

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ И ТОКОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ С ПЯТНАДЦАТИЗОННЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

В.В. Михайленко¹⁾, Д. К. Маков¹⁾, Т.В. Чунихина²⁾

¹⁾ НТУУ "КПИ", 03056 Украина, г. Киев, пр. Победы, 37, e-mail: feakpi@ukr.net.

²⁾ НТУ „ХПИ“, 61002 Украина, г. Харьков, ул. Фрунзе, 21, tetianactv@ukr.net

Резюме: В этой статье проведен анализ переходных процессов в электрических цепях с полупроводниковыми коммутаторами. Создана математическая модель для анализа переходных процессов в полупроводниковых преобразователях электроэнергии.

Ключевые слова: переходные процессы, полупроводниковые преобразователи.

Одним из наиболее мощных инструментов для расчетов, анализа и оптимизации полупроводниковых преобразователей ППП (ППП) электроэнергии и устройств силовой и информационной электроники является использование современных пакетов программного обеспечения персональных компьютеров (ПК). Преобразования электрической энергии и успехи в развитии полупроводниковой техники позволяют использовать в преобразовательных установках звено высокой частоты с частотой переключения вентилей значительно больше частоты переменного напряжения промышленной сети [1, 2]. В работе [3] показана целесообразность использования структур преобразователей частоты (ПЧ) с однократной модуляцией при построении систем вторичного электроснабжения. В данной работе проводится анализ использования ПЧ с широтно-импульсным регулированием (ШИР) постоянного напряжения при пятнадцатизонном управлении для измерения входных и выходных токов преобразователя.

Целью работы является определение токов и напряжений в электрических цепях с полупроводниковыми коммутаторами.

Анализ электромагнитных процессов

Структурная схема преобразователя показана на рис. 1. На структурной схеме показаны: СМАВ, СМВС, СМСА – силовые модуляторы (СМ) линейных АВ, ВС и СА соответственно, ВВ – высокочастотный выпрямитель, Н – нагрузка. Совокупность СМ, подключенных к электрической сети параллельно и соединенных по выходу последовательно, представляет собой звено высокой частоты преобразователя.

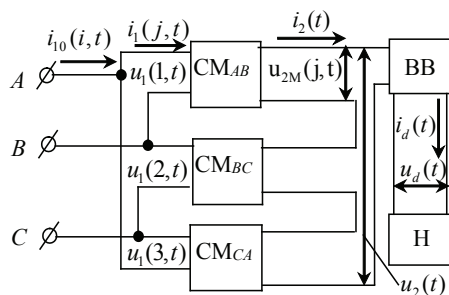


Рис. 1.

При составлении математической модели преобразователя с компьютерной ориентацией ее применения используем метод многопараметрических модулирующих функций [4]. При этом принимаем такие допущения: входная электрическая сеть симметричная и ее внутреннее сопротивление равно нулю, транзисторы и диоды инвертора выпрямленного напряжения (ИВН) представляются идеальными ключами, согласующие трансформаторы в каждой из зон регулирования выходного напряжения не имеют потерь, а нагрузка преобразователя имеет эквивалентный активно-индуктивный характер.

Такая структура позволяет реализовать многоканальный способ преобразования параметров электромагнитной энергии сети. В нем СМ осуществляется разветвленная модуляция мгновенных значений линейных напряжений трехфазной электрической сети частоты ω_1 соответствующими эквивалентными модулирующими воздействиями

$\psi(\alpha_p, t)$ частоты ω_2 . В результате такой операции на выходе каждого из ИВН формируется промощ-

дулированное напряжение

$$u_{2M}(P, j, t) = k_T u_1(j, t) \psi_1(j, t) \psi_2(\alpha_p, t), \quad (1)$$

где: $j = 1, 2, 3$ – номера линейных напряжений электрической сети, соответственно АВ, ВС, СА; k_T – коэффициенты трансформации согласующего трансформатора; $P = 1, 2, 3, \dots, N = 15$ – номер

зоны регулирования; $\psi_1(j, t)$ – функции прямоугольных синусов, какие совпадают по времени с соответствующими линейными напряжениями;

$u_1(j, t)$ – мгновенные значения линейных напряжений электрической сети; $\psi_2(\alpha_p, t)$ – эквивалентные модулирующие воздействия; $\alpha_p(t)$ – углы управления.

Выходное напряжение $u_2(t)$ звена высокой частоты преобразователя, согласно с выражением (1), можно выразить

$$u_2(t) = \sum_{P=1}^{N=15} \sum_{j=1}^3 k_T u_1(j, t) \psi_1(j, t) \psi_2(\alpha_p, t), \quad (2)$$

а выходное напряжение преобразователя $u_d(t)$ как выпрямленное напряжение (2) можно представить выражением

$$u_d(t) = \sum_{P=1}^{15} \sum_{j=1}^3 (k_T u_1(j, t) \psi_1(j, t) \psi_2(\alpha_p, t) \psi_3(t)), \quad (3)$$

где: $\psi_3(t)$ – функция прямоугольного синуса, которая совпадает по фазному углу с положением

выходного напряжения $u_2(t)$ звена высокой частоты преобразователя:

$$\psi_3(t) = \text{sign}(u_2(t)). \quad (4)$$

Дифференциальное уравнение, составленное для выходного контура преобразователя, можно представить в виде

$$L \frac{di(t)}{dt} + i(t)R = u_d(t). \quad (5)$$

Ток нагрузки находится путем выражения его производной в уравнении (5), как реакция одноконтурного RL -звена на действие напряжения (3).

$$D(t, y) = \frac{u_d(t)}{L} - \frac{R}{L} y_0, \quad (6)$$

где: y_0 – начальное значение тока; R и L – соответственно активное сопротивление и индуктивность нагрузки.

Решение (6) относительно тока нагрузки определяется числовым методом Рунге-Кутты, используя функцию `rktfixed` математического пакета MathCad:

$$i_d(t) = \text{rktfixed}(y, 0, k, s, D), \quad (7)$$

где: y – вектор начальных условий токов; 0 , k – временной интервал решений; s – количество точек на временном интервале решений; D – вектор-функция дифференциальных уравнений.

Диаграммы тока нагрузки в координатах выходного напряжения преобразователя и выходного тока звена высокой частоты, построенные согласно (9) и (10) для пятнадцатизонного регулирования представлены на рис. 2.

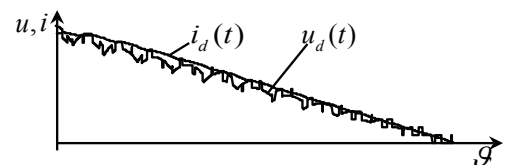


Рис. 2.

Для определения выходного тока $i_2(t)$ достаточно (4) умножить на функцию (4), которая имеет единичную амплитуду и совпадает по времени с (7). Тогда

$$i_2(t) = i_d(t) \psi_3(t). \quad (8)$$

Для определения входных токов инверторов необходимо учесть, что $i_2(t)$ протекает в общем контуре всех СМ, образованном последовательно соединенными вторичными обмотками согласующих трансформаторов, и принимаем к сведению выражение (8).

При этом в общем случае

$$i_1(P, j, t) = \frac{i_2(t) \psi_1(j, t) \psi_2(\alpha_p, t)}{k_T}. \quad (9)$$

Для определения входных токов СМ во всем диапазоне регулирования выходного напряжения суммируются входные токи соответствующих ИВН. Учитывая (9), общее выражение для входных токов СМ можно представить так:

$$i_1(j, t) = i_1(1, j, t) + i_1(2, j, t) + \dots + i_1(15, j, t), \quad (10)$$

где: $i_1(1, j, t)$, $i_1(2, j, t)$, ..., $i_1(15, j, t)$ – входные токи ИВН для первой, второй, ..., пятнадцатой зоны регулирования.

Токи i -х фаз элтрической сети находятся из соотношений:

$$\begin{aligned} i_{10}(i=1,t) &= i_1(1,t) - i_1(3,t) \\ i_{10}(2,t) &= i_1(2,t) - i_1(1,t) \\ i_{10}(3,t) &= i_1(3,t) - i_1(2,t). \end{aligned} \quad (11)$$

Диаграммы входных токов i -х фаз элтрической сети в координатах фазных напряжений, построенные по (11), представлены на рис. 3.

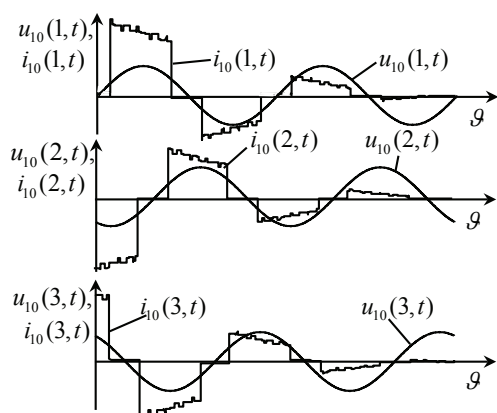


Рис. 3.

Проводя анализ диаграмм входных токов i -х фаз элтрической сети на рис. 3, можно утверждать что эти токи изменяются по синусоидальным законам с наложением высокочастотных пульсаций ИВН и ослаблением амплитуд токов по линейному закону.

Выводы

Получив информацию о каждом токе преобразователя, можно получить результат измерения его входных и выходных токов. Используя метод многопараметрических модулирующих функций, найдены ток и напряжение нагрузки, а также входные токи преобразователя. Создание данной математической модели преобразователя позволяет измерять токи и напряжения

как при синусоидальных напряжениях нагрузки, так и при напряжениях с амплитудами, изменяющимися по линейному закону (рис. 2.). Обобщающие функции многопараметрического вида можно также рекомендовать для анализа работы других преобразователей модуляционного типа.

Литература

- [1] **Жемеров Г.Г., Крылов Д.С.** Компьютерное моделирование преобразовательной системы с компенсационным управляемым выпрямителем // Технична електродинамика. Проблеми сучасної електротехники. Ч. 4. – Тематичний випуск. – 2002. – С. 59 – 62.
- [2] **Переверзев А.В., Тимовський А.К., Василенко О.В.** Моделювання пристроїв силової електроніки. – Запоріжжя: ЗДИА, 1988. – 98 с.
- [3] **Макаренко М.П., Михайленко В.В.** Аналіз електромагнітних процесів у перетворювачах з багатозонним регулюванням вихідної напруги функціями багатопараметричного виду // Техн. електродинаміка. Силова електроніка та енергоефективність. - Темат. вип. - 2002. - Ч.1. - С.19-22.

Сведения об авторах:

Михайленко Владислав Владимирович – к.т.н., старший преподаватель кафедры теоретической электротехники НТУУ «КПИ». Научные интересы: электрические измерения.

Маков Дмитрий Константинович – к.т.н., доцент кафедры теоретической электротехники НТУУ «КПИ». ». Научные интересы: качество электроэнергии.

Чунихина Татьяна Витальевна – Национальный технический университет НТУ «ХПИ», факультет автоматизации и приборостроения (1999), к.т.н. (2010), доцент (2012), доцент кафедры информационно-измерительных технологий и систем НТУ «ХПИ». Научные интересы: безмонтажные методы контроля метрологических характеристик первичных измерительных преобразователей.

MEASUREMENT OF THE VOLTAGES AND CURRENT IN ELECTRIC CIRCUIT OF THE SEMICONDUCTOR CONVERTERS TO ELECTRIC POWERS WITH FIFTEEN ZONED REGULATIONS OF THE OUTPUT VOLTAGE

V.V. Mihaylenko¹⁾, D. K. Makov¹⁾, T.V. Chunikhina²⁾

¹⁾ NTUU "KPI", Pobedy, 37, Kiev-56, 03056, Ukraine, e-mail: *VladislavMihailenko@i.net*,

²⁾ NTU "KhPI", Frunze str., 21, Kharkiv, Ukraine, *tetianactv@ukr.net*

Anotation – This article deals with analysis of the connecting processes is organized in electric circuit with semiconductor commutators. Mathematical model is created for analysis of the connecting processes in semiconductor converter of the electric powers.

Key words – connecting processes, semiconductor converters.

Reference:

[1] **Zherov G.G., Krylov D.S.** Komp'yuternoye modelirovaniye preobrazovatel'noy sistemy s kompensatsionnym upravlyayemym vypryamitelem // *Tekhnichna yelectroinamika. Problemi suchasnoy yelectrotekhniki. Ch. 4. – Tematichniy vipusk. – 2002. – S. 59 – 62.*

[2] **Pervezhev A.V., Timovskiy A.K., Vasilenko O.V.** Modelyuvannya pristoiv silovoi yelectron-

iki. – Zaporizhzhya: ZDIA, 1988. – 98 s.

[3] **Makarenko M.P., Mikhaylenko V.V.** Analiz yelectromagnitnikh protsesiv u peretvoryuvachakh z bagatozonnim reguluyvannam vikhidnoy naprugi funktsiyami bagatoparametrichnogo vidu // *Tekhn. yelectroinamika. Silova yelectronika ta yenergoyefektivnist'. – Temat. vip. - 2002. - Ch.1. - S.19-22.*

ИЗМЕРВАНЕ НА НАПРЕЖЕНИЯ И ТОКОВЕ В ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ВЕРИГИ НА ПОЛУПРОВОДНИКОВИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКА ЕНЕРГИЯ С ПЕТНАДЕСЕТЗОННО РЕГУЛИРАНЕ НА ИЗХОДНОТО НАПРЕЖЕНИЕ

V.V. Михайленко, Д. К. Маков¹⁾, Т.В. Чунихина²⁾

¹⁾ НТУУ "КПИ", 03056 Украина, г. Киев, пр. Победы, 37, e-mail: *feakpi@ukr.net*.

²⁾ НТУ „ХПИ“, 61002 Украина, г. Харьков, ул. Фрунзе, 21, *tetianactv@ukr.net*

Резюме - В този доклад е извършен анализ на преходните процеси в електрически вериги с полупроводникови комутатори. Създаден е математически модел за анализ на преходните процеси в полупроводникови преобразуватели на електроенергия.

Ключови думи - преходни процеси, полупроводникови преобразуватели.