проектирования с высоким уровнем точности как в установившихся, так и в переходных процессах.

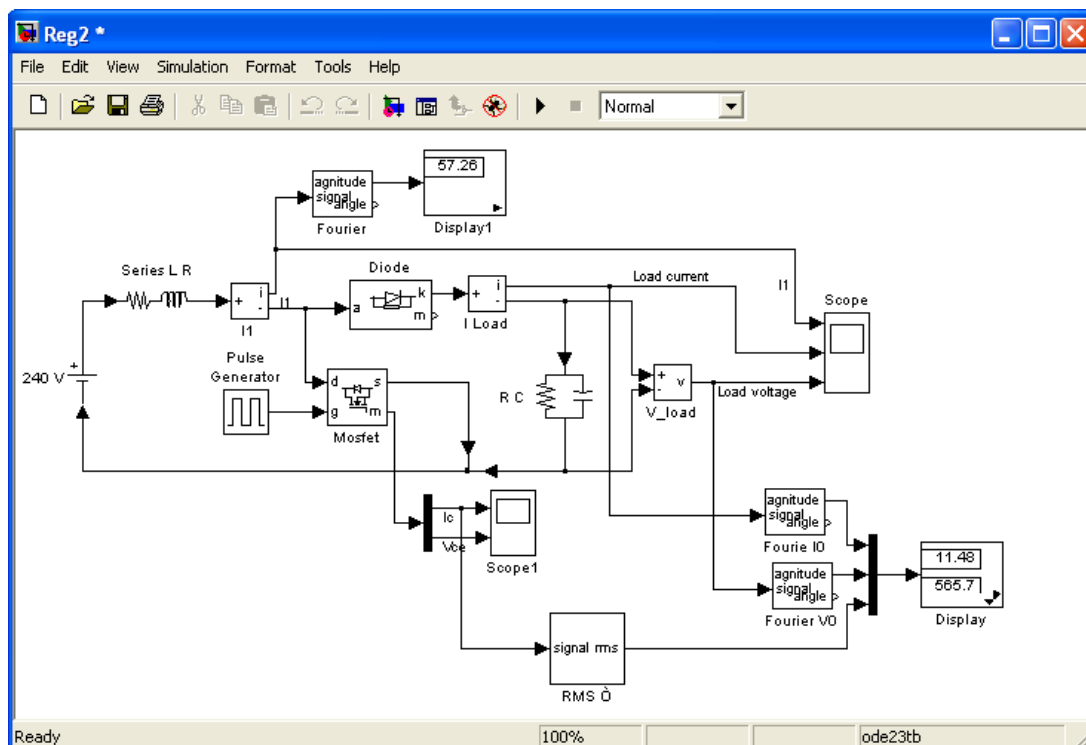


Рисунок 5 – Модель повышающего ППН

Список литературы:

1. Моин В.С.: Стабилизированные транзисторные преобразователи. – М.: Энергоатомиздат, 1986 г.
2. Алтунин Б.Ю., Блинов И.В., Кралин А.А., Панкова Н.Г.: Электротехнические расчеты в системе компьютерной математики MATLAB SIMULINK: Учеб. Пособие; НГТУ. Н. Новгород, 2005 г.
3. Герман-Галкин С.Г. Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК. – М.: Корона-МГ, 2020. – 368 с.
4. Бурмакин О.А., Гуляев В.В., Попов С.В., Андреев А.А. [Применение MATLAB SIMULINK для исследования режимов работы судовой электроэнергетической системы](#) // Интеллектуальная Электротехника. 2019. № 4 С. 35 – 43.

