

## Изследване нивото на пулсации на импулсен преобразувател на енергия от понижаващ вид

Васил Иванов, Ивайло Стоянов, Людмил Михайлов

**Study level ripple pulse converter stabilized by lowering type:** Used software product MATLAB computing, making graphs and charts as a modern method of creating mathematical models. Built simulation structure of functional blocks of switching by Simulink programming environment. Made is analysis of the spectral FFT before and after the Notch repressing harmful levels of the ripple in the output circuit.

**Key words:** Stabilized pulsed inverter, amplitude Frequency response of, a duty cycle, Simulink.

### ВЪВЕДЕНИЕ

Непрекъснато увеличаващите се изисквания за повишаване на енергийната ефективност през последните години, поставят все по-често въпроса за използване на обзавеждане, притежаващо висок коефициент на полезно действие КПД. Това ще допринесе за повишаване на конкурентоспособността на произвежданата продукция. Известно е, че основен елемент в хранящите блокове на компютри, мобилни телефони, енергоспестяващи луминесцентни лампи, непрекъснати хранявания, регулаторите на постоянно напрежение и др. са импулсните преобразуватели на енергия [9]. Те притежават висок КПД, който се осигурява от ключовия режим на работа на полупроводниковите силови елементи. Техният принцип на работа се базира на ключово управление на силови елементи в зависимост от потреблението чрез широчинно импулсна модулация (ШИМ). Това дава възможност автоматично да се оптимизират режимите на работа при различно натоварване, чрез изменение коефициента на запълване. Други предимства на импулсните стабилизатори е широкият диапазон на регулиране - работа при големи толеранси на входните напрежения [9].

Съществен недостатък на импулсните преобразуватели на енергия са свързани с генерирането на хармоничните съставлящи на изхода, които се предават по електрическата мрежа към консуматора като внасят вредни електрически шумове и „замърсявания“, които могат да разстройат неговата работа.

Целта на настоящата статия е да се изследват нивата на пулсации и коефициентът на пулсации на импулсен стабилизиран преобразувател на енергия от понижаващ вид.

### ПОСТАНОВКА НА ЗАДАЧАТА

Структурната схема на импулсен стабилизиран преобразувател е показана на фиг. 1 [5]. Тя се състои от блоковете ОУ1, ОУ2 и G, които изграждат модулятора за ШИМ, силовият полупроводников ключ и филтър за хармонични съставлящи, реализиран от  $L_1$  и  $C_o$ .

Една част от изходното напрежение  $U_o$  се подава обратно. Тя се определя от съотношението  $R_2/(R_1+R_2)$ . Генераторът подава напрежение с триъгълна форма и постоянна честота на ОУ2. Изходният сигнал на ОУ2 е с правоъгълна форма, като периодът на импулсите  $T$  е еднакъв с периода на изходното напрежение на генератора. Коефициентът на запълване  $\delta = t_{on}/T$  на напрежението се управлява от разликата между напрежението на ООВ и опорното напрежение  $U_{ref}$ .

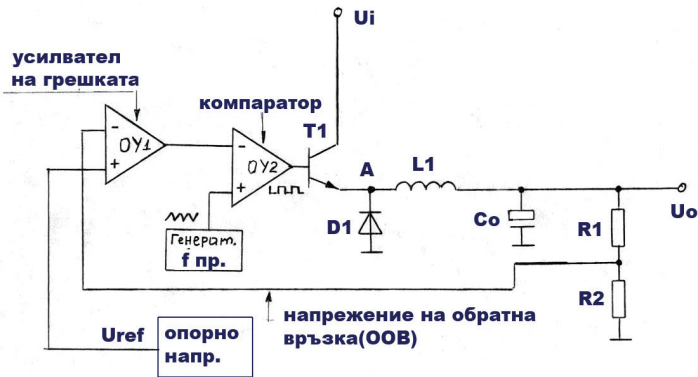
Когато  $T_1$  е отпушен напрежението в т. А  $U_A$  е

$$U_A = U_i - U_{CEsat} = U_i, \quad (1)$$

където  $U_A$  е напрежението в т.А;

$U_i$  - постояннотоково входно напрежение;

$U_{CEsat}$  - падът на напрежение в прехода С-Е при отпушен транзистор.



Фиг. 1. Структурната схема на импулсен стабилизатор на електрическа енергия от понижаващ тип

Това напрежение обуславя протичането на ток през  $L_1$ . Когато  $T_1$  се запуши,  $L_1$  се стреми да поддържа неизменен тока през себе си и по този начин поддържа и тока през товара. Диодът  $D_1$  създава непрекъсната верига в този отрязък от време. Кондензаторът  $C_o$  изглажда изходното напрежение  $U_o$ .

Средното напрежение в точка А може да се определи по

$$U_{(A)} = \frac{(U_i - U_{CEsat}) \cdot t_{on}}{T} + \frac{(-U_{D1}) \cdot t_{off}}{T} = U_i \cdot \delta - U_{CEsat} \cdot \delta - U_{D1} \cdot (1 - \delta) \approx U_i \cdot \delta, \quad (2)$$

където  $\delta$  е коефициент на запълване

$U_{D1}$  – падът на напрежение върху диода в права посока

$t_{off}$  – времето на изключване, когато транзистора е запущен

$T$  – периодът на превключване

Вижда се, че  $L_1$  и  $C_o$  не оказват влияние върху  $U_o$ , т.е.:

$$U_o = U_A = U_i. \quad (3)$$

Следователно постоянната съставка на  $U_o$  може да се регулира и стабилизира чрез промяна коефициента на запълване  $\delta$ .

### МЕТОД НА ИЗСЛЕДВАНЕ

Индуктивността на  $L_1$  е избрана така, че да се осигури непрекъснат ток през бобината по време на цикъла  $T$ . Големината на  $L_1$  и  $C_o$  определят формата на тока през  $L_1$  ( $I_L$ ). Тя е триъгълна и е равна на тока през товара показан на времедиagramата (фиг. 2).

Падът на напрежение върху бобината се определя по

$$U_L = L \cdot \frac{dI_L}{dt}, \quad (4)$$

където  $U_L$  е падът на напрежение върху бобината;

$L$  – индуктивността на бобината;

$dI_L$  – изменението на тока през бобината;

$dt$  – изменението на времето.

За периода на пропускане на  $T_1$  може да се запише

$$U_L = U_i - U_o = L \cdot \frac{\Delta I_L}{t_{on}}, \quad (5)$$

където  $\Delta I_L$  е изменението на тока при комутация на  $T_1$ ;

$t_{on}$  – времето на включване,

т.е. изменението на тока през  $t_{on}$  се определя от

$$\Delta I_L = \frac{1}{L} \cdot (U_I - U_o) \cdot t_{on} \quad (6)$$

Когато  $T_1$  е запушен

$$U_L = -U_{D1} - U_o = -U_o \quad (7)$$

Изменението на  $I_L$  по време на този период е

$$\Delta I_L = \frac{1}{L} \cdot (-U_o \cdot t_{off}), \quad (8)$$

където  $t_{off}$  е времето на изключване.

Препоръчва се за по-добро изглаждане на  $U_o$  да се въведе коефициент на запаса, така че  $\Delta I_L \leq 0,4 \cdot I_o$  [5]. Изразът (8) може да се реши по отношение стойността на бобината т.е.:

$$L_1 \geq \frac{(U_o / I_o) \cdot T \cdot (1 - \delta)}{0,4} = R_L \cdot T \cdot (1 - \delta) \cdot 2,5. \quad (9)$$

За определяне нивата на пулсации  $u_{0(-)}$  и коефициента на пулсации  $K_{пулс}$  се използват следните зависимости:

$$u_{0(-)} = \frac{4}{\pi} \cdot U_o \cdot \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot f_s^2 \cdot L_1 \cdot C_o} = U_o \cdot \frac{1}{30 \cdot f_s^2 \cdot L_1 \cdot C_o}, \quad (10)$$

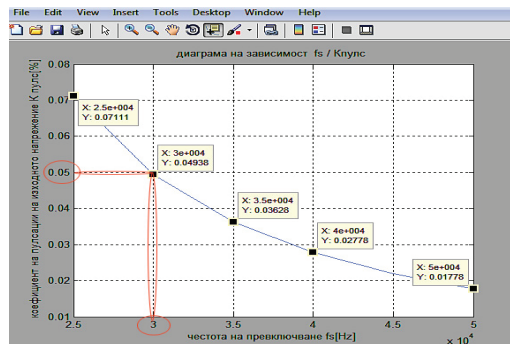
$$K_{пулс} = \frac{u_{0(-)pp}}{U_o} \approx \frac{1}{15 \cdot f_s^2 \cdot L_1 \cdot C_o}. \quad (11)$$

където  $f_s$  е честотата на превключване;

$u_{0(-)pp}$  – амплитудата от връх до връх от нивото на пулсации.

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ

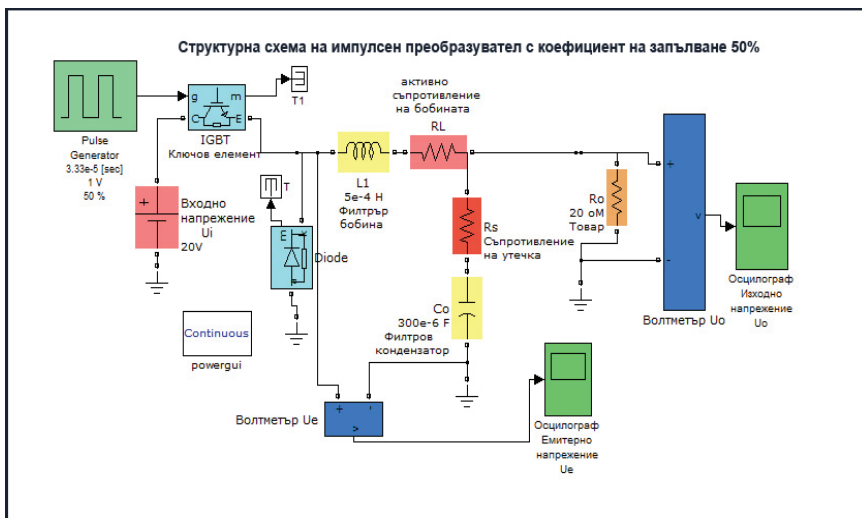
За изчисляване на  $K_{пулс}$  при различни честоти на превключване  $f_s$  в диапазона от 25kHz до 50kHz през 5kHz е извършено в средата на Matlab Simulink (фиг. 2).



Фиг.2. Честотна зависимост на  $K_{пулс}$

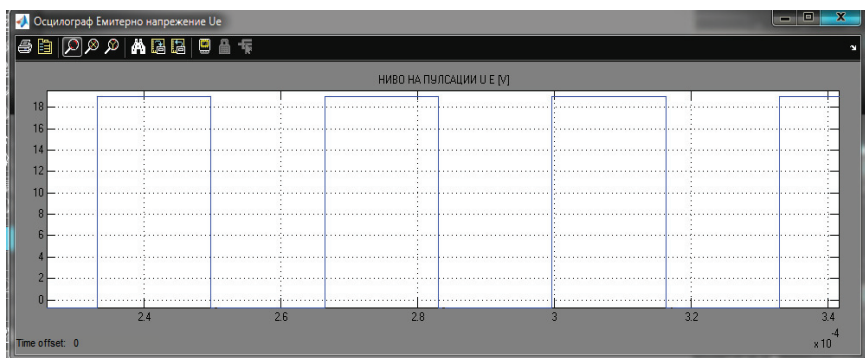
Анализът на получената зависимост показва, че с увеличаване на  $f_s$  се намалява коефициентът на пулсации.

За изследване на импулсия стабилизирания изправител е създаден модел, показан на фиг. 3.



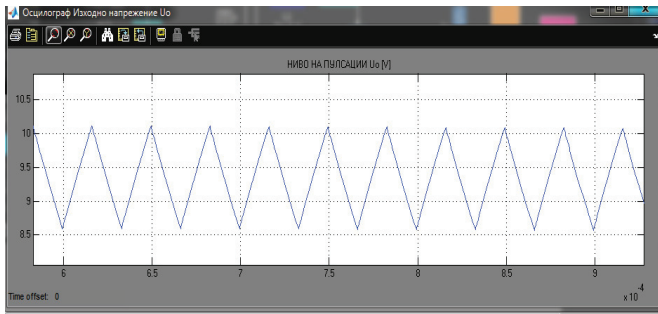
Фиг.3. Модел на импулсен стабилизан изправител

Блок-импулсен генератор изработва правоъгълно напрежение с коефициент  $\delta=50\%$  и период на превключване  $T=3,33 \cdot 10^{-5} \text{sec}$  (фиг. 4). Ключовите силови елементи са IGBT-транзистор и диод. Входното напрежение е постояннотоково с ниво  $U_i = 20\text{V}$ . С помощта на  $R_L$  и  $R_s$  се симулират загубите на енергия в индуктивността и кондензатора. Електрическият товар е чисто активен  $R_o=20\Omega$  като режима на натоварване се определя от  $U_o$ ,  $I_o$  и  $f_s$ .



Фиг.4. Времениаграма в емитера на силовия елемент

С помощта на осцилограф са измерени нивата на напрежението на емитера на транзистора и на изхода на стабилизатора. От тях е определено нивото на пулсации (фиг. 5).



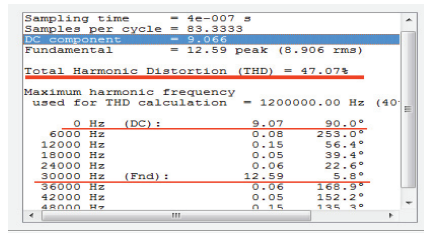
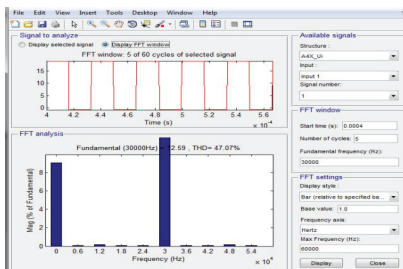
Фиг.5. Нива на пулсации на изхода на импулсия стабилизатор на напрежение

Нивата на пулсации и коефициентът на пулсации се определят съответно:

$$u_0(\sim) = 10.2 - 8.6 = 1.6 / 2 = 0.8V, K_{\text{пулс}} = 0.8 / 10 = 0.08\% \quad (12)$$

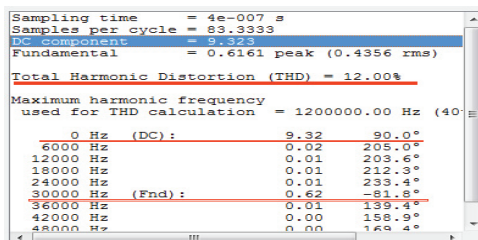
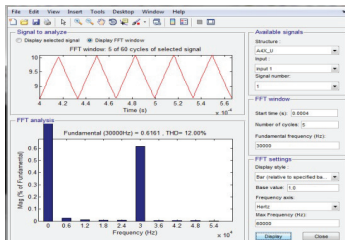
Анализът показва, че  $K_{\text{пулс}}$  е по-висок от изчисления с 0,03%. Това се дължи на включването в схемата на  $R_L$  и  $R_S$ , които повишават нивото на пулсации на изхода на преобразувателя.

На фиг. 6 са показани резултати от спектралния анализ на АЧХ в емитера на транзистора. Основният хармоник и постоянното напрежение DC са подчертани с червена линия.  $THD_U = 47.07\%$  се генерира от ключовият режим на работа на нелинейния полупроводников елемент.



Фиг.6. Към спектрален анализ на АЧХ в емитера на транзистора

Амплитудно-честотната характеристика на входа на LC-филтъра съдържа висока амплитуда на хармоник с честотата на превключване, отколкото на постоянното напрежение. Затова е необходимо напрежението да се филтрира чрез потискане на основния хармоник (фиг. 7). С режекторния LC-филтър се ограничават амплитудата на първия хармоник, осигурява се постоянно ниво на напрежението на изхода и се намалява  $THD_U$ .



Фиг.7. Спектрален анализ на АЧХ измерен върху товара

Анализът показва, че включването на LC филтър в силовия контур на електрическата верига, ефективно потиска нивото на пулсации, предизвикани от честотата на превключване и нелинейният характер на полупроводниковия елемент.

### ИЗВОДИ

Установено е, че основен недостатък на импулсните преобразуватели на енергия е генерирането на хармоничните съставлящи напрежението. Синтезирана е структурна схема на импулсен преобразувател, която е реализирана в среда на Matlab – Simulink. Доказано е, че с увеличаване честотата на превключване се намалява коефициентът на пулсации. Резултатите от извършените симулационни изследвания показват, че нивата на пулсациите на изхода на преобразувателите се дължат на ключовия режим на работа на силовите елементи. Те могат да бъдат ограничени чрез включването на LC филтри. Съпротивлението на утечка  $R_s$  е определящо за коефициента на пулсации.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Игнатов М., Ат. Маноилов, В. Лясков. Токозахранващи устройства, Техника, С., 2003. 258 стр.
- [2] Йорданов, Й. Приложение на MATLAB в инженерните изследвания Част 1, Русе, 2004. <http://ecet.ecs.uni-ruse.bg>.
- [3] Колев, Й. Токозахранващи устройства, Офсетно-печатна база при ВМЕИ Варна, 1994.
- [4] Краус, Х., Ч. Бостиан, Фр. Рааб, Полупроводникова радиотехника, ДИ „Техника“, С., 1985.
- [5] Соколов, С. Приложения на аналогови интегрални схеми, ДИ Техника, С., 1990, 488 стр.
- [6] Стефанов, Н., Т. Атанасов, Ат. Маноилов, Наръчник по токозахранващи устройства, Техника, С., 1991.
- [7] Табаков, Ст., Н. Николов, П. Горанов. Тиристорни преобразуватели, Държавно издателство „техника“, София, 1984.
- [8] Худяков, Вл. Силовая Электроника, №4”2005, №1”2006, [www.finestreet.ru](http://www.finestreet.ru)
- [9] Юдов, Д., Вълчев В. Токозахранващи устройства, ”Ситроник” ООД, Варна, 2005, ISBN 978-954-9370-57-7.

### За контакти:

Васил Иванов, ас. инж. - катедра "Електроника, електротехника и машинознание" към Университет „Проф. д-р Асен Златаров“ – Бургас, *e-mail: vasil\_bi@abv.bg*.

Ивайло Стоянов, доц. д-р инж. - катедра „Електроснабдяване и електрообзавеждане“ към Русенски университет „Ангел Кънчев“, *e-mail: stoyanov@uni-ruse.bg*.

**Докладът е рецензиран.**