

ЦИФРОВИ МЕТОДИ ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ЗАХРАНВАЩИ ИЗТОЧНИЦИ ЗА МОЩНИ ЛАЗЕРНИ ДИОДИ И СВЕТОДИОДИ

Димитър ТОДОРОВ*, Аспарух ГРИГОРОВ*

* Технически университет – София, София 1797, България, бул. “Кл. Охридски”
No. 8, Бл. 1 E-mail: dgt@tu-sofia.bg; paro82@abv.bg

Abstract. In this paper several control methods of driving schemes for high power laser diodes and LEDs are described. The possible digital implementations are illustrated. The driving schemes discussed are current or power sources. The discussed current source scheme is based on dc-dc bulk converter. It is shown that direct digital control is not suitable for this scheme. The power source scheme has quadratic control law, which is linearized with proper substitutions. Then standard digital control method is implemented.

Keywords: Digital control, Laser diode driving, LED driving, SMPS, SMU.

УВОД

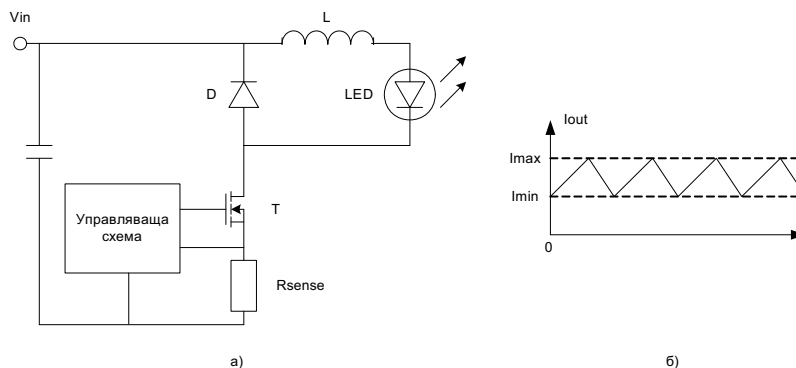
Захранващите източници за мощни лазерни диоди и светодиоди се оценяват по тяхната ефективност, цена, ЕМІ, преконфигурируемост и др. Съществува голямо разнообразие от схемни решения за захранване на мощни лазерни и светодиоди, описани в множество литературни източници [1][2][3][4].

Те се основават на съществуващи схемни решения за източници на напрежение, преработени в такива за ток/мощност. Поради високата ефективност се използват главно ключови източници. Управлението на такива ключови източници на ток/мощност е описано в сравнително малко литературни източници. Най-често описваните методи за управление се основават на аналогова обработка. В настоящата статия са анализирани и сравнени цифрови методи за управление на захранващи източници за мощни лазерни диоди и светодиоди.

МЕТОДИ ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА КЛЮЧОВИ ИЗТОЧНИЦИ НА ТОК

Известни са множество схеми на генератори ток, реализирани на базата на известните решения - forward, flyback, на Cuk, Sepic и др., посредством въвеждане на допълнителна обратна връзка, регулираща изходното им напрежение с цел поддържане на зададения ток. Всички тези схемни решения

по своята същност са източници на напрежение. Точна зависимост на изходния ток от управляващият коефициент на запълване и схемните параметри не може да бъде дефиниран. Като пример е разгледан Forward dc-dc като източник на ток.



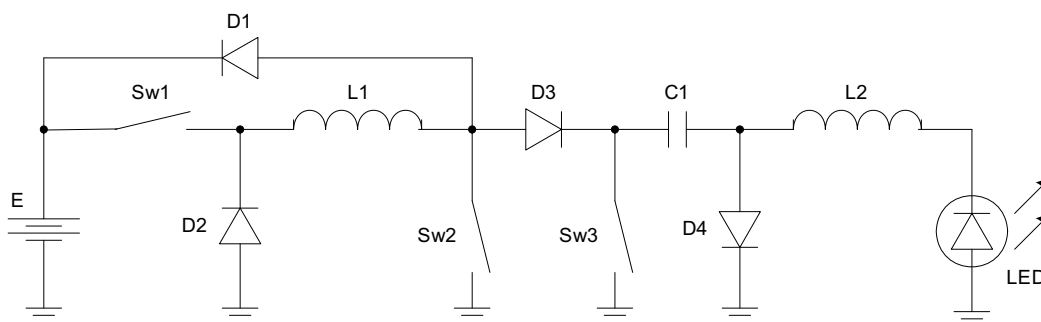
Фигура 1. а) Схема на прав преобразувател, източник на ток. б) Принцип на работа.

Широко разпространеният метод за регулиране на такива схеми се състои в следене на изходния ток I_{out} и детектиране на моментите на достигане на предварително зададени минимална (I_{MIN}) и максимална (I_{MAX}) стойности. В тези моменти става превключването на ключовия елемент. По своята същност описания метод е аналогов.

Използването на цифрови устройства (например микроконтролери) в управляващата схема се ограничава до следните функции: поддържане на комуникация с външна система по която се получава задание за изходния ток и се предава информация за неговата моментна стойност, определяне на праговете на превключване (I_{MAX} и I_{MIN}) в зависимост от полученото задание.

ЦИФРОВИ МЕТОДИ ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА КЛЮЧОВИ ИЗТОЯНИЦИ НА МОЩНОСТ

Ще бъдат разгледани възможностите за управление на схемата на фиг.2, анализирана в [4].



Фигура 2. Схема на ключов източник на мощност.

От анализа на схемата [4] е изведена следната формула за изходния ток:

$$(1) \quad I_{out} = \frac{2 \cdot C \cdot E^2}{U_{out} \cdot T} \cdot \frac{d^2}{(1-d^2)}$$

където:

$P_{OUT}=I_{OUT} \cdot U_{OUT}$ е изходната мощност; I_{OUT} – изходния ток; U_{OUT} – изходното напрежение; C е стойността на кондензатора $C1$; E е стойността на входното захранващо напрежение; T е периода на регулиране; d е коефициента на запълване на управляващите импулси, като $0 < d < 1$.

От формула (1) се вижда, че в този вид закона за управление е нелинеен – квадратичен и не е удобен за синтез на алгоритми за управление. Поради това се правят следните замествания:

$$(2) \quad K_{control} = \frac{d^2}{(1-d)^2}$$

$$K_{param} = \frac{2 \cdot C \cdot E^2}{U_{out} \cdot T}$$

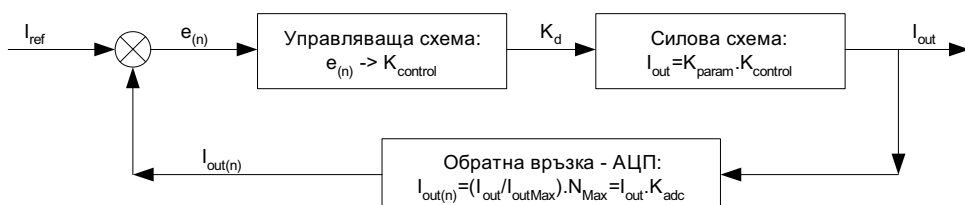
където:

$K_{control}$ е коефициент на регулиране и се задава от управляващата схема, а K_{param} е коефициент на схемните параметри, независими от управляващата схема, чрез които постъпват смущаващи въздействия.

Тогава за изходната мощност на разглежданата схема може да се запише следния линеаризиран закон:

$$(3) \quad P_{out} = K_d \cdot K_{param}$$

Блокова схема на цялата система, включваща разглежданата силова верига, управляващата схема, веригата за обратна връзка и задаващия източник и показана на следната фиг.2.



Фигура 3. Блокова схема на система за захранване на лазерни и светодиоди.

На фиг.3 са използвани следните означения:

$I_{OUT(n)} = (I_{OUT}/I_{outMax}) \cdot 2^N = I_{OUT} \cdot K_{ADC}$ – Дискретна стойност на изходния ток, получена след аналогово цифрово преобразуване;

N – разреденост на АЦП;

I_{outMax} – максимална стойност на скалата на АЦП;

$K_{ADC} = 2^N / I_{outMax}$ – коефициент на преобразуване на АЦП;

I_{REF} – Число, съответстващо на желаната стойност на изходния ток;

$e_{(n)} = I_{REF} - I_{OUT(n)}$ – Сигнал на грешката;

За предавателната функция $W(s)$ на цялата система, изразена чрез лапласово преобразуване се получава:

$$(4) \quad W(s) = \frac{I_{out}}{I_{ref}} = K_{ref} \equiv \frac{F(s) \cdot K_{param}}{1 + F(s) \cdot K_{param} \cdot K_{ADC}}$$

където:

K_{REF} е коефициент на пропорционалност между заданието и изходния ток;

$F(s)$ е предавателната функция на управляващата схема.

Ще бъде разгледан пропорционално-интегрално-диференциален (ПИД) закон на управление:

$$(5) \quad F(t) = K_{controlSteady} + K_{PROP} \cdot \left\{ e(t) + K_I \cdot \int_0^t e(t) dt + K_D \cdot \frac{de(t)}{dt} \right\}$$

където K_{PROP} , K_I и K_D са тегловни коефициенти, а $K_{controlSteady}$ е изхода на управляващата схема при липса на външни въздействия (шумове).

Особености при цифрова реализация

Зависимостта на изходната мощност беше линеаризирана чрез подходящо заместване:

$$(6) \quad K_{control} = \frac{d^2}{(1-d)^2}$$

Като изход от цифровата обработка на сигнала на грешката по разглеждания ПИД закон се получава числото $K_{control}$. То трябва да се трансформира в коефициент на запълване съгласно формулата:

$$(7) \quad d = \frac{\sqrt{K_{control}}}{1 + \sqrt{K_{control}}}$$

За тази цел е необходимо намиране на корен квадратен, сумиране с единица и делене. При наличие на достатъчна изчислителна мощ, всички тези операции могат да бъдат извършени по стандартни алгоритми.

С цел намаляване на необходимата изчислителна мощност, съответно цена, може да се използва таблица с константи. Като указател към нея се ползва изчисленото число $K_{control}$, а неин изход е коефициента на запълване d . При този метод се изисква значително повече памет.

При цифрова реализация също така е полезно коефициентите на пропорционалност по ПИД закона да бъдат числа равни на цяла степен на две. В този случай коефициента K_{REF} трябва да се избере подходящо.

За намирането на грешката $e(t)$, нейния интеграл и производна могат да се използват стандартни цифрови методи, описани със следните уравнения:

$$e(t_i) = I_{ref} - I_{out}(t_i)$$

$$\int_0^{t_i} e(t).dt = \sum_{k=1}^i e(t_k).\Delta t = \int_0^{t_{i-1}} e(t).dt + e(t_i)$$

$$\frac{de(t_i)}{dt} = \frac{e(t_i) - e(t_{i-1})}{\Delta t}$$

където Δt е периода на отчитане.

Симуляционни резултати

За верификация на направените разглеждания се извършени симулации с компютърната програма OrCad PsPice.

Използвани схемни елементи и параметри със следните стойности:

$E=48V$; $L_1=100\mu H$; $C_1=39nF$; $L_2=100\mu H$, $T=10\mu s$, $K_{REF}=1$, $K_{ADC}=1$, $N=12$.

Задава се желан изходен ток $I_{OUT}=1A$. Приема се че при него напрежението върху лазерния или светодиода е $0.4V$.

Коефициента на запълване d в установен режим при липса на смущаващи въздействия е намерен чрез симулация – $0.22\mu s$. Той се различава от изчисления по (1), тъй като зависимостта (1) е изведена при предположение за идеални диоди.

Тегловните коефициенти на ПИД закона за регулиране са намерени по метода на Ziegler–Nichols [5] и са показани в табл.1.

	П закон	ПИ закон	ПИД закон
K_{PROP}	0.11	-	-
K_I	0.088	0.0036	-
K_D	0.132	0.0087	0.5033

Таблица 1. Тегловни коефициенти на П, ПИ и ПИД управляващи закони за разглежданата схема.

Симулирано е като смущаващо въздействие промяна на входното напрежение с $+50\%$.

Като качествени показатели за закона за регулиране са използвани: грешка в установен режим, продължителност на преходния процес, максимално отклонение при пререгулиране.

Показател за качеството на регулиране	П закон	ПИ закон	ПИД закон
Грешка в установен режим	0.45А	0	0
Продължителност на преходния процес	317 μ s	804 μ s	257 μ s
Максимално отклонение при пререгулиране	0.65А	0.79А	0.54А

Таблица 2. Симулационни резултати при ПИД управление на източник на мощност.

При чисто пропорционален закон е налице грешка в установен режим. Тя изчезва с добавяне на интегрална част, но се удължава преходния процес. С добавяне на диференциална част се получават най-високите качествени показатели, но трябва да взимат мерки за повишаване на шумоустойчивостта.

Както се вижда са наблюдавани известните зависимости при приложение на ПИД закон за регулиране. Това може да се приеме като верификация на възможността за цифрова имплементация на ПИД закон за регулиране на разглежданата схема чрез използваната субституция.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящата статия бяха разгледани възможни цифрови методи за управление на ключови захранвания за лазерни диоди и светодиоди. От разглежданията при схема генератор на ток се видя, че не е подходящо да се прилагат цифрови методи по отношение на директния контрол на коефициента на запълване, а само по отношение на комуникация и преконфигурируемост. В разглеждането на схема генератор на мощност беше предложено линеаризиране на квадратичния закон за управление. Това позволи да се приложат стандартни цифрови методи за управление. Така се подобряват качествените показатели на управляващите системи с цената на добавяне на нови елементи, най-вече цифрово управляващо устройство – микроконтролер.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Widnar S. *Power supplies for LED drivers*. Oxford, UK, 2008.
- [2] LEDdriving,2007,
http://www.melexis.com/Asset/Fact_page_LED_Power_supply_LED_drivers_DownloadLink_5297.aspx
- [3] Marques L, E. Mineiro, F. Antunes, A. Perin. *Step down current controlled DC-DC converter to drive a high power LED matrix employed in an automotive headlight*. Mill Valley. CA, University Science, 1989.
- [4] Todorov D., A. Grigorov. *High power laser diode driving techniques*. Proceedings of conference Electronics ET'2006.
- [5] Astrom K.J. *Control system design*. 2002.