

ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЛАМПАХ НАКАЛИВАНИЯ

Известно [1,2], что свыше 80% ламп накаливания теряют работоспособность в момент включения или выключения. Анализ переходных процессов позволяет наметить и осуществить ряд мер по улучшению конструкции тела накала и самой лампы, а также технологию изготовления и режимов работы в момент включения (выключения), что может увеличить срок службы.

Тело накала в лампах накаливания представляет собой биспираль, изготовленную из вольфрамовой проволоки. С точки зрения элемента электрической цепи, оно представляет преимущественно активное, нелинейное, инерционное сопротивление. При включении (выключении) лампы в цепь переменного тока параллельно идут два вида переходных процесса. Один обусловлен индуктивностью тела накала, второй – изменением сопротивления при нагреве тела накала.

При наличии индуктивности в спирали, схему ее замещения можно представить в виде рисунка 1.

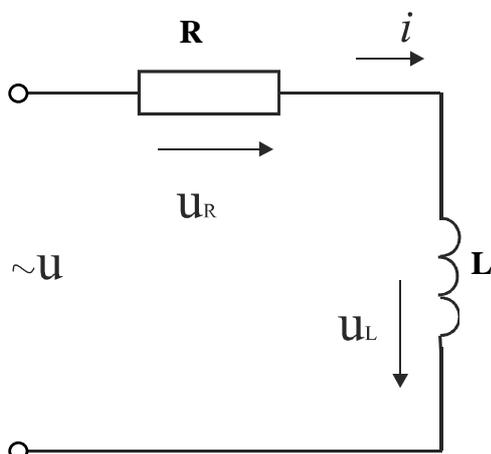


Рисунок 1 – Схема замещения тела накала.

Если принять, что напряжение источника изменяется по известному закону $u = U_m \cdot \sin(\omega t + \psi_u)$, то уравнение цепи будет

$$u = iR + L \frac{di}{dt}$$

Ток i_n в переходном процессе: $i_n = i_{уст} + i_{св}$, где

$i_{уст}$ – установившийся ток цепи при $t \rightarrow \infty$,

$$i_n \rightarrow i_{уст} = I \cdot \sin(\omega t + \psi_u - \varphi),$$

$$I_m = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + (L \cdot \omega)^2}}, \quad \varphi = \arctg \frac{L \cdot \omega}{R}$$

Свободный ток $i_{св}$ определяется из решения однородного дифференциального уравнения

$$\frac{di_{св}}{dt} + \frac{R}{L} i_{св} = 0, \tag{1}$$

которое представим в виде $i_{св} = A \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$,

где $\tau = \frac{L}{R}$ – постоянная времени цепи;

A – постоянная интегрирования.

$$i_n = I_m \cdot \sin(\omega t + \psi_u - \varphi) + A e^{-\frac{t}{\tau}}$$

По первому закону коммутации [3],

$$A = -I_m \cdot \sin(\psi_u - \varphi),$$

$$i_n = I_m \cdot \sin(\omega t + \psi_u - \varphi) - I_m \cdot \sin(\psi_u - \varphi) e^{-\frac{t}{\tau}} \tag{2}$$

При отключении лампы переходные процессы будут описываться уравнением (для свободного переходного процесса) по типу (1):

$$i_n = I_m \cdot \sin(\psi_u - \varphi) e^{-\frac{t}{\tau}} \tag{3}$$

Из уравнений (2) и (3) следует, что наиболее напряженным будет переходный процесс включения, при

$$\psi_i = \psi_u - \varphi = -\frac{2n+1}{2} \pi \quad (n = 1, 2, \dots)$$

При $\psi_i = 0$ переходный процесс протекает без возмущений $i_n = i_{уст}$ (рисунок 2).

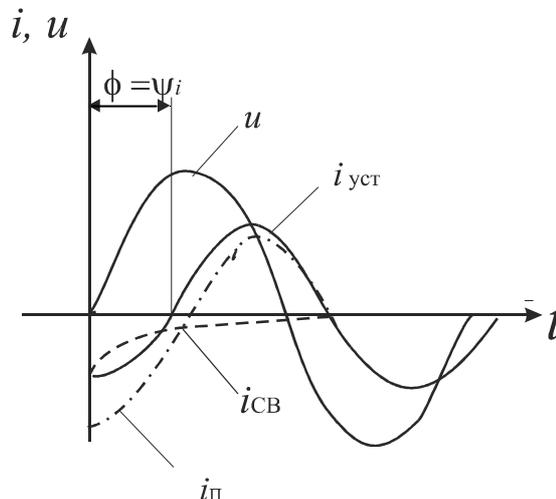


Рисунок 2 – Параметры переходного процесса.

Для количественной оценки переходного процесса были выбраны четыре типа ламп накаливания таблицы 1, и измерены на приборе Е4-7 индуктивность тела накала, рассчитаны постоянная времени τ , продолжительность переходного процесса $t_n = 4\tau$ и индуктивное сопротивление ωL .

Сравнение времени t_n с периодом переменного тока $f=50$ Гц ($T=0.02$ с) показывает, что энергетическое влияние пере-

Овсянников Герман Николаевич. Доцент каф. автоматизации технологических процессов и производств Брестского государственного технического университета.
Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская 267.

Таблица 1

Тип лампы нака- ливания	Индукти-вность тела накала L [мГн]	Посто-янная времени τ [μс]	Продол- житель-ность переход-ного процесса t_n [μс]	Индуктив-ное сопротивле-ние тела накала ωL [мΩ]	Вид тела накала
Б220х150	1,4	0,058	0,225	0,44	биспираль
Б220х100	4,6	0,120	0,466	1,44	биспираль
Б220х15	6,5	0,026	0,104	2,04	моноспираль
НК220х15	3,0	0,020	0,081	0,93	моноспираль

Таблица 2

Сопротивление тела накала	Тип лампы			
	Б220х150	Б220х100	Б220х15	НК220х15
R_x – холодного, Ом	25,1	39,5	249	146,4
$R_{H2100\text{ }^\circ\text{C}}$ – нагрето- го, Ом	354	544	3141	2679

ходного процесса на режим работы тела накала очень слабое:

$$\Delta P \approx i u t_n < 0,1 \text{ Вт}$$

Переходный процесс связанный с изменением сопротивления тела накала таблица 2 в процессе его нагрева характеризуется энергобалансом электрической сети и тела накала, который можно представить в виде:

$$dQ = \Delta P dt = c m d\Theta + k_{mu} S_u d\Theta + k_{mn} S_{np} \Theta dt + k_{mo} S_{охл} \Theta dt, \quad (4)$$

где dQ – приращения тепла, кал

ΔP – приращение мощности, Вт

c – удельная теплоемкость тела накала (кал-г / °С)

m – масса тела накала, г

Θ – приращение температуры, °С

k_{mu} – коэффициент теплоизлучения (кал-см² / °С)

S_u – поверхность излучения, м²

k_{mn} – коэффициент теплопередачи (кал / м °С)

S_{np} – площадь сечения элементов

k_{mo} – коэффициент конвективного теплообмена.

$S_{охл}$ – поверхность охлаждения.

Предварительный анализ показывает, что энергия излучения за период переходного процесса даже для установившегося значения температуры Θ_∞ не превышает светового КПД, $\eta \leq 4\%$. Поэтому этим можно пренебречь.

Энергию теплопроводности и конвективного теплообмена, которые нарастают можно приближенно представить как равные и тогда (4) будет

$$d\Theta = \Delta P dt = c \cdot m \cdot d\Theta + 2k_{mn} \cdot S_{np} \cdot \Theta \cdot dt. \quad (5)$$

Очевидно, что при установившемся процессе теплообмена

$$\Delta P dt = 2k_{mn} \cdot S_{np} \cdot \Theta_\infty \cdot dt, \text{ а } \Theta_\infty = \frac{\Delta P}{2k_{mn} \cdot S_{np}}.$$

Тогда уравнение (4) будет

$$2k_{mn} \cdot S_{np} \cdot (\Theta_\infty - \Theta) dt = c \cdot m \cdot d\Theta.$$

Решение получим в виде

$$\Theta = \Theta_\infty \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) + \Theta_0 \cdot e^{-\frac{t}{T}},$$

где Θ_0 – начальная температура окружающей среды.

Примем $\Theta_0 = 0$,

$$T = \frac{cm}{2k_{mn} \cdot S_{np}} - \text{постоянная времени.}$$

Расчеты показывают $T \approx 1$ сек.

Кроме того, если температура, а следовательно и рассеиваемая энергия, изменяются по экспоненте (рисунок 3), то очевидно,

$$i = I_0 \cdot e^{-\frac{t}{T}}, \text{ где } I_0 = \frac{u}{R_x}.$$

В установившемся режиме $i = I_{уст} = \frac{u}{R_H}$.

Таким образом скачок температуры тела накала вызывает скачок сопротивления и тока более чем в 10 раз.

Экспериментально установлено [4], что отклонения от расчетного тока I_0 дает значительное уменьшение срока службы T относительно расчетного T_0

$$\frac{T}{T_0} \approx \left(\frac{I}{I_0} \right)^{-2,3}.$$

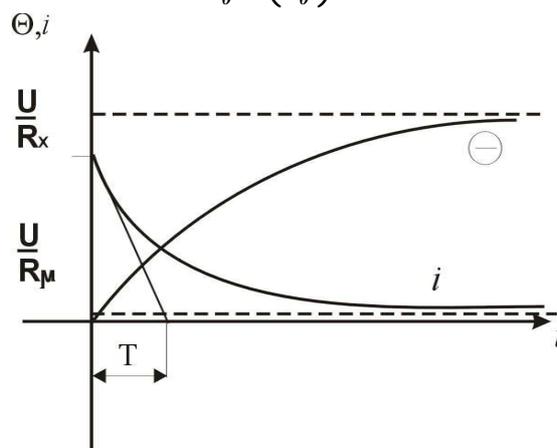


Рисунок 3 – Изменение температуры и тока тела накала.

Можно только предположить, что механизм разрушения тела накала не в полной мере проявляется за время переходного процесса, однако наличие его бесспорно и существенно.

Очевидно, в цепи постоянного тока этот эффект будет выражен более сильно.

ВЫВОДЫ

1. Переходный процесс в лампе накаливания из-за наличия малой индуктивности тела накала практически не влияет на режим ее работы.
2. Изменение температуры тела накала при переходном процессе существенно влияет на светотехнические характеристики лампы.

УДК 531.43/46 +539.388.1→539.43

Вавилов О.Т.

КОНЦЕПЦИЯ ОПАСНЫХ ОБЪЕМОВ В КОНТАКТНОЙ ЗАДАЧЕ

1. Модель ТОПО. Представление о том, что прочность деформируемого твердого тела с рабочим объемом V_0 определяется ограниченной областью конечных размеров, общепризнано [1, 2 и др.]. Затруднения состоят в обосновании критерия ограничения этой области и критерия установления критического уровня напряжений в ней. В работе [3] указанная область трактовалась как объем, в котором действующее напряжение превышает нижнюю границу прочности дефектного элемента структуры тела. Но при расчетах эта нижняя граница условно принималась равной нулю, и тогда искомый объем оказывался просто геометрическим объемом образца. В работе [4] сопротивление усталости связывается с «высоконапряженным» объемом образца – такой его областью, где напряжения превышают произвольно установленный 95%-ный порог от максимального напряжения в опасном сечении. Погрешность полученного решения оказалась высокой.

В работах [5, 6] дано обоснованное количественное решение задачи об определении ограниченной области конечных размеров с критическим уровнем нормальных напряжений в образце. Эта область называется опасным объемом. Как указано в работе [7], любое твердое тело представляет собой статистический ансамбль большого количества первичных элементов, каждый из которых в той или иной мере ответствен за прочность тела в целом. Чтобы определить «меру ответственности» каждого из элементарных объемов за прочность деформируемого тела в целом и вводится представление о его опасном объеме [6].

Если деформируемое твердое тело характеризуется таким напряженным состоянием при осуществлении реального комплекса условий испытаний, что, возможно, его усталостное разрушение, то оно состоит из двух областей: объемов с безопасным и опасным состоянием (рисунок 1).

Опасным называют объем V_{py} , в котором с некоторой вероятностью P возможно появление действующих нормальных напряжений σ , превышающих нижнюю границу σ_{-1min} рассеяния пределов выносливости σ_{-1} тела, и наличие предельных напряжений σ_{-1} , меньших, чем верхняя граница σ_{-1max} рассеяния напряжений σ от действующей нагрузки. Как следует из определения, величина P имеет смысл вероятности разрушения тела. Давая ей доверительную оценку с

Вавилов Олег Трофимович. Научный сотрудник лаборатории трибофатики научного центра проблем механики машин Национальной академии наук Беларуси (НЦ ПММ НАНБ).
Беларусь, г. Минск, пр. Ф. Скорины 12.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Вугман С.М. и др. О работоспособности ламп накаливания, эксплуатируемых в импульсном режиме. Электрические источники света. Тр. ВНИИС, Саранск, 1985 г., вып.17. – С. 17-23.
2. Киселева Н.П. и др. Срок службы ламп накаливания в режиме частых включений. Светотехника №8, 1989 г. – С.11-12.
3. Электротехника. Под ред. В.Г. Герасимова. Изд. В.шк., М., 1985 г. – С. 420.
4. Ламехов О.А. и др. Светотехника и светоизмерения. Изд. Машиностроение, М., 1980 г. – С.310.

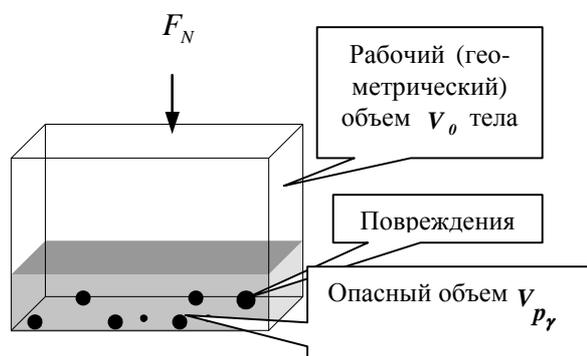


Рисунок 1 – Деформируемое твердое тело с опасным объемом.

вероятностью $\gamma_0 = 1 - \alpha_0$, где α_0 – нормированный уровень значимости, опасный объем можно вычислить с учетом γ_0 , т.е. определить V_{py} . Величине γ_0 придается смысл вероятности, с которой производится ограничение функции распределения $P(\sigma_{-1})$ для установления минимального значения σ_{-1min} случайной величины σ_{-1} , такого, что практически вероятность $P(\sigma_{-1} < \sigma_{-1min}) = 0$.

Следовательно, опасный объем деформируемого твердого тела должен зависеть от его геометрических размеров, определяющих его рабочий объем V_0 тела, параметров функций распределения $P(\sigma_{-1})$ и $P(\sigma)$ пределов выносливости σ_{-1} и действующих напряжений σ с учетом вероятностей P и γ_0 , градиента G_σ действующих напряжений, как по диаметру, так и по длине тела:

$$V_{py} = F_V [p(\sigma_{-1}), p(\sigma), G_\sigma, V_0 P, \gamma, \vartheta_V]. \quad (1.1)$$

Здесь ϑ_V описывает влияние на величину предела выносливости формы тела и схемы его нагружения при усталостных испытаниях.

Граница между объемами с опасным и безопасным состоянием, как следует из выражения (1.1), в общем случае раз-