

УДК 621.316

Д.А. Белоусов

ООО «Евросвязь», Харьков

СТАБИЛИЗИРОВАННЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ СВЕТОДИОДНЫХ СВЕТИЛЬНИКОВ

Приведены результаты исследования стабилизатора напряжения подключаемого к промышленной сети и предназначенного для питания светодиодных светильников. По приведенным в статье соотношениям находятся прямые и обратные напряжения и токи, а по их значениям определяются типы диодов и транзисторов.

Ключевые слова: светодиод, выпрямитель с вольтодобавкой, система импульсно-фазового управления, обратная связь, замкнутая система управления,

Введение

Сверхяркие светодиоды и матрицы находят широкое применение в светильниках наружного и внутреннего освещения, так как в настоящее время являются наиболее эффективными преобразователями электрической энергии в световую и кроме того имеют ресурс работы намного превышающий ресурс газоразрядных ламп различного типа.

Сверхяркие светодиоды имеют существенно нелинейные вольтамперные и люменамперные характеристики и поэтому для обеспечения долговременной работы светильника необходим стабилизатор способный работать на нелинейную нагрузку, создающий минимальный уровень радиопомех и высокочастотных гармоник в питающей сети.

Блок-схема одного из возможных вариантов такого стабилизатора приведена на рис. 1.

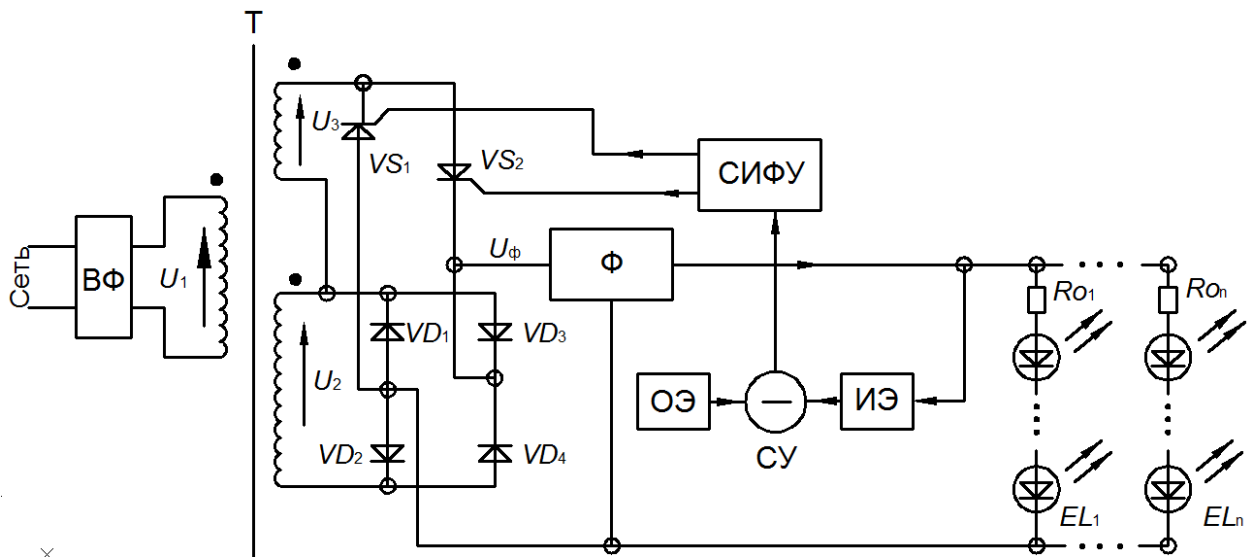


Рис. 1. Блок-схема стабилизатора с вольтодобавкой

Изложение основного материала

Напряжение сети U_1 подается через входной фильтр ВФ на первичную обмотку трансформатора Т. Вторичное напряжение U_2 подается на мостовой неуправляемый выпрямитель $VD_1 \div VD_4$, а

напряжение U_3 на управляемый выпрямитель вольтодобавки VS_1, VS_2, VD_3, VD_4 . Входное напряжение фильтра Φ представляет собой сумму напряжений двух выпрямителей. Форма этого напряжения представляет собой сумму двух полусинусоид, одна из них меньше, а другая

больше, но усеченная. Изменяя, при помощи системы импульсно-фазового управления СИФУ, моменты подачи импульсов управления (угол α) тиристорами можно управлять средним значением выпрямленного напряжения U_ϕ .

Стабилизатор представляет собой замкнутую систему автоматического регулирования выходного напряжения, подаваемого на матрицы сверхярких светодиодов $EL_1 \div EL_n$. В эту систему входят: измерительный ИЭ и опорный ОЭ элементы, два сигнала которых подаются на сравнивающее устройство СУ. Усиленный разностный сигнал ошибки управления подается на СИФУ. В СИФУ происходит преобразование сигнала ошибки в импульсы управления тиристорами, синхронизируемые напряжением питающей сети.

Для обеспечения среднего значения напряжения на входе пассивного фильтра Φ необходимо выполнение условия

$$U_\phi = U_0 + U_{\omega}, \quad (1)$$

где U_0 – среднее значение выпрямленного напряжения неуправляемого выпрямителя;

U_{ω} – среднее значение напряжения вольтодобавки.

Так как

$$U_0 = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \sqrt{2} U_2 \sin \omega t d(\omega t), \quad (2)$$

$$U_{\omega} = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \sqrt{2} U_3 \sin \omega t d(\omega t), \quad (3)$$

где U_2 и U_3 – действующие значения на вторичных обмотках трансформатора T . В результате интегрирования и суммирования этих выражений получим:

$$U_\phi = \frac{1}{\pi} [2U_2 + U_3(1 + \cos \alpha)], \quad (4)$$

где α – угол регулирования тиристорами.

Обозначив $K_1 = \frac{U_2}{U_1}$ и $K_2 = \frac{U_3}{U_1}$, получим

$$U_\phi = \frac{U_1}{\pi} [2K_1 + K_2(1 + \cos \alpha)]. \quad (5)$$

На основании этого уравнения определим закон изменения угла управления тиристорами

$$\alpha = \arccos \left[\frac{\pi U_\phi - U_1(2K_1 + K_2)}{K_2 U_1} \right]. \quad (6)$$

Угол управления может изменяться в пределах от 0° до 180° . При минимальном значении действующего напряжения U_1 угол управления

$\alpha = 0$, а напряжение $U_\phi = \frac{2U_1}{\pi} [K_1 + K_2]$. При

$U_1 = U_{1\max}$

$\alpha = 180^\circ$, а $U_\phi = \frac{2U_1 K_1}{\pi}$.

Однако, кроме постоянной составляющей выпрямленное напряжение содержит и переменную, состоящую из ряда четных гармоник. Амплитудное значение напряжения каждой из них U_{nm} можно найти используя разложение в ряд Фурье [1, 2]

$$U_{nm} = U_\phi \frac{2\sqrt{1+m^2n^2} \operatorname{tg} \alpha}{m^2n^2 - 1}, \quad (7)$$

где $m = 2$ – пульсность выпрямителя;

$n = 2; 4; 6 \dots$ – номера гармонических

составляющих.

Амплитуда гармоник зависит от угла регулирования α , приложенного напряжения U_1 . Наибольшую амплитуду будет иметь вторая гармоника при $\alpha \geq 90^\circ$.

Для выбора типа диодов и тиристорov выпрямителя необходимо знать максимальное прямое и обратные напряжения приложенное к ним, а также среднее и действующее значение проходящих токов. Наибольшее обратное напряжение прикладывается к закрытым диодам и тиристорам при $\alpha = 0$

$$U_{обм} = \sqrt{2} K_1 U_{1\max}. \quad (8)$$

Среднее I_{cp} и действующее значение токов

I_g через диоды и тиристоры может быть найдено:

$$I_{cp} = \frac{I_d}{2}; \quad (9)$$

$$I_\delta = \frac{\pi I_d}{4}, \quad (10)$$

где

$$I_d = \frac{U_\phi}{R_{\delta n} + R_0},$$

$R_{\delta n}$ – прямое сопротивление светодиодов;

$R_{01} \dots R_{0n}$ – ограничивающее сопротивление.

Действующее значение токов первичной I_1 и вторичной I_2 обмоток трансформатора соответственно равны

$$I_1 = \frac{\pi(2K_1 + K_2)}{2\sqrt{2}} I_d; \quad (11)$$

$$I_2 = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} I_d. \quad (12)$$

Расчетная мощность трансформатора

$$S = U_1 I_1. \quad (13)$$

Регулирование тиристорами вольтодобавки осуществляет синхронная СИФУ с вертикальным управлением, структурная схема которой показана на рис. 2.

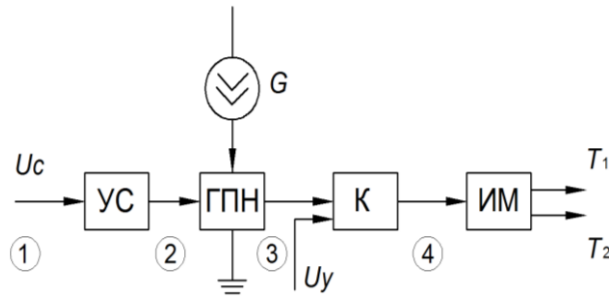


Рис. 2. Структурная схема синхронной СИФУ

Она состоит из: устройства синхронизации УС, генератора пилообразного напряжения ГПН, источника тока G , компаратора К и импульсного усилителя ИМ.

Вход УС подключен к отдельной обмотке силового трансформатора Т, в моменты перехода переменного напряжения сети через нуль вырабатываются короткие однополярные импульсы удвоенной частоты длительностью 0,2 мс. Эти импульсы управляют работой ГПН. В паузы от источника тока G происходит заряд накопительного конденсатора стабильным током, а в момент действия импульса синхронизации проходит быстрый разряд. В результате формируется пилообразное напряжение положительной полярности, поступающее на один из входов компаратора К. На другой вход подается напряжения усиленного разностью сигнала U_y СУ. В момент сравнения напряжений компаратор формирует положительный импульс, длительность которого определяется величиной разностного сигнала U_y . Чем выше U_y , тем меньше

длительность сформированного импульса. Далее импульсы усиливаются по мощности на ИМ и затем поступают на управление тиристорами вольтодобавки.

По переднему фронту импульсов управления тиристоры поочередно открываются, а закрываются в моменты перехода тока тиристора через нуль. На рис. 3 показаны эпюры напряжений в различных точках СИФУ.

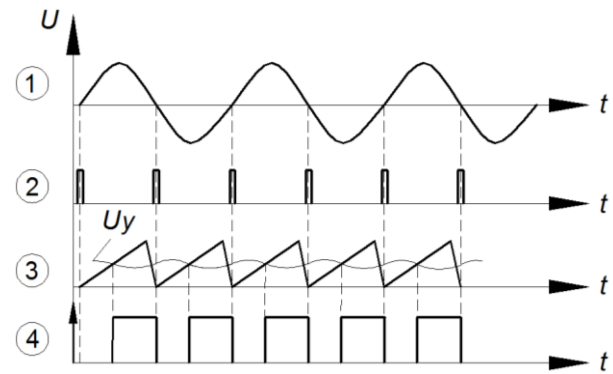


Рис. 3. Эпюры напряжения в различных точках СИФУ

Точность поддержания выходного напряжения U_0 определяется моментами формирования управляющих импульсов, поступающих на тиристоры вольтодобавки. При вертикальном методе управления моменты формирования определяются временем, когда выполняется равенство

$$U_n + U_y = U_c, \quad (14)$$

где U_n – пилообразные напряжения генератора ГПН;

U_c – напряжение срабатывания компаратора.

Для идеального случая линейности пилообразного напряжения это уравнение приобретает вид

$$\frac{U_{n\max}}{t_p} t + U_y = U_c, \quad (15)$$

где t_p – время прямого хода пилообразного напряжения;

t – текущее время.

Полный дифференциал при $U_y = const$

$$dt = \frac{t_p}{U_{n\max}} dU_n - \frac{(U_c - U_y)}{U_{n\max}^2} dU_{n\max} + \frac{U_c - U_y}{U_{n\max}} dt_p \quad (16)$$

при максимальном диапазоне регулювання

$$U_c - U_y \approx U_{n\max}, \quad (17)$$

Перейдя к конечным приращениям и взяв их абсолютные значения, получим

$$\Delta t = \frac{t_p}{U_{n\max}} \Delta U_c + \frac{t_p}{U_{n\max}} \Delta U_{n\max} + \Delta t_p, \quad (18)$$

$$\frac{\Delta t}{t_p} = \frac{\Delta U_c}{U_{n\max}} + \frac{\Delta U_{n\max}}{U_{n\max}} + \frac{\Delta t_p}{t_p}, \quad (19)$$

где ΔU_c – нестабильность срабатывания компаратора;

$\frac{\Delta U_{n\max}}{U_{n\max}}$ – нестабильность пилообразного напряжения.

Выводы

Статья посвящена одной из разновидностей стабилизатора напряжения предназначенного для питания светодиодных светильников для уличного и наружного освещения. Приведены основные соотношения позволяющие произвести расчет элементов силовой части стабилизатора и системы управления.

Литература

1. Беркович Е. И. Полупроводниковые выпрямители / Е. И. Беркович, В. Н. Ковалев и др. – М.: Энергия, 1978. – 448 с.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Сосков А.Г., Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А.Н.Бекетова.

Автор: БЕЛОУСОВ Дмитрий Александрович ООО «ЕвроСвязь», г. Харьков

2. Отчет IEC/TR 62778:2012, Application of IEC 62471 for the assessment of blue hazard to light sources and luminaires.

3. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1978.

4. Публикация ANSI/IESNA RP-16-10, Nomenclature and Definitions for Illuminating Engineering.

5. Стандарт ISNA TM-21-2011, Projecting Long Term Lumen Maintenance of LED Light Sources.

6. Технические условия IEC / PAS 62717:2011 LED modules for general lighting – Performance requirements.

7. Horbny A.S., Oxford Advanced Learner's Dictionary of Current English: Special edition for the USSR. – In 2 vol. – Oxford University Press. – Oxford. – 1982.

References

1. Berkovich, E.I. (1978). Semiconductor rectifiers. Moscow: Energija, 448 p.

2. Report IEC/TR 62778:2012, Application of IEC 62471 for the assessment of blue hazard to light sources and luminaires.

3. Korn, G. (1978) Mathematical Handbook for Scientists and Engineers. Moscow: Nauka.

4. ANSI/IESNA RP-16-10, Nomenclature and Definitions for Illuminating Engineering.

5. Standard ISNA TM-21-2011, Projecting Long Term Lumen Maintenance of LED Light Sources.

6. Specifications IEC / PAS 62717:2011 LED modules for general lighting – Performance requirements.

7. Horbny A.S., Oxford Advanced Learner's Dictionary of Current English: Special edition for the USSR. – In 2 vol. – Oxford University Press. – Oxford. – 1982.

СТАБІЛЬНЕ ДЖЕРЕЛО ЖИВЛЕННЯ СВІТЛОДІОДНИХ СВІТИЛЬНИКІВ

Д. О. Білоусов

Наведені результати дослідження стабілізатора напруги підключаемого для промислової мережі та призначеного для світлодіодних світильників. За приведеними в статті співвідношеннями розраховуються прямі та зворотні напруги і токи, а за їх значеннями визначається типи діодів і транзисторів.

Ключові слова: світлодіод, випрямляч з вольтодобавкою, система імпульсно-фазового управління, зворотний зв'язок, замкнута система управління, пилоподібна напруга позитивної полярності, кут регулювання тиристорами.

STABILIZED POWER SUPPLY FOR LED LIGHTS

Bilousov D.O.

One of the most important criteria for the quality of life in modern cities and other human settlements is the lighting highways, streets, yards of houses, warehouses, industrial buildings and areas in the evening, night and morning time, because it reduces the number of road accidents and illegal infringements.

Lightings are scattered along the roads, streets, yards, perimeter, on which there are industrial buildings or warehouses.

Lamps operate in harsh environmental conditions: temperature ranges from -30°C to $+40^{\circ}\text{C}$, high humidity, reaching up to 98%, constant dust. In addition, the voltage in lighting networks often goes beyond the norms of the nominal values, and at the time the thunder and lightning in them appear transient overvoltage reaching the 10kV.

Most lamps are placed on special towers height of 10-12 meters, which makes their maintenance and repair teams difficult, as it requires special equipment to the lifts. These features work environment determine the choice and maintenance of communication and scheme solutions, taking into account the efficiency and reliability of the lighting fixtures.

The lamp consists of a power unit consisting of a transformer primary winding through which the actuator is connected to the lighting network, rectifier, adjustable voltage boost, control and regulation of thyristors, smoothing passive LC-filter and panel arrays superbright LEDs, reflector with transparent side.

Voltage, supplied to the input of LC-filter is the sum of two voltage rectifiers. The shape of this voltage is the sum of the two half-sine, one of them is less and the other more, but truncated.

$$U_{\Phi} = \frac{U_1}{\pi} [2K_1 + K_2 (1 + \cos\alpha)]$$

$$\text{где } K_1 = \frac{U_2}{U_1} \text{ и } K_2 = \frac{U_3}{U_1};$$

U_1, U_2, U_3 – operating voltage on the primary and secondary windings of the transformer.

Thyristor control law α defined by the equation:

$$\alpha = \arccos \left[\frac{\pi U_{\Phi} - U_1 (2K_1 + K_2)}{K_2 U_2} \right]$$

As provided in Article relations are could be used to calculate direct and reverse voltages and currents, and their values are determine the types of diodes and thyristors.

Regulation thyristor voltage boost is performed by synchronous system of pulse-phase control SPPC consisting of a locking device LD, the required voltage generator GV, current source G, the comparator K and a pulse amplifier.

Accuracy of voltage U_0 is determined by moments of generating control pulses arriving at the thyristors voltage boost.

$$\Delta t = \frac{t_p}{U_{n \max}} \Delta V_c + \frac{t_p}{U_{n \max}} \Delta U_{\max} + \Delta t_p$$

where t_p - time of the forward stroke of the sawtooth voltage; $U_{n \max}$ - peak value of the ramp; U_0 - voltage comparator operation.

Key words: LED rectifier with voltodobavkoyu system pulse-phase control, feedback control system closed, sawtooth voltage of positive polarity, angle adjustment thyristors.