

УДК 621.316.722.3

Варламов Никита Сергеевич, аспирант кафедры электротехники и электрооборудования объектов водного транспорта ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

Сугаков Валерий Геннадьевич, профессор, д.т.н., профессор кафедры электротехники и электрооборудования объектов водного транспорта ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5.

АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ ЦИФРОВЫХ ФАЗОСМЕЩАЮЩИХ УСТРОЙСТВ ПРИ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ЧАСТОТЫ НАПРЯЖЕНИЯ

Ключевые слова: фазосмещающее устройство, ошибка дискретизации, частота напряжения, разрядность, параметры элементов.

Аннотация. В статье рассмотрены структура и принцип работы цифровых фазосмещающих устройств, применяемых в системах управления полупроводниковыми преобразователями. Произведены расчеты и анализ зависимостей максимальной ошибки дискретизации и частоты импульсов с выхода генератора в зависимости от разрядности цифрового фазосмещающего устройства при работе в сетях электроснабжения с нестабильной частотой напряжения.

Фазосмещающее устройство (ФСУ) является одним из основных элементов системы управления полупроводниковым преобразователем (ПП). Основной задачей ФСУ является управление моментами коммутации вентилей ПП (например, тиристорами), а также выполнение функции преобразования и регулирования параметров электрической энергии [1-4].

Принцип работы на основе цифровых ФСУ с «вертикальным» способом управления проиллюстрирован на рисунке 1.

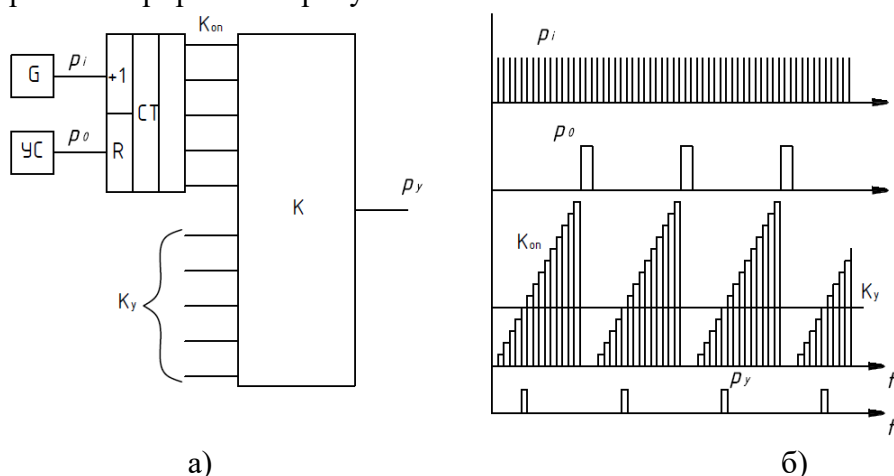


Рис.1. Схема (а) и временные диаграммы (б) цифрового фазосмещающего устройства

В цифровых генераторах опорного напряжения опорный код K_{on} формируется за счет использования счетчика CT . Импульсы p_i с выхода генератора импульсов стабильной частоты G поступают на счетный вход суммирующего счетчика CT . На выходе счетчика CT формируется линейный опорный код K_{on} . В момент равенства опорного кода K_{on} и кода управления K_y на выходе цифрового компаратора K формируется импульс p_y , соответствующий моменту открытия вентиля ПП. «Обнуление» счетчика CT осуществляется импульсами p_0 с устройства синхронизации $УС$, подаваемыми на R -вход счетчика [1].

Для обеспечения нормальной работы ПП к ФСУ предъявляют следующие требования [2-4]:

1. требуемый диапазон регулирования угла управления в зависимости от типа преобразователя и характера нагрузки: при активной нагрузке максимальный угол управления α_{max} для однофазных выпрямителей и трехфазных выпрямителей с несимметричным управлением должен составлять 180 эл. град, для трехфазного выпрямителя с нулевым проводом – 150 эл. град; для мостового – 120 эл. град.; при работе на индуктивную нагрузку – 90 эл. град;

2. достаточное быстродействие;

3. достаточную симметрию управляющих импульсов (допустимая несимметрия меньше 1-2 эл. град);

4. максимальная ошибка угла управления в многоканальных системах управления не должна превышать 2–3 эл. град.

Максимальная ошибка дискретизации $\Delta\alpha_{max}^D$ для цифровых ФСУ с «вертикальным» способом управления зависит от максимального угла управления α_{max} , определяется характером нагрузки и типом выпрямителя и разрядностью n элементов цифрового ФСУ и находится по выражению [4]:

$$\Delta\alpha_{max}^D = \frac{\alpha_{max}}{(2^n - 1)}. \quad 1)$$

На основании уравнения (1) на рис. 2 построен график зависимости максимальной ошибки дискретизации $\Delta\alpha_{max}^D$ от разрядности n элементов входящих в состав ФСУ с «вертикальным» способом управления при различных максимальных углах управления α_{max} , которые определяются структурой выпрямителя и характером нагрузки.

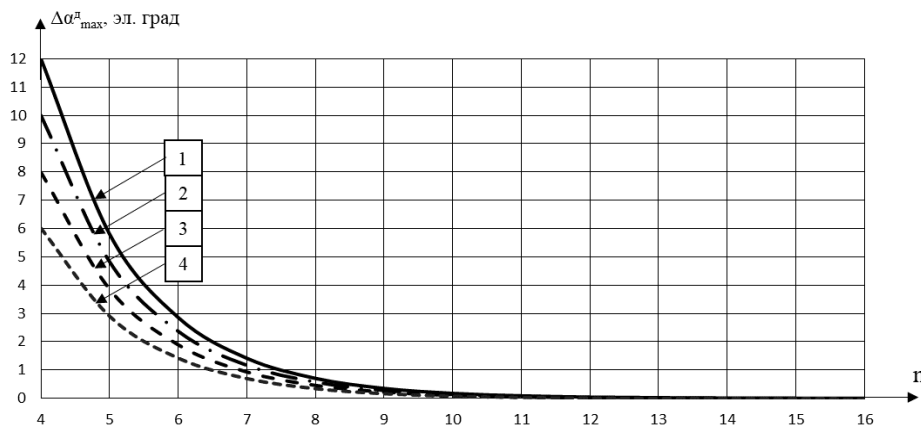


Рис. 2. Максимальная ошибка дискретизации цифровых ФСУ с «вертикальным» способом управления:

1 – при трехфазной мостовой схеме с несимметричным управлением ($\alpha_{max} = 180^\circ$);

2 - при трехфазной нулевой схеме ($\alpha_{max} = 150^\circ$);

3 - при трехфазной мостовой схеме с активным характером нагрузки ($\alpha_{max} = 120^\circ$);

4 - трехфазной мостовой схеме с индуктивным характером нагрузки ($\alpha_{max} = 90^\circ$).

Согласно характеристикам $\Delta\alpha_{\max}^D = f(n)$ (рис. 2), с увеличением разрядности n элементов ФСУ уменьшается максимальная ошибка угла управления $\Delta\alpha_{\max}^D$. Однако, увеличение разрядности ФСУ приводит к увеличению частоты импульсов с выхода генератора импульсов стабильной частоты. Частота импульсов f_p выбирается таким образом, чтобы за полпериода сетевого напряжения проходило 2^n импульсов [6]:

$$f_p = 2 \cdot 2^n \cdot f_c = 2^{n+1} \cdot f_c, \quad (2)$$

где f_c – частота сетевого напряжения;

На основании уравнения (2) на рис. 3 построен график зависимости частоты импульсов с выхода генератора импульсов от разрядности элементов $f_p = f(n)$.

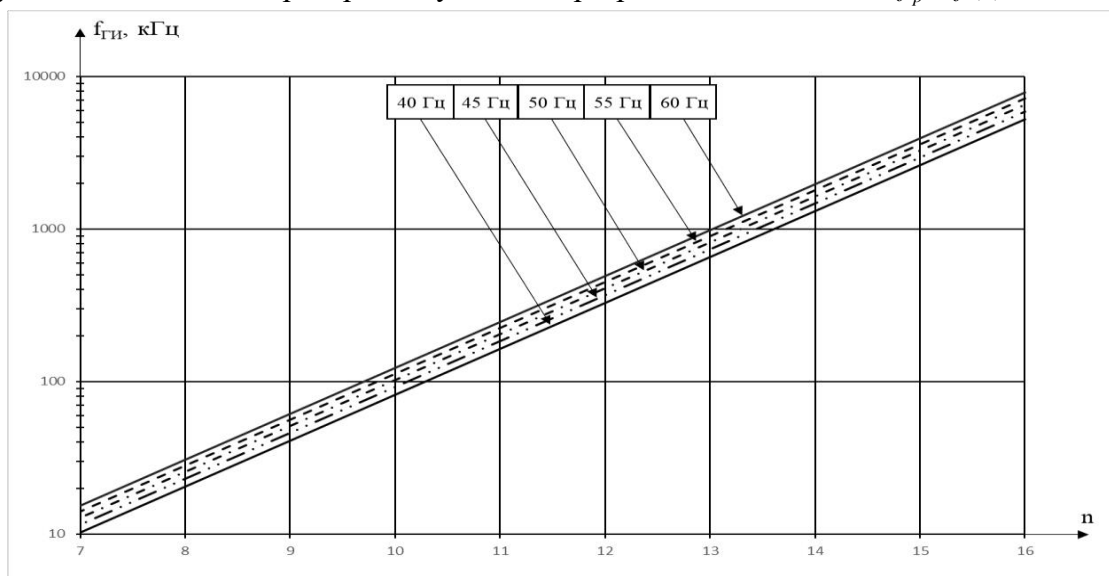


Рис. 3. Изменение частоты импульсов с выхода генераторов при изменении разрядности цифрового ФСУ при различных значениях частоты напряжения

Из рис. 3 следует, что при увеличении разрядности n элементов ФСУ возникает необходимость в увеличении частоты с выхода генератора стабильных импульсов. При изменении частоты сетевого напряжения сети необходимо изменять частоту следования импульсов с выхода генератора импульсов. Увеличение частоты импульсов f_p отрицательно сказывается на помехоустойчивости цифровых ФСУ по причине снижения постоянной времени элемента преобразования напряжения в частоту импульсов.

Таким образом, максимальная ошибка угла дискретизации в цифровых фазосмещающих устройствах определяется тремя основными параметрами: максимальным значением угла управления, частотой следования импульсов, которая определяется разрядностью элементов входящих в устройство, и частотой питающего напряжения. Повышение частоты напряжения соответственно приводит к пропорциональному увеличению максимального угла дискретизации. В результате, для исключения негативного воздействия колебаний частоты питающего напряжения, приводящего к увеличению максимальной ошибки дискретизации и к изменению моментов коммутации вентиля ПП, необходимо изменение частоты следования импульсов с выхода генератора или значения управляющего кода.

Список литературы:

- [1] Горбачев, Г.Н., Чаплыгин Е. Промышленная электроника: учебник для вузов/Под ред. В.А. Лабунцова. -М.: Энергоатомиздат, 1988. - С. 279-295.
- [2] Розанов Ю.К, Основы силовой электроники / Ю.К. Руденко. – М.: Энергкоатомиздат, 1992. – С. 220-248.

[3] Руденко В.С. Основы преобразовательной техники: Учебник для вузов / В.С. Руденко, В.И. Сенько, И.М. Чиженко – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. школа, 1980. – С. 396-417.

[4] Дудкин М. М. Устройства и системы управления силовыми вентильными преобразователями для потребителей с нестабильными параметрами источника электроснабжения: дис. док. техн. наук; специальность: 05.09.12 – силовая электроника/М. М. Дудкин. – Челябинск: Южно-Уральский государственный университет, 2014. – 482 с.

ANALYSIS OF PARAMETERS OF ELEMENTS OF DIGITAL PHASE-SHIFTING DEVICES AT INSTABILITY VOLTAGE FREQUENCY

Nikita S. Varlamov, Valerij G. Sugakov

Key words: phase shifting device, sampling error, voltage frequency, capacity, parameters of elements.

The article describes the structure and principle of operation of digital phase-shifting devices used in control systems of semiconductor converters. Calculations and analysis of the dependencies of the maximum sampling error and the pulse frequency from the output of the generator depending on the capacity of the digital phase-shifting device, when operating in power supply networks with an instability voltage frequency.