

ON OPTIMIZATION OF EQUI-INTERVAL ROAD LIGHTING MAINTENANCE SCHEDULES

Luciano DI FRAIA

University of Naples "Federico II"

Marcello DI FRAIA

Abstract

In this paper, the difficulties of designing optimized maintenance programmes for road lighting installations are for the first time analyzed. A novel criterion helping to overcome them is suggested.

1. Current procedures for designing optimum maintenance schedules and their drawbacks

Generally, a maintenance schedule is considered to be optimum when it features the lowest (minimum) annual maintenance cost.

The procedure suggested by CIE [1] consists of finding only the optimum time interval for luminaire cleaning (by imposing that the cost of the light loss caused by the luminaire dirtying equals the cost of cleaning); the interval for the lamp group replacement being to be found by trials.

Vice versa, the IES Handbook [2] suggests an iteration method to determine the best relamping interval only, the cleaning interval being to be found by trials.

Neither approach leads to reliably optimized maintenance schemes. In fact, such procedures have the drawback the two timings are sought independently, and, therefore, their single optimization cannot lead to an optimized whole.

Another drawback is that seeking by trials the timings for the lamp group replacement or those for the luminaire cleaning hardly leads to true optimum results.

Finally, the derivation by separate methods of the two timings has the consequence that the longer of them does not result to be a multiple of the other, as instead is required in an equi-interval policy; this can result in large rounding off.

In conclusion, to be reliable, a procedure for maintenance optimization should simultaneously and interdependently consider the two types of maintenance operations (luminaire cleaning and group relamping), and the relevant time intervals should naturally result to be one multiple of the other, without the need of rounding off.

2. The problem

As it is known, the maintenance factor can be calculated only after designing the maintenance programme. But, for an equi-time interval policy for the maintenance operations, it can be shown that a same value for the maintenance factor, $\overline{MF}$, can be carried out by many more than one maintenance schedule. More precisely, if n is the number of the maintenance operations effected within a maintenance cycle (maintenance cycle: time interval after which the maintenance scheme is repeated), the number Nms of the possible maintenance schemes with the same n and yielding $\overline{MF}$ depends on the constraints imposed. According to the types of constraints, three types of equi-interval policies can be distinguished for the road lighting, having in common the above condition of simultaneously effecting the luminaire cleaning and the group relamping at the end of the maintenance cycle.

Policy 1. Specific constraints: within a maintenance scheme, the time intervals between the luminaire cleanings and the group relampings are constant; the latter is a multiple of the former; cleaning is always effected when relamping. It follows that $Nms=1$ for any n

Policy 2. Specific constraints: the time interval between the luminaire cleanings and the group

relampings are constant; the latter in not necessarily a multiple of the former; the cleaning is always effected when relamping.

Policy 3. Specific constraints: the luminaire cleaning and the group relamping intervals are constant and the latter is not necessarily a multiple of the former; the relamping operation can be effected also by alone before the maintenance cycle.

As an example, for each of the above policies, below are indicated all the maintenance schemes yielding any given maintenance factor for $n=1$ to 4.

Be:

Lc = luminaire cleaning

r = relamping

g = global operation ($lc+r$)

Policy 1

$n=1$	($Nms=1$)	g ;
$n=2$	($Nms=1$)	$lc + g$;
$n=3$	($Nms=1$)	$lc + lc + g$;
$n=4$	($Nms=1$)	$lc + lc + lc + g$.

Policy 2

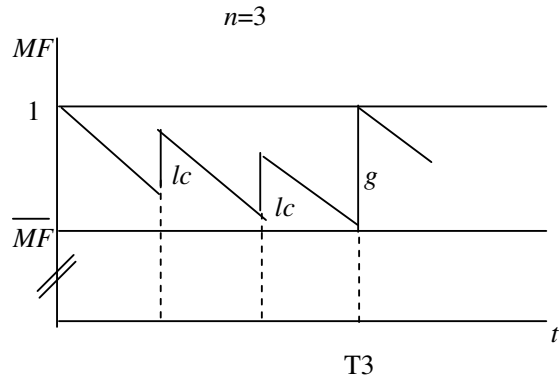
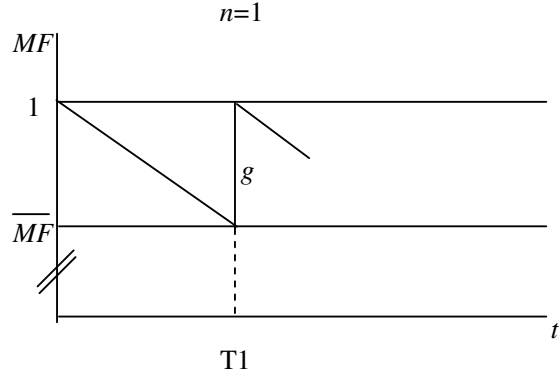
$n=1$	($Nms=1$)	g ;
$n=2$	($Nms=1$)	$lc + g$;
$n=3$	($Nms=3$)	$lc + lc + g$;
		$lc + g + g$;
		$g + lc + g$.
$n=4$	($Nms=6$)	$lc + lc + lc + g$;
		$g + lc + g + g$;
		$lc + lc + g + g$;
		$g + lc + lc + g$;
		$g + g + lc + g$;
		$lc + g + g + g$.

Policy 3

$n=1$	($Nms=1$)	g
$n=2$	($Nms=2$)	$lc + g$; $r + g$;
$n=3$	($Nms=8$)	$lc + lc + g$;
		$lc + g + g$;
		$g + lc + g$;
		$lc + r + g$;
		$r + lc + g$;
		$r + r + g$;
		$g + r + g$;
		$r + g + g$.

$n=4$ maintenance schemes not shown for the sake of brevity.

The policy 1 is that commonly used in practice. As an example, Fig. 1 visualizes the above indicated maintenance schedules yielding the maintenance factor $\overline{MF}$ for $n=1$ to 4. It is noted that the lengths of the time intervals vary from scheme to scheme.



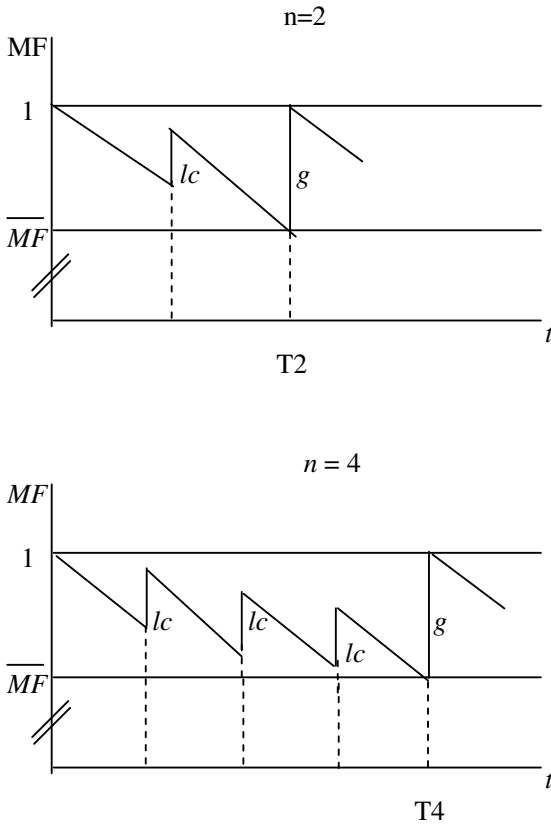
3. Practical example

For the policy 1, a practical example was developed, i. e. all the maintenance schemes yielding $\overline{MF}=0.80$ were calculated.

The following input data was considered: a high pressure sodium lamp type; $LLMF$ and $LSMF$ data, as a function of the operating hours, taken from CIE [1]; luminaire LMF data taken from IES [2]; lamp operating hours per year: 4000; environment: normal. Two maintenance strategies were considered: with and without spot relamping. Table 1 shows only a small part of the result.

Tabel 1 Some of the possible maintenance schemes yielding $\overline{MF}=0.80$ for two maintenance strategies:

- group luminaire cleaning and group relamping with spot relamping ($LSMF=1$) (tab a) ;
- without spot relamping ($LSMF<1$) (tab b).



Input data

Lamp: CIE high pressure sodium type [1]
 Luminaire: IES type [2]
 Pollution: normal
 Annual operating hours: 4000

Output data

It can be easily understood that the theoretical overall number of maintenance schemes is very high, tending in any cases to be infinite.

Tabel a

Maintenance scheme	Time interval for luminaire cleaning (T_c) (years)	Time interval for group relamping (T_r) (years)
1	1.7	1.7
2	1.25	2.5
3	1.03	3.1
4	0.875	3.5
5	0.76	3.8
6	0.67	4.0
7	0.60	4.2
8	0.54	4.3
9	0.49	4.4
10	0.45	4.5
...	...	...
50	0.11	5.5
...	...	...
100	0.057	5.7

Tabel b

Maintenance scheme	Time interval for luminaire cleaning (T_c) (years)	Time interval for group relamping (T_r) (years)
1	1.4	1.4
2	0.85	1.7
3	0.63	1.9
4	0.525	2.1
5	0.42	2.1
6	0.37	2.2
7	0.31	2.2
8	0.29	2.3
9	0.26	2.3
10	0.23	2.3
...	...	...
50	0.05	2.5
...	...	...
100	0.026	2.6

It is noted that the maintenance schemes differ considerably with the strategy adopted and are independent from the unit costs assumed for cleaning the luminaires and relamping.

Changing one or more parameters (type of lamp or luminaire or environment), causes to change the maintenance scheme carrying out MF .

It is easily understood also that the annual maintenance cost can differ greatly from scheme to scheme. The optimum scheme is the one featuring the minimum cost.

As will be shown in more details in a future paper, the optimum maintenance scheme does depend on the unit costs, in the sense that, changing one or more of them, a different scheme becomes the optimum one.

4. A novel criterion for quickly determining an optimum maintenance schedule

From above it follows that it is not easy to find out the optimum maintenance scheme, even with the aid of a computer.

Therefore, a criterion for the policy 1 was developed helping to quickly find the optimum maintenance scheme.

Briefly, this criterion is that, for a given value MF , the annual maintenance cost as a function of the maintenance cycle always attains one and only one minimum. This allows to explore a very limited number of maintenance schemes yielding the desired MF .

The required input data is:

- unit costs
- luminaire maintenance category ($LMF(t)$)

- environment category
- lamp ageing ($LLMF(t)$)
- lamp mortality statistics ($LSMF(t)$).

5. Conclusions

The current procedures for determining optimum maintenance schedules do not appear to be adequate. Actually, the problem is difficult because the maintenance schemes carrying out a same maintenance factor are many and many, theoretically infinite.

However, a criterion has been suggested, which can be used to quickly find out the optimum solution.

Such a criterion can also be usefully incorporated in the design process of a road lighting system.

References

- 1 Commission Internationale de l'Eclairage (CIE), Maintenance of indoor electric lighting systems. Publication n. 97 (1992).
- 2 Illuminating Engineering Society of North America, Lighting Handbook – Reference and Application Volume 1993.

Luciano DI FRAIA

Chair of Lighting, Electrical Engineering Department of University of Naples “Federico II” - Via Claudio, 21 - 80125 Naples – Italy
e-mail: difraia@unina.it

Marcello DI FRAIA

Economist, C.so Vittorio Emanuele, 715 – 80122 Napoli – Italy
e-mail: marcellodifraia@hotmail.com

OPTIMIZAREA PROGRAMELOR DE ÎNTREȚINERE LA INTERVALE EGALE A ILUMINATULUI STRADAL

Rezumat

În această lucrare sunt analizate pentru prima dată dificultățile de proiectare a unor programe de întreținere optimizată a instalațiilor de iluminat public. Este propus un nou criteriu care să depășească aceste dificultăți.

1 Proceduri curente ale programelor de întreținere optimizată și deficiențele acestora

În general, un program de întreținere este considerat optim când acesta reprezintă un cost anual minim de întreținere.

Procedura sugerată de CIE [1] constă în găsirea intervalului optim de timp pentru curățirea corpului de iluminat (cu condiția ca costul pierderii de lumină cauzată de murdărirea corpului de iluminat să fie egal cu costul curățirii); intervalul pentru înlocuirea grupului de lămpi urmând să fie găsit prin încercări.

Pe de altă parte, IES Handbook [2] sugerează o metodă de iterare care să determine intervalul optim de reînlocuire a lămpilor, intervalul de curățare urmând să fie găsit prin încercări.

Nici una din aceste abordări nu conduce la scheme viabile optimizate de întreținere. De fapt, aceste proceduri au dezavantajul că cele două intervale de timp sunt calculate independent și, de aceea, optimizarea lor individuală nu poate să conducă la o optimizare globală. Un alt dezavantaj este că determinarea prin încercări a intervalelor de înlocuire a grupului de lămpi sau de curățire a corpurilor de iluminat conduce cu greu la rezultate optime reale.

În sfârșit, derivarea prin metode separate a celor două intervale are consecința că cel mai lung dintre ele nu este un multiplu al celuilalt, așa cum este cerut de către metoda intervalelor egale; aceasta poate produce aproximări largi.

În concluzie, pentru ca o procedură de optimizare a întreținerii să fie viabilă, ar trebui să ia în considerare simultan și independent cele două tipuri de operații de întreținere (curățirea corpurilor de iluminat și înlocuirea grupului de lămpi) și intervalele de timp relevante ar trebui să fie multiplu unul de celălalt, fără aproximări.

2 Problema

După cum este știut, factorul de întreținere poate fi calculat numai după proiectarea programului de întreținere. Dar, pentru metoda intervalelor egale pentru operațiile de întreținere, se poate arăta că aceeași valoare a factorului de întreținere, MF , poate fi obținută prin mai mult de un singur program de întreținere. Mai precis, dacă n

reprezintă numărul operațiilor de întreținere efectuate în cadrul unui ciclu de întreținere (ciclu de întreținere: intervalul de timp după care schema de întreținere este repetată), numărul posibil de scheme de întreținere, N_{ms} , cu același n și MF variabil (flexibil) depinde de condițiile impuse. În conformitate cu tipurile cerințelor, pentru iluminatul stradal se pot distinge trei metode a intervalelor egale, având în comun condiția de mai sus de efectuare simultană a curățirii corpurilor de iluminat și înlocuire a grupului de lămpi la sfârșitul unui ciclu de întreținere.

Metoda 1. Condiții specifice: în cadrul unei scheme de întreținere, intervalele de timp între curățirea corpurilor de iluminat și înlocuirea grupului de lămpi să fie constante; al doilea este un multiplu al primului; curățirea este întotdeauna efectuată când se înlocuiește grupul de lămpi. $N_{ms} = 1$ pentru orice n

Metoda 2. Condiții specifice: intervale de timp dintre operațiile de curățire ale corpurilor de iluminat și de înlocuire a grupului de lămpi constante; al doilea interval nu e necesar să fie multiplu al primului; curățirea este întotdeauna făcută când se înlocuiește grupul de lămpi.

Metoda 3. Condiții specifice: intervale de curățire a corpurilor de iluminat și de înlocuire a grupului de lămpi constante și al doilea interval nu este necesar să fie multiplu al primului; operația de înlocuire a lămpilor poate fi efectuată, de asemenea, individual înaintea ciclului de întreținere.

Ca exemplu, pentru fiecare dintre metodele de mai sus, sunt indicate toate schemele de întreținere cu determinarea oricărui factor de întreținere, pentru $n = 1$ la 4.

Fie:

l_c = curățirea corpurilor de iluminat

r = înlocuirea lămpilor

g = operația globală ($l_c + r$).

Metoda 1

Metoda 2 ...

Metoda 3 ...

Metoda 1 este folosită uzual în practică. Pentru exemplificare, figura 1 prezintă programele de întreținere indicate mai sus de determinare a factorului de întreținere MF pentru $n=1$ la 4. Este de remarcat faptul că lungimile intervalelor de timp variază de la o schemă la alta.

3 Exemplu practic

Pentru metoda 1, s-a realizat un exemplu practic: au fost calculate toate schemele de întreținere ce determină $MF = 0,80$

S-au considerat următoarele date de intrare: lampa cu vapori de sodiu la înaltă presiune datele $LLMF$ și $LSMF$, ca funcție de orele de funcționare, din CIE [1]; corpul de iluminat LMF , date din IES [2]; 4000 de ore de funcționare a lămpii pe an; mediu normal. S-au considerat două strategii de întreținere: cu și fără înlocuirea individuală. Tabelul 1 prezintă numai o mică parte a acestor rezultate.

Tab. 1 Câteva din schemele posibile de întreținere de determinare a $MF = 0,80$ pentru două strategii de întreținere: curățirea în grup a corpurilor de iluminat și înlocuirea în grup și individuală a lămpilor ($LSMF=1$) (Tab. a) și fără înlocuirea individuală a lămpilor ($LSMF<1$) (Tab. b).

Date de intrare

Lampă: tip CIE Sodiu de înaltă presiune [1]

Corp de iluminat: tip IES [2]

Poluare: normală

Numărul orelor de funcționare anuală: 4000

Date de ieșire

Tabel a

Tabel b

Este ușor de înțeles că numărul teoretic global al schemelor de întreținere este foarte ridicat, tinzând în unele cazuri la infinit.

Este remarcat faptul că schemele de întreținere diferă considerabil în funcție de strategia adoptată și sunt independente de costurile unitare alocate pentru curățirea corpurilor de iluminat și înlocuirea lămpilor.

Schimbarea unuia sau mai multor parametri (tipul lămpii sau al corpului de iluminat sau a mediului) duce la schimbarea schemei de întreținere ce permite determinarea MF .

De asemenea, este ușor de înțeles că costul de întreținere anual poate diferi mult de la o schemă la alta. Schema optimă este cea care prezintă costul minim.

Într-o lucrare viitoare va fi prezentat în mai multe detalii faptul că schema optimă de întreținere depinde de costurile unitare, în sensul că, schimbând unul sau mai multe dintre acestea, o altă schemă devine schema optimă.

4 Un criteriu de determinare rapidă a programului de întreținere optimă

Din cele de mai sus reiese că nu este ușor să se găsească schema de întreținere optimă, chiar și cu ajutorul computerului.

De aceea, s-a dezvoltat un criteriu pentru metoda 1 în scopul găsirii rapide a schemei optime de întreținere.

Pe scurt, acest criteriu constă în aceea că, pentru o valoare dată a MF , costurile anuale de întreținere ca funcție de tipul ciclului de întreținere ating o singură dată valoarea minimă. Aceasta permite să se exploreze un număr limitat de scheme de întreținere ce determină MF dorit.

Datele de intrare cerute sunt:

- costurile unitare;

- categoria întreținerii corpurilor de iluminat ($LMF(t)$);
- categoria mediului;
- durata de viață a lămpii ($LLMF(t)$);
- statistici de mortalitate a lămpii ($LSMF(t)$).

5 Concluzii

Procedurile uzuale de determinare a programelor de întreținere optime nu par să fie adecvate. De fapt, problema este dificilă deoarece schemele de întreținere ce determină același factor de întreținere sunt multe, foarte multe, teoretic infinite.

Totuși, a fost sugerat un criteriu care poate fi încorporat cu succes în procesul de proiectare a sistemului de iluminat public.