



Решење

1.1 Укупна струја која протиче кроз фотодиоду представља збир струје која је последица LED осветљења (I_{PD}) и струје која потиче од амбијенталног осветљења. Мерењем напона на отпорнику R_3 при укљученој ($V_3^{укљ}$) и искљученој ($V_3^{искљ}$) LED може се одредити I_{PD} :

$$I_{PD} = \frac{V_3^{укљ} - V_3^{искљ}}{R_3} \quad (1)$$

x (mm)	$V_3^{укљ}$ (mV)	$V_3^{искљ}$ (mV)	I_{PD} (μ A)	$I_{PD}^{-1/2}$ ($A^{-1/2}$)
0	981	113	8,68	339
30	591	180	4,11	493
60	446	215	2,31	658
90	379	220	1,59	793
120	325	240	0,85	1085
150	309	243	0,66	1231
180	304	250	0,54	1361
210	286	244	0,42	1543
240	276	240	0,36	1667
270	266	237	0,29	1857
300	260	236	0,24	2041

1.2 Интензитет светлости коју емитује LED опада са квадратом растојања. Имајући ово у виду, интензитет LED светлости која пада на фотодиоду зависиће од растојања између LED и фотодиоде на следећи начин:

$$E \sim \frac{1}{(x + d)^2} \quad (2)$$

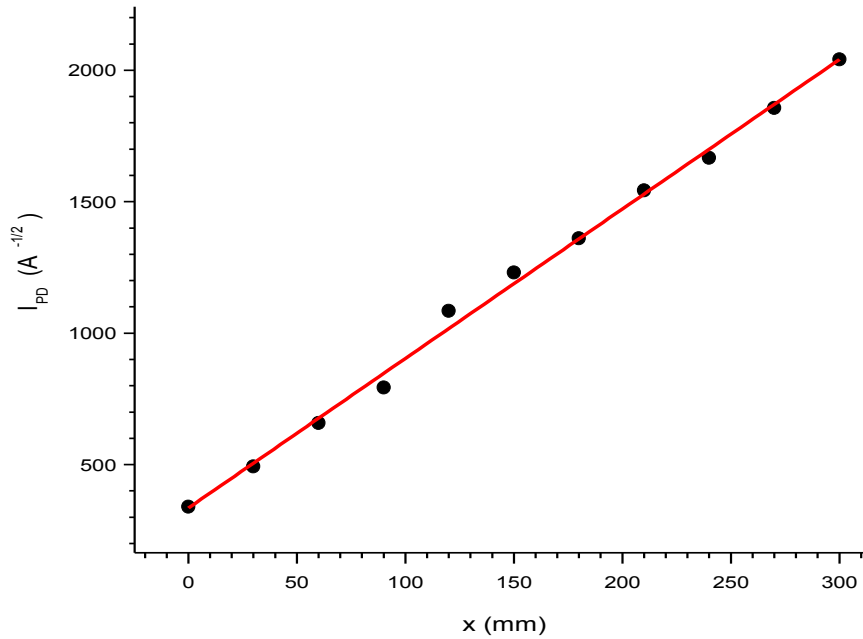
где је x растојање које се мери, а d је неко константно растојање који потиче од релативног положаја нултог подеока на лењиру, као и релативног положаја LED унутар кутије. Да би се показала линеарност фотодиоде потребно је успоставити линеарну зависност између интензитета светлости која пада на фотоосетљиви слој и јачине струје која протиче кроз фотодиоду услед осветљавања LED:

$$I_{PD} = kE = \frac{K}{(x + d)^2} \quad (3)$$

Линеаризацијом претходне зависности имао да је:

$$\frac{1}{\sqrt{I_{PD}}} = \frac{x}{\sqrt{K}} + \frac{d}{\sqrt{K}} \quad (4)$$

Цртањем $I_{PD}^{-1/2}$ у функцији од x , добија се линеарна зависност, што доказује да је јачина струје пропорционална интензитету зрачења.



2.1 Укупна струја која протиче кроз фотодиоду представља збир струје која је последица LED осветљења (I_{PD}) и струје која потиче од амбијенталног осветљења. Мерењем напона на отпорнику R_3 при укљученој ($V_3^{укљ}$) и искљученој ($V_3^{искљ}$) LED може се одредити I_{PD} :

$$I_{PD} = \frac{V_3^{укљ} - V_3^{искљ}}{R_3} \quad (5)$$

V_2 (mV)	V_{LED} (V)	$V_3^{укљ}$ (mV)	$V_3^{искљ}$ (mV)	I_{LED} (mA)	P_{LED} (mW)	I_{PD} (μ A)	I_{PD}/P_{LED} (mA/W)
23	1,662	148	144	0,0767	0,127	0,04	0,3139
100	1,711	176	153	0,333	0,570	0,23	0,4033
151	1,725	179	143	0,503	0,868	0,36	0,4146
201	1,735	202	153	0,67	1,16	0,49	0,4215
254	1,744	223	159	0,847	1,48	0,64	0,4334
313	1,751	240	160	1,04	1,83	0,8	0,4379
408	1,762	270	162	1,36	2,4	1,08	0,4507
517	1,771	303	165	1,72	3,05	1,38	0,4522
603	1,777	334	171	2,01	3,57	1,63	0,4564
709	1,784	372	177	2,36	4,22	1,95	0,4625
807	1,79	398	176	2,69	4,82	2,22	0,4610
915	1,796	433	179	3,05	5,48	2,54	0,4639
1023	1,802	468	180	3,41	6,14	2,88	0,4687
1116	1,806	492	179	3,72	6,72	3,13	0,4659
1196	1,809	518	183	3,99	7,21	3,35	0,4645
1322	1,815	552	180	4,41	8,0	3,72	0,4651
1425	1,819	583	181	4,75	8,64	4,02	0,4653



7. СРПСКА ФИЗИЧКА ОЛИМПИЈАДА УЧЕНИКА СРЕДЊИХ ШКОЛА ШКОЛСКА 2012/2013. ГОДИНА



1526	1,822	614	179	5,09	9,27	4,35	0,4694
1632	1,827	646	182	5,44	9,94	4,64	0,4669
1693	1,828	668	184	5,64	10,32	4,84	0,4692
1807	1,832	698	180	6,02	11,03	5,18	0,4694
1904	1,835	733	187	6,35	11,65	5,46	0,4688
1990	1,838	765	192	6,63	12,19	5,73	0,4699
2660	1,857	962	190	8,87	16,47	7,72	0,4689
3010	1,866	1063	187	10,03	18,72	8,76	0,4679
3430	1,876	1179	179	11,43	21,45	10,0	0,4662
4160	1,892	1401	182	13,87	26,24	12,19	0,4646
4580	1,9	1518	177	15,27	29,01	13,41	0,4623
5220	1,911	1694	177	17,4	33,25	15,17	0,4562
5840	1,922	1876	178	19,47	37,41	16,98	0,4538
6270	1,93	1996	176	20,9	40,34	18,2	0,4512

2.2 Ефикасност LED сразмерна је интензитету светлости која пада на фотодиоду. Имајући у виду претходно утврђену линеарност имамо да је:

$$\eta \sim \frac{I_{PD}}{P_{LED}} \quad (6)$$

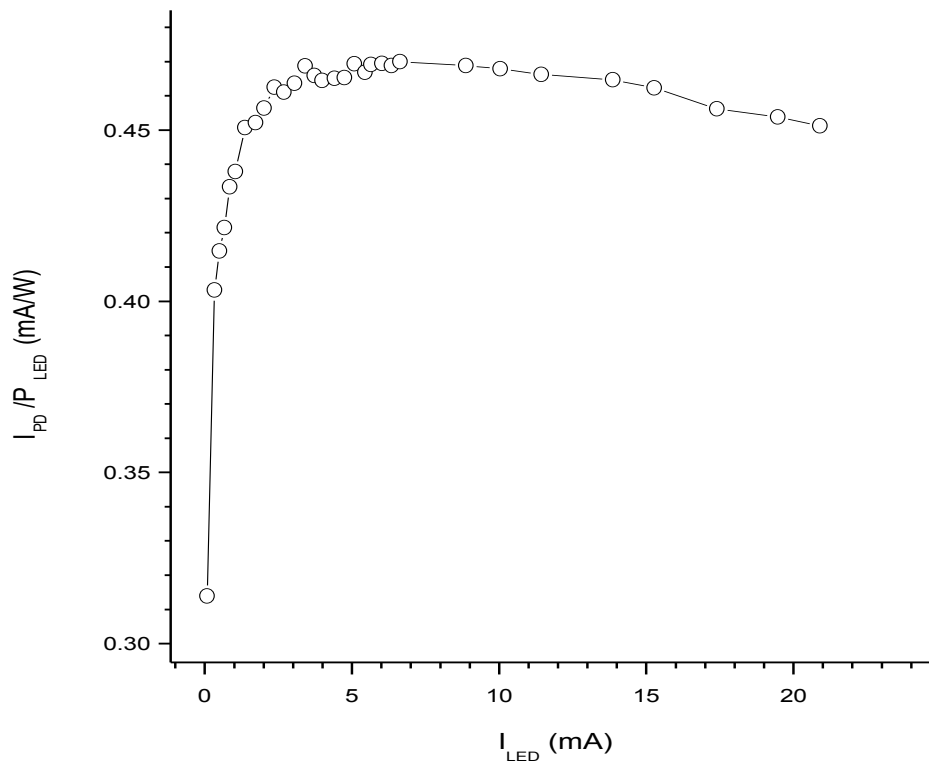
За одређивање струје при којој је η максимална потребно одредити струју при којој је однос $\frac{I_{PD}}{P_{LED}}$ максималан. P_{LED} се добија као производ струје и напона на LED

$$P_{LED} = V_{LED} I_{LED} \quad (7)$$

при чему је

$$I_{LED} = \frac{V_2}{R_2} \quad (8)$$

Цртањем графика зависности $\frac{I_{PD}}{P_{LED}}$ у функцији од јачине струје кроз LED и директним читавањем добијамо да је ефикасност LED максимална при струји од $I_{LED} = 5 \text{ mA}$.



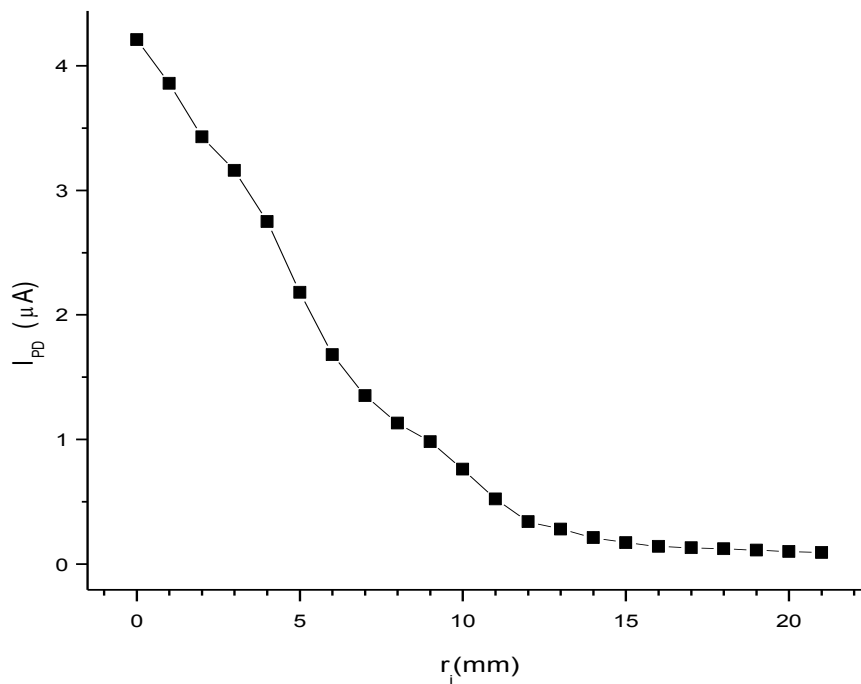
3.1 Да бисмо одредили ефикасност LED, потребно је прво подесити струју I_{LED} кроз LED на задату вредност $I_{LED} = 5 \text{ mA}$, подешавањем R_1 тако да се добије $V_2 = I_{LED} R_2$. Мерења струје $I_{PD}(r_i)$ кроз фотодиоду потребно је вршити на различитим растојањима r_i од централног положаја, са кораком $a = 1 \text{ mm}$. Уколико са u_C означимо положај осе конуса а са u_i положај фотодиоде, тада је $r_i = u_i - u_C$. Укупна струја која протиче кроз фотодиоду представља збир струје која је последица LED осветљења и струје која потиче од амбијенталног осветљења. Мерењем напона на отпорнику R_3 при укљученој ($V_3^{укљ}$) искљученој ($V_3^{искљ}$) LED за сваки од положаја r_i може се одредити $I_{PD}(r_i)$:

$$I_{PD} = \frac{V_3^{укљ} - V_3^{искљ}}{R_3} \quad (9)$$

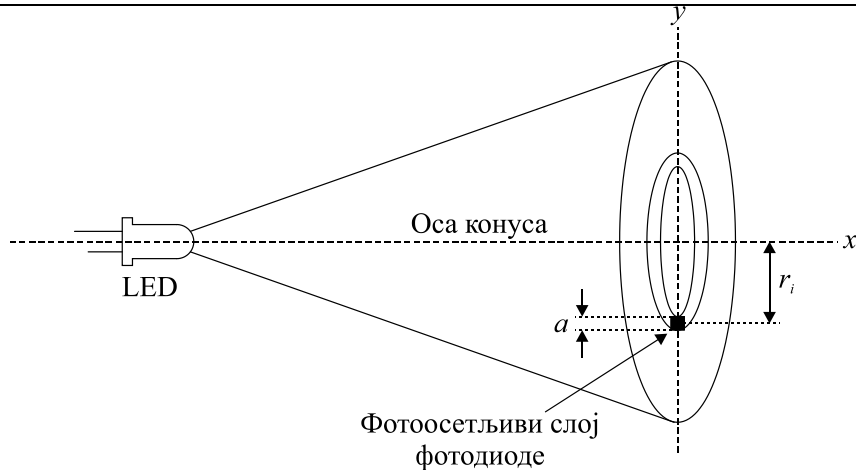
r_i (mm)	$V_3^{укљ}(r_i)$ (mV)	$V_3^{искљ}(r_i)$ (mV)	$I_{PD}(r_i)$ (μA)	$I_{PD}(r_i) \cdot r_i$ (10^{-9}Am)
0	561	140	4,21	0
1	522	136	3,86	3,86
2	476	133	3,43	6,86
3	443	127	3,16	9,48
4	394	119	2,75	11,0
5	333	115	2,18	10,9
6	279	111	1,68	10,08
7	234	99	1,35	9,45
8	206	93	1,13	9,04
9	186	88	0,98	8,82
10	159	83	0,76	7,6



11	131	79	0,52	5,72
12	109	75	0,34	4,08
13	100	72	0,28	3,64
14	89	68	0,21	2,94
15	83	66	0,17	2,55
16	79	65	0,14	2,24
17	74	61	0,13	2,21
18	71	59	0,12	2,16
19	68	57	0,11	2,09
20	67	57	0,10	2,00
21	66	57	0,09	1,89



3.2 Као што је већ речено, LED емитује светлост у виду симетричног конуса. Пресек овог конуса са равни нормалном на осу конуса представља кружни диск.



Како би пронашли укупну снагу коју емитује LED потребно је урачунати допринос зрачења са читавог диска. Диск можемо поделити на прстенове ширине a (где је a страна фотоосетљивог дела фотодиоде, облика квадрата). Површина i -тог прстена је $2\pi r_i a$. Уколико фотодиоду поставимо на растојању r_i , струја која протиче кроз њу, као последица зрачења LED, биће:

$$I_{PD}(r_i) = N_e(r_i)e = N_p(r_i)qe, \quad (10)$$

где је $N_p(r_i)$ број фотона који у јединици времена доспе на фотодиоду, $N_e(r_i)$ је број електрона који се у фотодиоди генерише у јединици времена, а q је квантна ефикасност фотодиоде. Снага зрачења које пада на површину фотодиоде постављене на растојању r_i биће:

$$\Phi_{PD}(r_i) = N_p(r_i)h\nu \quad (11)$$

Комбиновањем предходне две једначине имамо да је:

$$\Phi_{PD}(r_i) = \frac{I_{PD}(r_i)}{qe} h\nu \quad (12)$$

Будући да је сваки прстен хомогено осветљен, добијамо да је снага зрачења на читавом i -том прстену:

$$\Phi_P(r_i) = \Phi_{PD}(r_i) \frac{2\pi r_i}{a} \quad (13)$$

Укупна снага зрачења које емитује LED је:

$$\Phi = \sum_i \Phi_P(r_i) = \frac{2\pi h\nu}{aqe} \sum_i I_{PD}(r_i) \cdot r_i \quad (14)$$

$$\Phi = \frac{2\pi hc}{aqe\lambda} \sum_i I_{PD}(r_i) \cdot r_i \quad (15)$$

Ефикасност LED се добија као

$$\eta = \frac{\Phi}{P_{LED}} \quad (16)$$

где је $P_{LED} = I_{LED}V_{LED}$ снага струје на LED. У случају коришћене LED, при задатој $I_{LED} = 5 \text{ mA}$ добија се $V_{LED} = 1,82 \text{ V}$, те је $P_{LED} = 0,0091 \text{ W}$.

Према једнакости (15), за одређивање укупне снага зрачења коју емитује LED потребно је извршити сумирање $\sum_i I_{PD}(r_i) \cdot r_i$ за све измерене прстенове. На основу једнакости (16) добијена вредност за ефикасност износи $\eta = 22,5\%$.