

ПРИМЕНЕНИЕ БЫСТРОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФУРЬЕ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ С ИМПУЛЬСНЫМИ РЕГУЛЯТОРАМИ

Олейниченко Н.Н., Конева С.А.

Ключевые слова: быстрое преобразование Фурье, системы импульсного регулирования напряжения, синхронный генератор.

Аннотация. Разработка и применение системы импульсного регулирования напряжения – одно из перспективных направлений для повышения качества напряжения в судовых электроэнергетических системах. Моделирование разрабатываемых систем является неотъемлемой частью процесса разработки и исследования этих систем. В статье рассматривается возможность и необходимость применения быстрого преобразования Фурье для математического моделирования новых импульсных систем регулирования напряжения.

APPLICATION OF FAST FOURIER TRANSFORMATION FOR MODELING OF VOLTAGE REGULATION SYSTEMS OF SYNCHRONOUS GENERATORS WITH PULSE REGULATORS

Oleynichtnko N.N., Koneva S.A.

Keywords: fast Fourier transform, pulse voltage control systems, synchronous generator.

Abstract. The development and use of a pulsed voltage control system is one of the promising areas for improving the quality of voltage in ship power systems. The modeling of the systems being developed is an integral part of the development and research of these systems. The article discusses the possibility and necessity of applying the fast Fourier transform for mathematical modeling of new pulsed voltage control systems.

Импульсным принято называть регулирование, при котором напряжение возбуждения имеет форму импульсов (рис. 1).

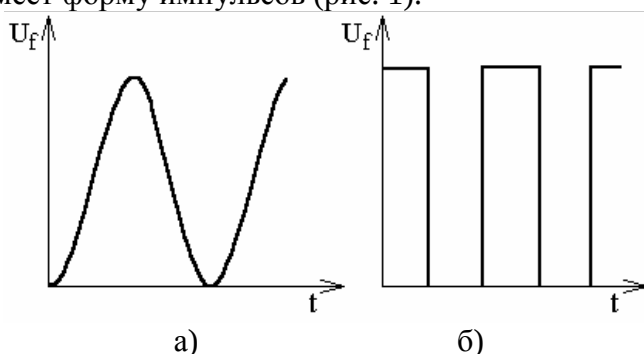


Рис. 1. Формы напряжения импульсного возбуждения

Далее будут рассматриваться системы возбуждения, в которых напряжение импульсов имеет форму, приведенную на рис. 1,б.

К системам импульсного регулирования относится система регулирования по пульсациям выпрямленного напряжения, сущность работы которой поясняется рис. 2 и заключается в следующем: трехфазное

напряжение СГ снимается трансформатором, выпрямляется трехфазной мостовой схемой, пульсации выпрямленного напряжения U_n сравниваются с заданным опорным напряжением $U_{оп}$, измеряются временные интервалы, когда напряжение пульсаций ниже опорного, и в результате формируются импульсы напряжения U_f , подаваемые на обмотку возбуждения. Величина этих импульсов и их длительность определяется режимом работы СГ.

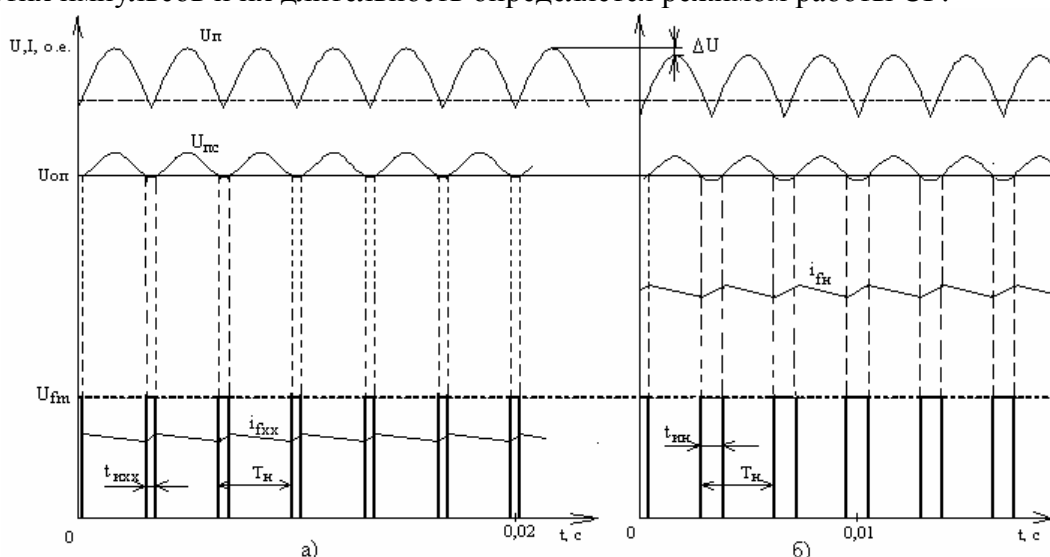


Рис. 2. Способ регулирования возбуждения СГ по пульсациям выпрямленного напряжения: а – при холостом ходе; б – при работе на нагрузку

На рис. 2 обозначены: U_n – пульсации выпрямленного напряжения СГ; $U_{оп}$ – заданное опорное напряжение; U_{fm} – максимальное значение напряжения питания обмотки возбуждения; T_n – период подачи импульсов на обмотку возбуждения; t_n – ширина импульсов, подаваемых на обмотку возбуждения; i_f – ток возбуждения; $U_{пс}$ – напряжение сглаженных пульсаций.

Выпрямление напряжения генератора может осуществляться трехфазным мостом Ларионова, на выходе которого имеется шесть импульсов выпрямленного напряжения за один период изменения выходного напряжения генератора. Таким образом, за один период ($T=0,02$ с) на обмотку возбуждения генератора подается шесть импульсов напряжения U_f (рис. 3).

Напряжение пульсаций U_n на выходе выпрямителя (рис. 3) может быть записано в виде

$$U_n = \sqrt{3}U_m \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{m} + \omega t\right) \Bigg|_{60^\circ}^{120^\circ}, \quad (1)$$

где U_m – амплитуда напряжения генератора, В; $m=6$ – количество тактов выпрямителя; $\omega=314$ – угловая частота, рад/с.

Сглаживание пульсаций перед сравнением с опорным напряжением – один из способов снижения статической ошибки [1].

Этот способ регулирования получил название параметрической стабилизации напряжения. Этот способ отличается от регулирования по пульсациям тем, что мгновенные пульсации выпрямленного напряжения генератора перед измерением временных интервалов сглаживаются (рис. 1).

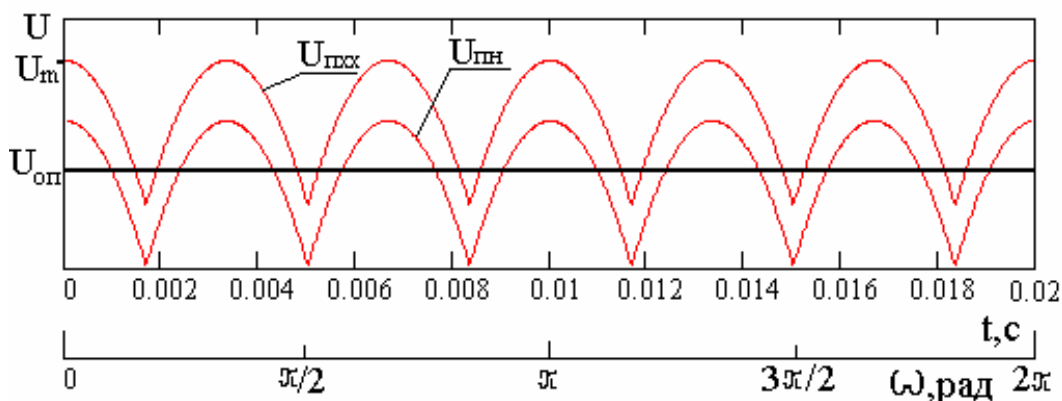


Рис. 3. Напряжение пульсаций на выходе трехфазного выпрямителя:
 $U_{пхх}$ – напряжение пульсаций при холостом ходе; $U_{пн}$ – напряжение пульсаций при работе генератора под нагрузкой

Для получения сглаженного сигнала после выпрямителя установлена интегрирующая цепь, имеющая передаточную функцию

$$K(j\omega) = \frac{1/j\omega C}{R + 1/j\omega C} = \frac{1}{j\omega C} \cdot \frac{1}{1 + j\omega RC} = \frac{1}{j\omega C} \cdot \frac{1}{1 + \tau_0 j\omega}, \quad (2)$$

где τ_0 – постоянная времени интегрирующей цепи ($\tau_0 = RC$), R, C – параметры элементов цепи.

При регулировании по способу ПСН, сигнал, описываемый выражением (1), интегрируется во времени. Один из возможных путей расчета в этом случае основан на представлении действующих сигналов в виде совокупности синусоидальных составляющих с различными частотами, математической базой которого является аппарат интегралов Фурье [2]. Математический смысл преобразования Фурье состоит в представлении сигнала $y(x)$ в виде бесконечной суммы синусоид вида $F(v) \cdot \sin(v \cdot x)$. Функция $F(v)$ называется преобразованием Фурье или интегралом Фурье. Ее аргумент v имеет смысл частоты соответствующей составляющей сигнала. Поэтому для получения результата интегрирования удобно применить спектральный метод и быстрое преобразование Фурье (БПФ)

$$U_{п}(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} S(\omega) K(\omega) e^{j\omega t} d\omega, \quad (3)$$

где $S(\omega)$ – спектр сигнала, полученный методом БПФ, $K(\omega)$ – передаточная функция интегрирующей цепи.

Вычисление коэффициентов дискретного преобразования Фурье (ДПФ) последовательности из N отсчетов по алгоритмам быстрого преобразования Фурье (БПФ) требует примерно $N \log_2 N$ операций умножения. Алгоритмы БПФ сокращают число операций по сравнению с алгоритмами ДПФ в $N^2 / (N \log_2 N) = N \log_2 N$ раз. Например, при количестве отсчетов $N = 2^{10}$ имеем $\log_2 N = 10$ и сокращение числа операций составляет $N \log_2 N \approx 100$. При очень больших массивах отсчетов входного сигнала выигрыш в скорости обработки может достигать нескольких тысяч.

Вывод. Таким образом, применение алгоритмов быстрого преобразования Фурье при моделировании системы импульсного регулирования напряжения синхронного генератора по способу параметрической стабилизации – один из самых доступных, позволяющих получить не только хороший результат, что подтверждается натурными испытаниями, но и снизить объем расчетов, а значит – время моделирования и количество задействованных для моделирования ресурсов.

Список литературы

1. Полторак И.А., Олейниченко Н.Н. Влияние параметров импульсного возбуждения синхронного генератора на процесс регулирования напряжения // Электротехнические и электромеханические системы: Материалы XX-й Крымской студ. научно-техн. конф. (Севастополь, 19-21 мая 2015г.) – Севастополь: СевГУ, 2015. – С.98-103.
2. Алгоритмы дискретного и быстрого преобразований Фурье. Электронный ресурс. Режим доступа: http://sernam.ru/book_tec.php?id=149

References

1. Poltorak I.A., Oleynichenko N.N. Influence of pulse excitation parameters of synchronous generator on voltage regulation process // Electrotechnical and Electromechanical systems: Materials of the XX-th Crimean student scientific and technical conference (Sevastopol, may 19-21, 2015) – Sevastopol: SevGU, 2015. – P.98-103.
2. Algorithms for discrete and fast Fourier transforms. Electronic resource. Access mode: http://sernam.ru/book_tec.php?id=149

Олейниченко Наталья Николаевна – кандидат технических наук, доцент кафедры судового электрооборудования, nno_sgu@mail.ru	Oleynichenko Natalia Nikolaevna – candidate of technical sciences, assistant professor of marine electrical equipment, nno_sgu@mail.ru
Конев Светлана Андреевна – кандидат технических наук, доцент кафедры судового электрооборудования, ksa2602@mail.ru	Konev Svetlana Andreevna – candidate of technical sciences, assistant professor of marine electrical equipment, ksa2602@mail.ru
Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия	Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

Received 14.03.2019