

ПОГРЕШНОСТЬ РАСЧЁТА МОЩНОСТИ СТАТИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ В БЫСТРО ВОССТАНАВЛИВАЮЩЕМСЯ ДИОДЕ В СОСТАВЕ ДРАЙВЕРА СВЕТОДИОДОВ

Падеров В.П., Симкин А.В.

ГОУВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева», г. Саранск
тел.(8342)290625, E-mail: paderov@mail.ru

Аннотация. Выведено уточненное расчётное соотношение для определения мощности статических потерь в быстро восстанавливаемом диоде с учётом коэффициента пульсаций тока.

Ключевые слова: диод, статические потери, формула.

Для питания светодиодных светильников от сети переменного тока наиболее простыми и дешевыми являются понижающие драйверы, управляемые пиковым током и работающие на постоянной частоте [1]. Функциональная схема такого драйвера показана на рис. 1, а осциллограмма тока, протекающего через быстро восстанавливающийся диод (БВД), на рис. 2.

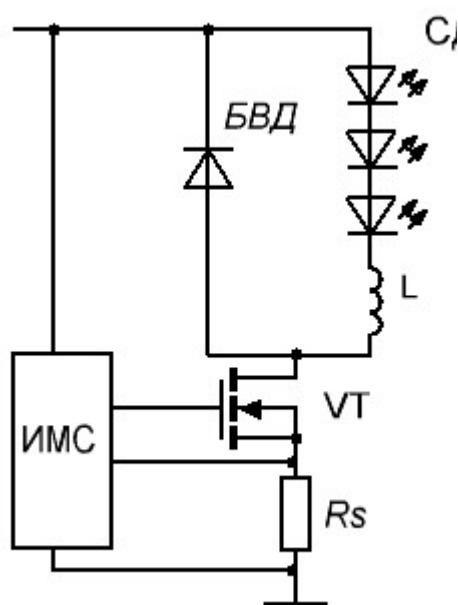


Рисунок 1 – Функциональная схема понижающего драйвера

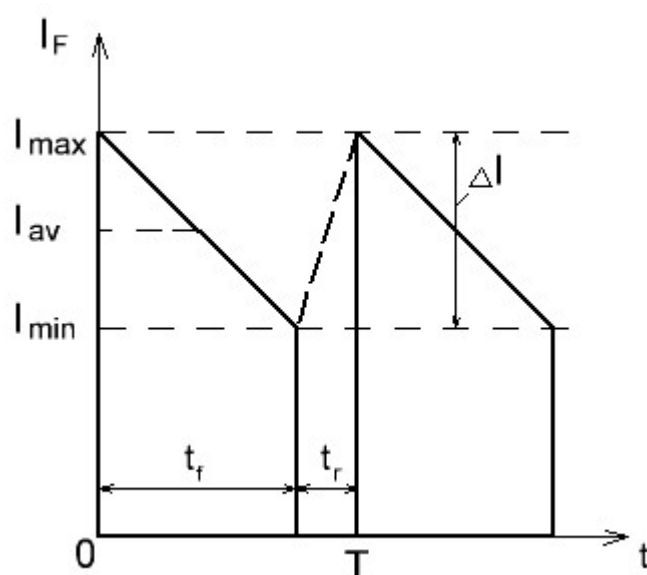


Рисунок 2 – Осциллограмма тока, протекающего через БВД

Как видно из рис. 2, форма тока, протекающего через БВД в течение одного периода переключения МОП ПТ, близка к трапецевидной и её можно описать в течение времени протекания тока линейно спадающей функцией

$$I_F(t) = I_{\max} \left(1 - \frac{\Delta I}{I_{\max}} \frac{t}{t_f} \right), \quad (1)$$

где I_{\max} - максимальный стационарный прямой ток через БВД;

t_f - время протекания прямого тока через БВД, равное времени спада тока через линейку СД;

$$\Delta I = I_{\max} - I_{\min} \quad (2)$$

- пульсации тока через линейку СД и БВД.

Учитывая, что средний ток через линейку СД связан с максимальным и минимальным токами соотношением

$$I_{av} = \frac{I_{\max} + I_{\min}}{2}, \quad (3)$$

а коэффициент пульсаций тока задаётся как

$$\alpha = \frac{\Delta I}{I_{av}}, \quad (4)$$

с использованием параметров, задаваемых уравнениями (3) и (4), уравнение (1) можно переписать

$$I_F(t) = I_{av} \left(1 + \frac{\alpha}{2} \right) \left(1 - \frac{2\alpha}{2 + \alpha} \frac{t}{t_f} \right). \quad (5)$$

Мощность статических потерь на БВД рассчитывается по известному соотношению

$$P_{stat} = \frac{1}{T} \int_0^{t_f} I(t) V_F(t) dt, \quad (6)$$

где T - период переключений МОП ПТ,

$V_F(t)$ - прямое падение напряжения на диоде.

Обычно при расчёте мощности статических потерь на диоде прямое падение напряжения полагается либо постоянной величиной, либо функцией, линейно изменяющейся с током. Такие приближения дают малые погрешности, если коэффициент пульсаций α величина маленькая. Целью данной статьи является расчёт статических потерь на БВД при широком диапазоне изменений коэффициента пульсаций, вплоть до режима прерывания проводимости через линейку СД, когда $I_{\min} = 0$, а $\alpha = 2$. В широком диапазоне изменений тока через БВД прямое падение напряжения гораздо точнее аппроксимируется логарифмической функцией от тока

$$V_F = nV_T \ln(I/I_S + 1) \quad (7)$$

где n - коэффициент неидеальности ВАХ диода,

I_S - ток насыщения,

$V_T = kT/q$ - тепловой потенциал.

Если в уравнение (6) подставить линейную функцию тока (5) и $V_{Fav} = const$ - падение напряжения при среднем токе, получим следующую известную формулу для расчёта мощности статических потерь

$$P_{stat} = V_{Fav} I_{av} (1 - D), \quad (8)$$

где

$$D = \frac{T - t_f}{T} = \frac{t_r}{T} \quad (9)$$

- коэффициент заполнения импульсов тока, протекающих через МОП ПТ,
 t_r - время включенного состояния МОП ПТ (время нарастания тока).

К радости авторов аналитически решаемые интегралы получаются при подстановке в (6) уравнений (5) и (7):

$$P_{stat} = \frac{nV_T AI_S}{T} \left[\int_0^{t_f} \ln \left[A \left(1 - \frac{\beta}{t_f} t \right) + 1 \right] dt - \frac{\beta}{t_f} \int_0^{t_f} t \ln \left[A \left(1 - \frac{\beta}{t_f} t \right) + 1 \right] dt \right] \quad (10)$$

где введены промежуточные параметры

$$A = \frac{I_{av}(2 + \alpha)}{2I_S} \quad (11)$$

$$\beta = \frac{2\alpha}{2 + \alpha} \quad (12)$$

Используя метод интегрирования по частям и через вспомогательную переменную, для первого интеграла в выражение (10) получаем

$$\int_0^{t_f} \ln \left[A \left(1 - \frac{\beta}{t_f} t \right) + 1 \right] dt = t_f \left\{ \ln [A(1 - \beta) + 1] + \frac{1}{\beta} \left(1 + \frac{1}{A} \right) \ln \frac{A + 1}{A(1 - \beta) + 1} - 1 \right\} \quad (13)$$

и для второго интеграла в выражении (10) получаем

$$\int_0^{t_f} t \ln \left[A \left(1 - \frac{\beta}{t_f} t \right) + 1 \right] dt = \frac{t_f^2}{2} \left\{ \ln [A(1 - \beta) + 1] - \left(\frac{A + 1}{\beta A} \right)^2 \ln \frac{A(1 - \beta) + 1}{A + 1} - \frac{A + 1}{\beta A} - \frac{1}{2} \right\} \quad (14)$$

Подстановка выражений (13) и (14) в (10) даёт следующее выражение для расчёта мощности статических потерь в БВД

$$P_{stat} = nV_T AI_S \frac{t_f}{T} \left\{ \left(1 - \frac{\beta}{2} \right) \ln [A(1 - \beta) + 1] + \left(\frac{1 + 1/A}{\beta} - \frac{1}{2\beta} \right) \ln \frac{A + 1}{A(1 - \beta) + 1} + \frac{A + 1}{2A} + \frac{\beta}{4} - 1 \right\} \quad (15)$$

Выражение (15) можно существенно упростить при $\beta < 1$, то есть $\alpha < 2$ (режим непрерывной проводимости СД) и учитывая выражения (7), (9), (11), (12) и что $A \gg 1$ (обычно $A > 10^{12}$):

$$P_{stat} = V_{Fav} I_{av} (1 - D) \left\{ 1 + \frac{nV_T}{V_{Fav}} \left[\frac{(2 - \alpha)^2}{8\alpha} \ln \frac{2 + \alpha}{2 - \alpha} + \ln \frac{2 + \alpha}{2} - \frac{1}{2} \right] \right\} \quad (16)$$

где V_{Fav} - прямое падение напряжения на БВД при протекании среднего тока I_{av} .

Из выражения (16) следует, что это расчётное соотношение включает по сравнению с известным соотношением (8) добавочный множитель, зависящий от коэффициента пульсаций тока α . Величина погрешности известного соотношения (8), рассчитанная из сравнения с более точным соотношением (16), при комнатной температуре и параметрах $n = 2$, $V_{Fav} = 1 \text{ В}$, в зависимости от величины коэффициента пульсаций α , показана на рис. 3.

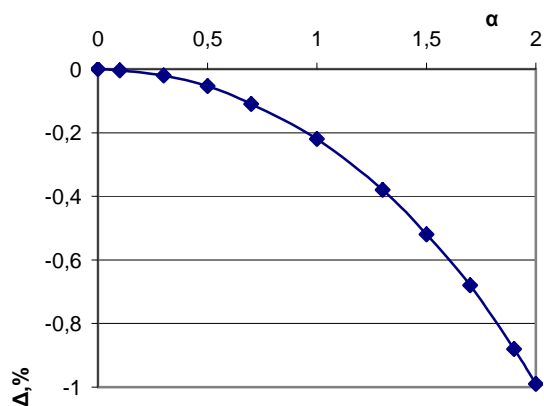


Рисунок 3 – Зависимость погрешности соотношения (16) от величины коэффициента пульсаций α

Как следует из рис. 3, расчёт по приближённому соотношению (8) даёт заниженную величину мощности статических потерь, но не более 1% даже при коэффициенте пульсации близко к 2, то есть практически во всём режиме непрерывной проводимости линейки СД. Таким образом, расчёт мощности статических потерь в БВД можно с очень малой погрешностью проводить по соотношению (8), используя величину прямого падения напряжения на диоде V_{Fav} при протекании среднего тока - I_{av} .

1. Universal Voltage Off-Line High Brightness Driver Demo Board // www.supertex.com