

手回し発電機の EDLC を用いた LED 点灯回路の電圧と電流の解析

An Analysis Based on Voltage and Current for the LED Lighting Circuit
Using an EDLC of a Hand-Cranked Generator

九州共立大学 名誉教授

〇山口 静夫

Kyushu Kyoritsu University

〇Shizuo Yamaguchi

E-mail: yamaguchi-ripple@h4.dion.ne.jp

1. はじめに

前回, 手回し発電機で発電した電力を EDLC に蓄電し, これを LED などに放電させることにより手回しハンドルの回さなくとも 1 分間以上光らすことができる LED 点灯回路(EDLC 充放電回路)について報告した。

今回は過渡現象による手法を用いて, EDLC の充放電時の電流や電圧などの解析を行ったので報告する。

2. EDLC による LED 点灯回路の概要

Fig.1 に, 解析に用いる LED 点灯回路を示す。図の中で, G は DC モータによる手回し発電機, R_0 は DC モータの巻き線直流抵抗, r_c は電気二重層キャパシタ C (EDLC) の等価直流抵抗および R は放電時の電流制限や時定数を定める負荷抵抗としている。さらに E_S はショットキーバリアダイオード(SBD)の順方向電圧および E_D は LED の順方向電圧で, 小電流の動作時にはそれぞれ一定電圧の電圧源とみなしている。

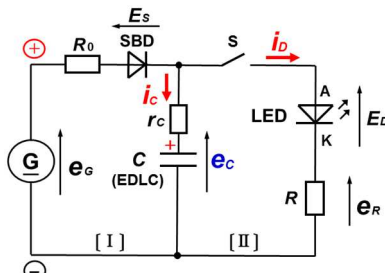


Fig.1 The LED lighting circuit as analysis using an EDLC

3. EDLC の充電時の i_c, e_c の算出

閉回路[I]において, 発電電圧 e_g により C は $R_0 \rightarrow$ SBD $\rightarrow r_c$ を通して電流 i_c で充電される。

回路方程式は

$$(R_0 + r_c)i_c + \frac{q}{C} + E_S = e_g$$

上式に $i_c = dq/dt$ を代入して

$$(R_0 + r_c)\frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} + E_S = e_g \quad (1)$$

$$c(R_0 + r_c)\frac{dq}{dt} = -\{q - c(e_g - E_S)\}$$

電荷 q と時間 t の変数分離形にして

$$\frac{1}{q - c(e_g - E_S)} dq = -\frac{1}{c(R_0 + r_c)} dt \quad (2)$$

上式の両辺をそれぞれ積分して電荷 q を求めると

$$q = c(e_g - E_S)\{1 - e^{-\frac{1}{c(R_0 + r_c)}t}\} \quad (3)$$

$i_c = dq/dt$ より上式から i_c を求めると

$$i_c = \left(\frac{e_g - E_S}{R_0 + r_c}\right) e^{-\frac{1}{c(R_0 + r_c)}t} \quad (4)$$

$e_c = q/c$ より式(3)から e_c を求めると

$$e_c = (e_g - E_S)\{1 - e^{-\frac{1}{c(R_0 + r_c)}t}\} \quad (5)$$

ここで $R_0 = 17.6 \Omega$, $r_c = 24.9 \Omega$, $E_S = 0.26V$ および $C = 0.22F$ を式(4), (5)に代入して i_c, e_c を求めると以下となる。

$$i_c = \left(\frac{e_g - 0.26}{42.5}\right) e^{-0.107t} \quad (4')$$

$$e_c = (e_g - 0.26)(1 - e^{-0.107t}) \quad (5')$$

4. EDLC の放電時の e_c, i_b の算出

閉回路[II]において, 充電後にスイッチ S を ON すると充電電圧 $E_c(t=0 \rightarrow e_c = E_c)$ により C は $r_c \rightarrow S \rightarrow$ LED $\rightarrow R$ を通して電流 i_b で放電される。

回路方程式は

$$(R + r_c)i_b + E_D = E_c$$

上式に $i_b = dq/dt$, $E_c = q/c$ を代入して

$$(R + r_c)\frac{dq}{dt} + E_D = \frac{q}{c} \quad (6)$$

$$c(R + r_c)\frac{dq}{dt} = q - cE_D$$

電荷 q と時間 t の変数分離形にして

$$\frac{1}{cE_D - q} dq = -\frac{1}{c(R + r_c)} dt \quad (7)$$

上式の両辺をそれぞれ積分して電荷 q を求めると

$$q = cE_D + c(E_c - E_D) e^{-\frac{1}{c(R + r_c)}t} \quad (8)$$

$i_b = dq/dt$ より上式から i_b を求めると

$$i_b = -\left(\frac{E_c - E_D}{R + r_c}\right) e^{-\frac{1}{c(R + r_c)}t} \quad (9)$$

$e_c = q/c$ より式(8)から e_c を求めると

$$e_c = E_D + (E_c - E_D) e^{-\frac{1}{c(R + r_c)}t} \quad (10)$$

ここで電流の式(9)に付いている-(マイナス)は, 充電時に比べて流れる電流の向きが逆方向を表している。

つぎに $r_c = 24.9 \Omega$, $R = 100 \Omega$, $E_D = 2.6V$ および $C = 0.22F$ を式(9), (10)に代入して i_b, e_c を求めると以下となる。

$$i_b = \left(\frac{E_c - 2.6}{124.9}\right) e^{-0.0364t} \quad (9')$$

$$e_c = 2.6 + (E_c - 2.6) e^{-0.0364t} \quad (10')$$

5. LED に流れる電流が i_b' になるまでの時間 t' の算出

EDLC による LED 点灯回路が照明として使用できる時間 t' を見積もる目安として, その明るさに対する LED に流れる電流 i_b' の大きさに注目した。

放電時の式(9)の-(マイナス)を消去して変形すると

$$\left\{\frac{(R + r_c)i_b'}{E_c - E_D}\right\} = e^{-\frac{1}{c(R + r_c)}t'} \quad (11)$$

上式の両辺に自然対数(ln)をとり t' を求めると

$$t' = -c(R + r_c) \ln \left\{\frac{(R + r_c)i_b'}{E_c - E_D}\right\} \quad (12)$$

ここで $r_c = 24.9 \Omega$, $R = 100 \Omega$, $E_D = 2.6V$ および $C = 0.22F$ を式(12)に代入して t' を求めると以下のようになる。

$$t' = -27.5 \ln \left(\frac{124.9 i_b'}{E_c - 2.6}\right) \quad (12')$$

上式から照明として必要な明るさに対応する電流 i_b' と使用時間に対応する t' を設定することにより, 放電時の時定数 ($\tau = CR$)となる C, R の値が選択可能となる。

R の値は, 50~200 Ω 程度が適していると思われる。

1) 山口静夫: 電気回路応用入門, pp.142-147, コロナ社 (2004 年 11 月)