

INTERRUPTEUR CREPUSCULAIRE

INTRODUCTION

Ce montage permet d'allumer ou d'éteindre une lampe selon l'éclairement.

Il utilise une photorésistance et un comparateur.

Une photorésistance est un composant dont la résistance varie avec l'éclairement. Elle est appelée aussi LDR : Light Dependand Resistor.

Le comparateur est un composant dont la sortie passe de l'état bas à l'état haut selon la valeur de la différence de tension appliquée à ses 2 entrées.

2 types de montage sont étudiés (inverseur et non inverseur) en justifiant les choix et en détaillant les calculs afin de pouvoir les adapter à d'autres caractéristiques d'alimentation ou de phototransistor.

CHOIX DE L'ALIMENTATION

Le montage est utilisé dans une application particulière qui dispose d'une alimentation capable de délivrer 27 V et 100 mA. Les montages sont donc calculés pour cette alimentation mais le document fournit tous les éléments de calcul permettant d'utiliser une autre alimentation.

CHOIX DU RELAIS

Le relais assure la commutation du secteur 220 V alimentant une lampe pouvant atteindre une puissance de 2 kW.

Le relais doit donc être capable de commuter 2kW/220V soit 10 A au moins.

Le courant maximum débitée par l'alimentation n'étant que 100 mA, il est nécessaire de choisir un relais dont la bobine présente une résistance assez forte. Le choix s'est porté sur un relais 24 V/1,6 kΩ représentant ainsi une consommation de 15 mA.

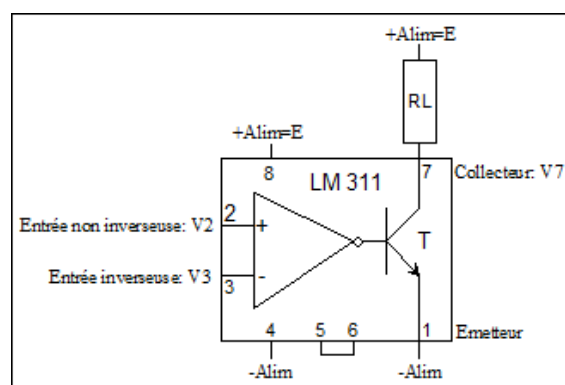
CHOIX DU COMPAREUR

Le choix du comparateur est dicté par la tension d'alimentation et la capacité de commander directement, sans amplification de courant, le relais de commande de la lampe. Il doit donc pouvoir être alimenté sous 27 V et capable de supporter un courant de sortie de 15 mA.

Le LM 311 remplit ces conditions puisqu'il permet 36V et 50 mA.

Sa sortie est par ailleurs en émetteur et collecteur ouverts, ce qui permet d'inverser ou non sa sortie selon le comportement visé et parfois d'isoler le point froid de la charge du point froid de l'alimentation. Ici, la sortie est prise sur le collecteur et l'émetteur est au point froid de l'alimentation. La charge en sortie, constituée du relais RL, est donc placée entre le collecteur et le + de l'alimentation.

Les broches 5 et 6 servent à ajuster le décalage de tension entre les entrées (<10 mV) et à remettre à 0 la sortie. Lorsqu'elles ne sont pas utilisées, comme ici, elles doivent être court-circuitées.



La logique est, en négligeant les tensions de saturation de T (<1 V) :

Si $V2 > V3$ alors T est bloqué et $V7 = E$.

Si $V2 < V3$ alors T est passant et $V7 = 0$.

Si $V2 = V3$ alors risque d'instabilité et $V7 = 0$ ou E. Nous verrons plus loin comment combattre ce risque d'instabilité.

CHOIX DE LA PHOTORESISTANCE

La photorésistance a été récupérée sur le détecteur d'un projecteur. En l'absence de sa documentation et d'un luxmètre permettant de mesurer l'éclairement, nous allons néanmoins quantifier approximativement sa caractéristique $R=f(L)$, R étant sa résistance et L l'éclairement qu'elle subit.

La résistance R d'une LDR peut être modélisée par 2 résistances R_f et R_v en parallèle, R_f étant fixe et R_v variable selon :

$$R_v = a/L^b \text{ avec } a \text{ et } b > 0$$

D'où :

$$R = R_f * R_v / (R_f + R_v) \text{ avec } R \approx R_f \text{ si } L=0 \text{ et } R \approx R_v \text{ si } R_v \ll R_f$$

Le tableau suivant donne les résultats acquis en mesurant, avec un ohmmètre, la résistance R de la LDR exposée à différents niveaux d'éclairement dont on estime la valeur en lux.

Eclairement	Lux estimé	R en kΩ
Obscurité complète	0	20000
Pénombre	10	500
Demi-pénombre	20	250

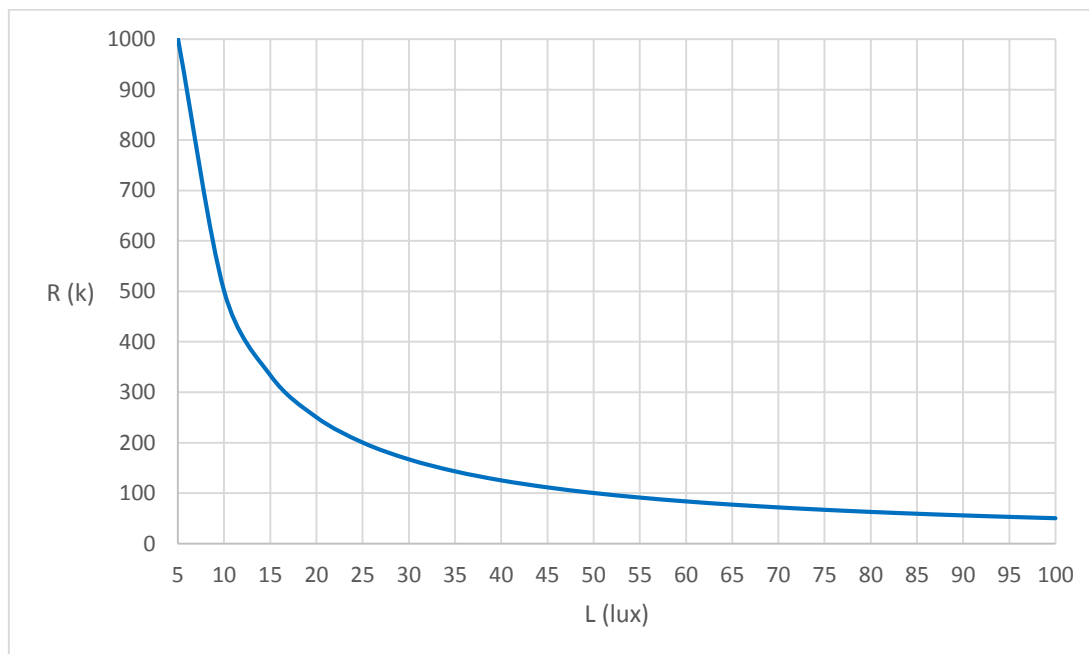
On déduit alors :

$$R_f = 20 \text{ M}\Omega$$

$$b = \frac{\log[R(10)/R(20)]}{\log(20/10)} = 1$$

$$a = 500 * 10 = 250 * 20 = 5000 \text{ k}\Omega$$

On peut alors tracer $R(L) = 5000/L$



On estime qu'il est nécessaire d'allumer pour : $L \leq 5$ à 25 lux soit $R \geq 200$ à 1000 kΩ

Le tableau suivant indique les valeurs de R déduites de la courbe établie pour différentes conditions d'éclairage.

$$R_f = 20000 \text{ k}$$

$$R_v = 5000/L$$

$$R = R_f * R_v / (R_f + R_v)$$

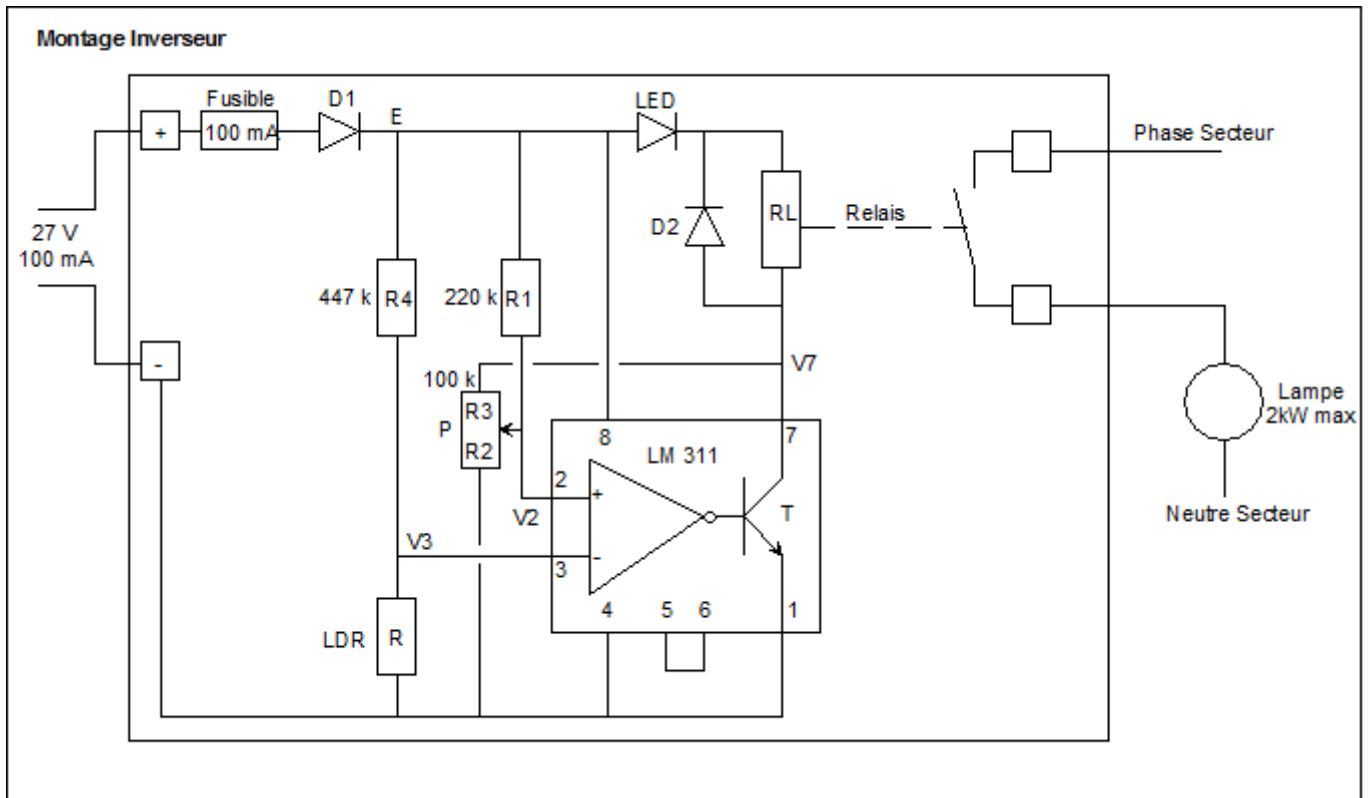
$$R = R_f \text{ si } L = 0$$

$$R = R_v \text{ si } R_v < R_f/10 \text{ soit } L > 5000 / (R_f/10) = 3 \text{ lux}$$

Condition	L (lux)	R (k)
Obscurité	0	20000
Nuit Ciel couvert	0,01	19231
Nuit Pleine lune	0,1	14286
Minimum d'allumage	5	1000
Pénombre	10	500
Demi-pénombre	20	250
Maximum d'allumage	25	200
Eclairage	100	50
Jour Ciel couvert	1000	5
Jour Ciel dégagé	10000	1
Plein soleil	100000	0

MONTAGE INVERSEUR

Présentation



Le fusible protège l'alimentation en limitant le courant à 100 mA

La diode D1 protège l'alimentation et le montage d'une inversion de câblage des fils d'alimentation.

La diode D2 protège le transistor T du comparateur de surtension due à l'inductance de la bobine du relais.

La LED témoigne de la commande du relais. Elle est encapsulée par une gaine pour ne pas risquer de perturber la LDR.

$E=27-0,7 \approx 26 \text{ V}$ (0,7V étant la chute de tension procurée par D1)

Le pont diviseur constitué de la résistance R4 et de la LDR attaque l'entrée inverseuse du comparateur.

Le pont diviseur constitué de la résistance R1 et du potentiomètre P attaque l'entrée non inverseuse.

Le réglage du seuil d'allumage de la lampe s'effectue par le potentiomètre P.

P permet de renvoyer sur V2 une portion de la tension de sortie V7 afin de créer une hystérésis permettant d'éviter l'instabilité du montage lorsque V3 est voisin de V2 et de définir le point d'extinction de la lampe. Il existe alors un seuil bas $V2=V2B$ et un seuil haut $V2=V2H$ ($V2H \geq V2B$) selon la logique suivante :

- Si L augmente, R diminue donc V3 diminue et quand $V3 < V2B$, $V7=E$ et donc la lampe s'éteint et le seuil augmente de $V2B$ à $V2H$, ce qui renforce le basculement.
- Si L diminue, R augmente donc V3 augmente et quand $V3 > V2H$, $V7=0$ et donc la lampe s'allume et le seuil diminue de $V2H$ à $V2B$, ce qui renforce le basculement.

Choix de R4

La résistance R4 a une valeur minimale pour protéger la LDR et une valeur optimale pour garantir la meilleure sensibilité du montage.

R4 minimale

Pour calculer la valeur minimale, nous considérons que la LDR possède des limites similaires à celles de LDR courantes soit :

Tension max : $V_{\max}=100$ V

Courant max : $I_{\max}=5$ mA

Puissance max : $Q_{\max}=40$ mW à 45°C

Or:

Tension sur la LDR $V_3 = E \cdot R / (R + R_4)$

Courant dans la LDR $I = E / (R + R_4)$

Puissance dans la LDR $V_3 \cdot I = E^2 \cdot R / (R + R_4)^2$

$V_3 \leq E = 26$ V donc $V_3 < V_{\max}$

I est maximal pour $R=0$ (plein soleil) donc :

$E/R_4 < I_{\max}$ soit $R_4 > E/I_{\max} \approx 5$ k Ω

Q est maximal pour $dQ/dR=0$:

$dQ/dR = [E^2 \cdot (R + R_4)^2 - E^2 \cdot R \cdot 2 \cdot (R + R_4)] / (R + R_4)^4$

$dQ/dR=0$ pour $R=R_4$ et donc $Q_{\max} = E^2 / (4 \cdot R_4)$

Il faut donc $E^2 / (4 \cdot R_4) < Q_{\max}$ soit $R_4 > E^2 / (4 \cdot Q_{\max}) \approx 4$ k Ω

En définitive : $R_4 > 5$ k Ω

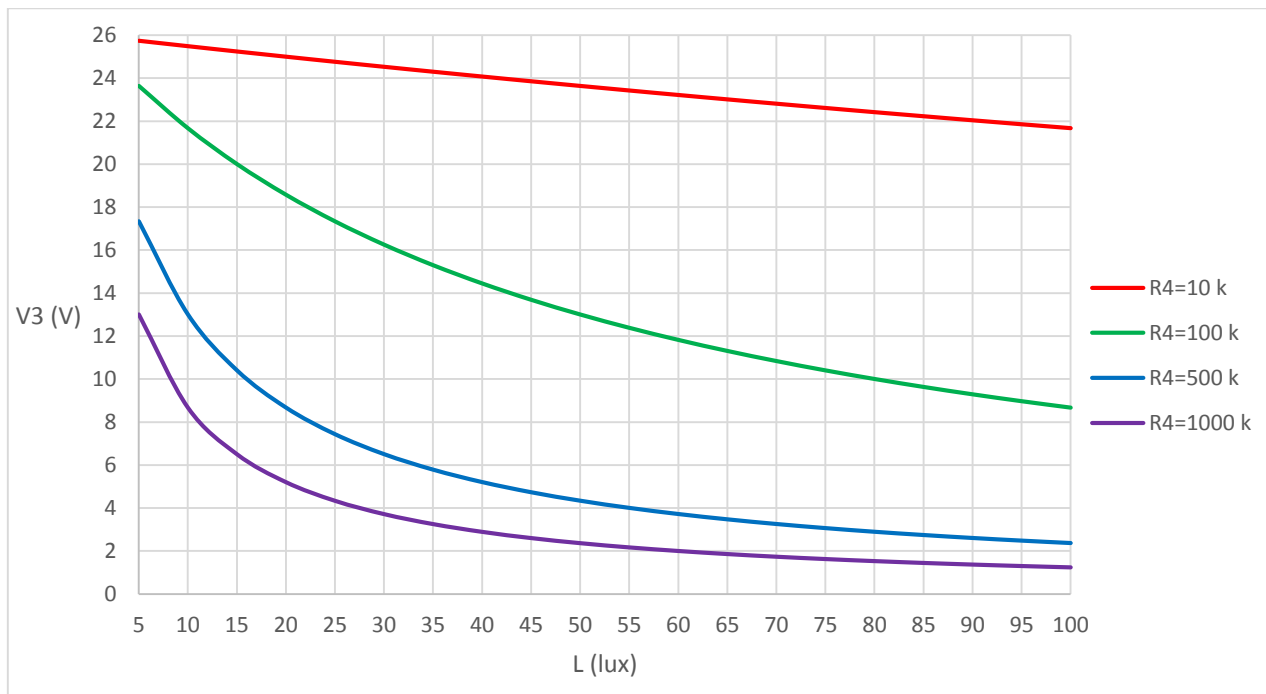
R4 optimale

$$V3(L) = E \cdot R(L) / [R(L) + R4] = E / [1 + R4/R(L)] \text{ avec } R(L) = 5000/L$$

La valeur optimale de R4 est celle qui permet d'obtenir la meilleure sensibilité entre 5 et 25 lux donc de maximiser :

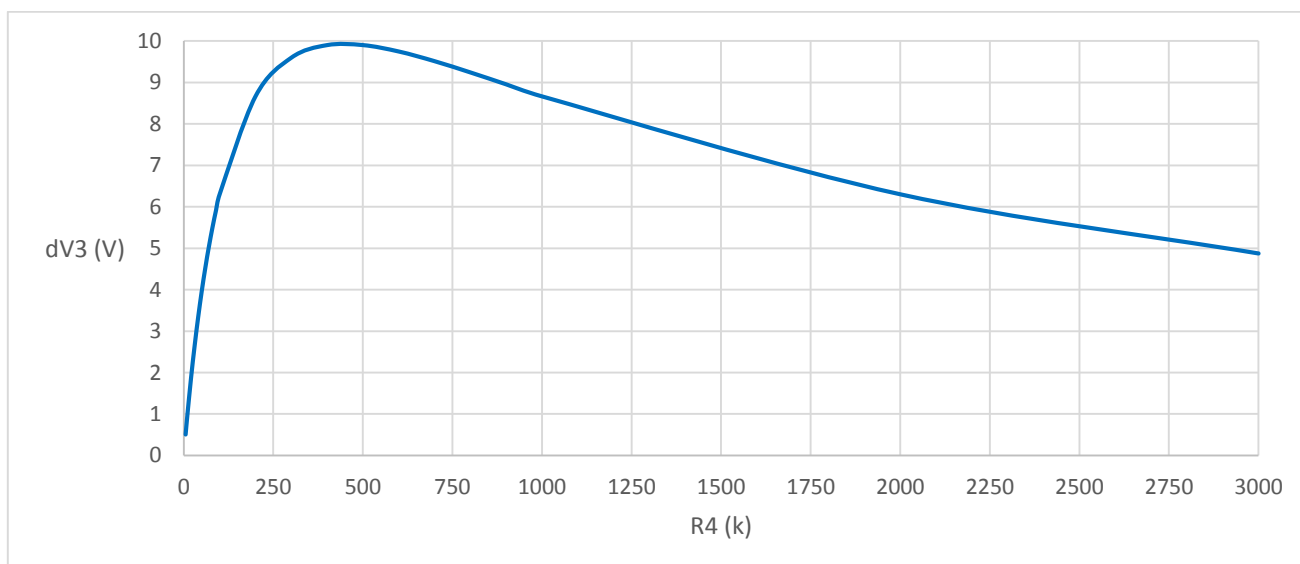
$$dV3 = V3(5) - V3(25) = E \cdot R(5) / [R(5) + R4] - E \cdot R(25) / [R(25) + R4]$$

Traçons V3(L) pour plusieurs valeurs de R4 > 5 kΩ



On constate qu'entre 5 et 25 lux, dV3 s'affaiblit pour les petites et grandes valeurs de R4.

Traçons dV3(R4) pour mieux s'en rendre compte.



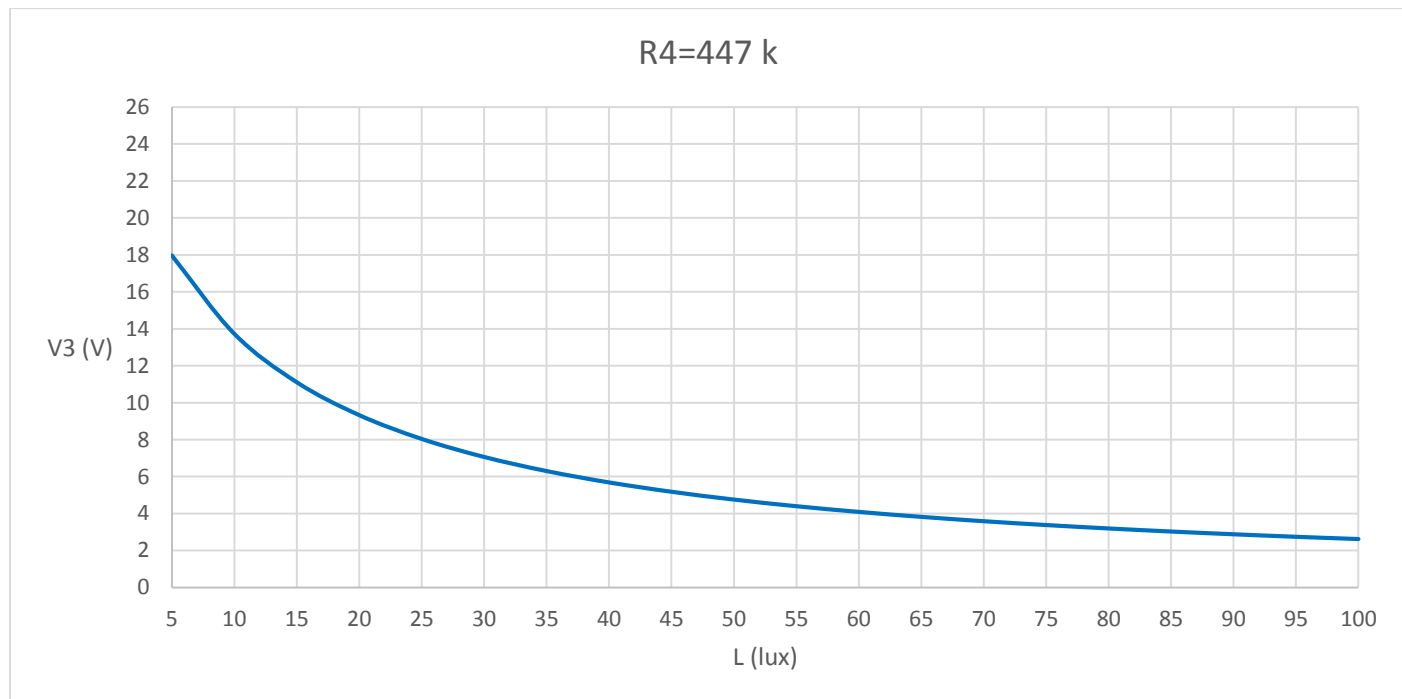
On constate que dV3 est maximale et voisine de 10 V pour R4 voisine de 500 kΩ.

La valeur optimale exacte de R4 peut se calculer. Elle s'obtient pour $dV3/dR4=0$:

$$dV3/dR4 = -E \cdot R(5) / [R(5) + R4]^2 + E \cdot R(25) / [R(25) + R4]^2$$

$$dV3/dR4 = 0 \text{ pour } R4 = \text{Racine}[R(5) \cdot R(25)] = 447 \text{ k}\Omega$$

On peut maintenant tracer $V3(L)$ avec $R4 = 447 \text{ k}\Omega$.



Choix du mode de réglage des seuils

Supposons dans un premier temps qu'il n'y a pas de potentiomètre P mais 2 résistances distinctes R2 et R3.

Si le courant dans la charge est très peu dévié par le réseau R2 et R3 donc lorsque $R2+R3 \gg RL$, on peut écrire :

- Lorsque $V7=E$, $V2=V2H$ et R3 se retrouve en parallèle avec R1.
- Lorsque $V7=0$, $V2=V2B$ et R3 se retrouve en parallèle avec R2.

D'où la valeur des seuils d'allumage ($V2H$) et d'extinction ($V2B$) :

$$V2H = E / (1 + R13/R2) \text{ avec } R13 = R1 * R3 / (R1 + R3) \text{ donc } V2H = E * R2 * (R1 + R3) / (R1 * R2 + R1 * R3 + R2 * R3)$$

$$V2B = E / (1 + R1/R23) \text{ avec } R23 = R2 * R3 / (R2 + R3) \text{ donc } V2B = E * R2 * R3 / (R1 * R2 + R1 * R3 + R2 * R3)$$

D'où l'on déduit :

$$R2/R1 = V2B / (E - V2H)$$

$$R3/R1 = V2B / (V2H - V2B)$$

$$R2/R3 = (V2H - V2B) / (E - V2H)$$

R1, R2 et R3 définissent donc à la fois $V2H$ et $V2B$. Le choix du seuil haut définit donc celui du seuil bas et vice versa.

Le point d'extinction L5 résultant d'un réglage de l'allumage à 5 lux est donc différent du point d'extinction L25 résultant d'un réglage de l'allumage à 25 lux.

Si La ($5 \text{ lux} \leq La \leq 25 \text{ lux}$) est le point d'allumage et Le le point d'extinction, il faut :

$$V2H(La) = V3(La) \text{ et } V2B(Le) = V3(Le)$$

Et en particulier :

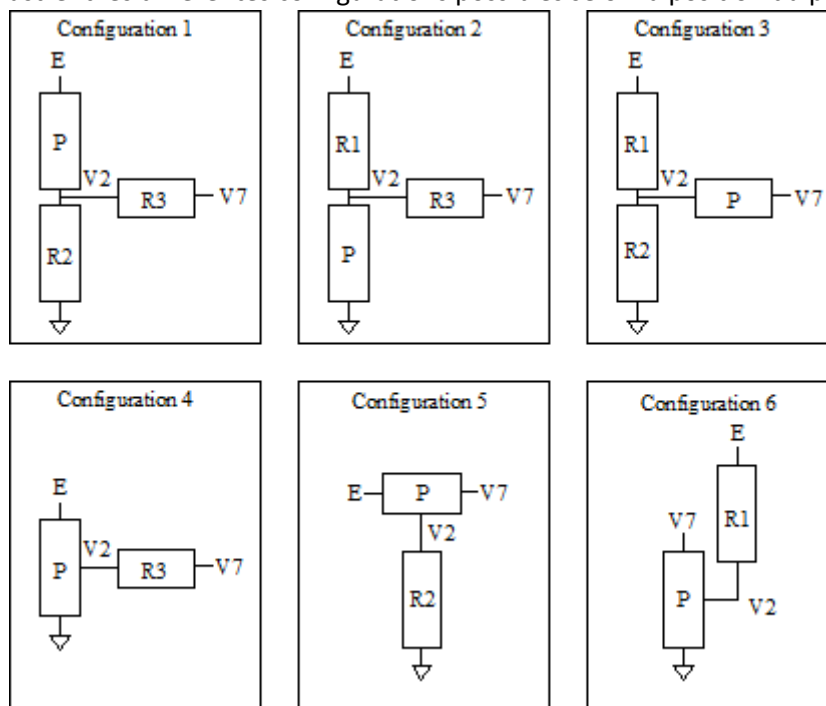
$$V2H(5) = V3(5) = 18 \text{ V et } V2B(5) = V3(L5)$$

$$V2H(25) = V3(25) = 8 \text{ V et } V2B(25) = V3(L25)$$

Lorsque la LDR est protégée de l'éclairement de la lampe qu'elle commande ou d'une autre, on peut se contenter d'une hystérésis de quelques dizaines de lux suffisante pour se protéger de faibles variations d'éclairement. Dans ce cas, on reste dans la partie pentue de $V3(L)$ et donc L25 reste voisin de L5.

Par contre si la LDR est exposée à l'éclairement de la lampe qu'elle commande ou d'une autre, il est nécessaire d'avoir une hystérésis beaucoup plus forte qui nous amène dans la partie plate de $V3(L)$. Dans ce cas, L25 est beaucoup plus fort que L5 et donc le point d'extinction est très différent selon que le réglage de l'allumage a lieu à 5 ou 25 lux. L'étude qui suit permet de remédier à ce problème.

Les schémas suivants illustrent les différentes configurations possibles selon la position du potentiomètre P.



Le tableau suivant indique les variations des seuils lorsque le potentiomètre P varie de 0 à P max.

Configuration	Variation de V2H	Variation de V2B
1	E à X1>0	E à Y1>0
2	0 à X2<E	0 à Y2<E
3	E à X3>0	0 à Y3<E
4	0 à E	0 à E
5	E à E donc avec un minimum	E à 0
6	0 à E	0 à 0 donc avec un maximum

$$X1 = E / (1 + R13/R2) \text{ avec } R13 = P_{\max} * R3 / (P_{\max} + R3)$$

$$Y1 = E / (1 + R1/R23) \text{ avec } R1 = P_{\max} \text{ et } R23 = R2 * R3 / (R2 + R3)$$

$$X2 = E / (1 + R13/R2) \text{ avec } R2 = P_{\max} \text{ et } R13 = R1 * R3 / (R1 + R3)$$

$$Y2 = E / (1 + R1/R23) \text{ avec } R23 = P_{\max} * R3 / (P_{\max} + R3)$$

$$X3 = E / (1 + R13/R2) \text{ avec } R13 = R1 * P_{\max} / (R1 + P_{\max})$$

$$Y3 = E / (1 + R1/R23) \text{ avec } R23 = R2 * P_{\max} / (R2 + P_{\max})$$

- Les configurations 1, 2 et 3 permettent d'optimiser le réglage à la LDR utilisée (encore plus en mettant une résistance en série avec P) mais ne permettent pas une adaptation à une autre LDR de caractéristiques différentes ni la possibilité de test en pleine lumière ou dans l'obscurité puisque V2H n'atteint pas 0 ou E.
- Les configurations 4, 5 et 6 permettent au contraire l'adaptation à une autre LDR et la possibilité de test en pleine lumière ou dans l'obscurité.
- La configuration 4, puisque V2H et V2B varient dans le même sens, aboutit à ce que L25 soit bien supérieure à L5 si on souhaite une hystérésis importante.
- La configuration 5 possède un même point d'allumage pour 2 positions de P puisque V2H présente un minimum. De plus ces 2 positions n'induisent pas le même point d'extinction.
- La configuration 6 présente une valeur de V2B maximale donc un point d'extinction minimum donc une plage sur laquelle le point d'extinction varie moins que dans les autres configurations.

La configuration 6 est donc choisie car elle permet l'adaptation à d'autres LDR, la possibilité de tester le montage le jour et la nuit et la possibilité de maintenir voisins les point d'extinction.

Choix de R1 et P

Pour illustrer l'intérêt de la configuration 6, traçons V2H(R2) et V2B(R2) pour Pmax=100 kΩ et R1=224 kΩ selon la logique suivante :

R2 variable de 0 à Pmax

$R3=P-R2$

$R13=R1 \cdot R3 / (R1+R3)$

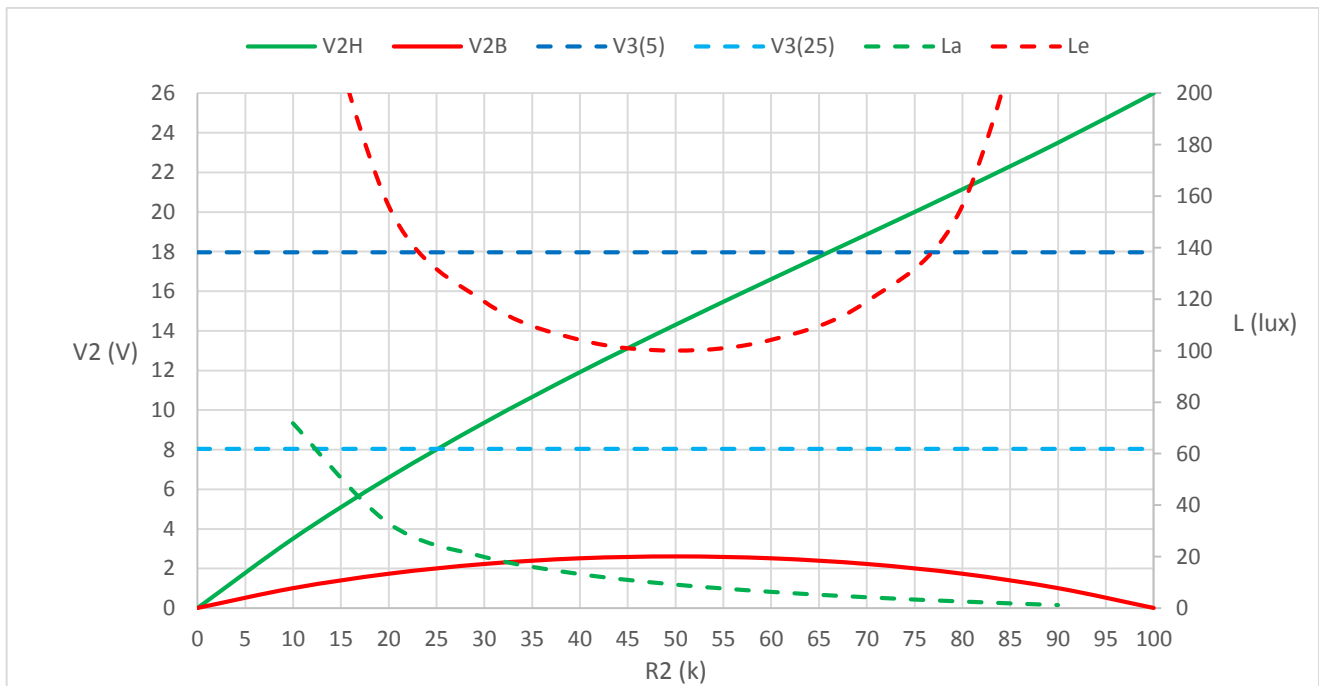
$R23=R2 \cdot R3 / (R2+R3)$

$V2H=E / (1+R13/R2)$

$V2B=E / (1+R1/R23)$

$La=(5000/R4) \cdot (E/V2H-1)$

$Le=(5000/R4) \cdot (E/V2B-1)$



L'allumage à $La=5$ lux se produit à l'intersection de V2H et V3(5) donc pour $R2=67$ kΩ. En ce point l'extinction s'effectue à $L5=110$ lux.

L'allumage à $La=25$ lux se produit à l'intersection de V2H et V3(25) donc pour $R2=25$ kΩ. En ce point l'extinction s'effectue à $L25=130$ lux.

Ainsi l'écart entre $L5$ et $L25$ ($L25-L5=20$ lux) reste faible grâce à la forme de V2B.

A titre de comparaison, on peut évaluer la configuration 2 avec le même souhait d'extinction à $L5=100$ lux pour un allumage à $La=5$ lux.

On a donc :

$R(L5)=5000/L5=50$ kΩ

$V3(L5)=E / [1+R4/R(L5)]=2,6$ V

$R3/R1=V3(L5) / [V3(5)-V3(L5)]=0,170=V3(L25) / [V3(25)-V3(L25)]$

$V3(L25)=V3(25) / (1+R1/R3)=1,2$ V

$R(L25)=R4 / [E/V3(L25)-1]=21$ kΩ

$L25=5000/R(L25)=237$ lux

$L25-L5=137$ lux

Ce qui est bien supérieur à la différence obtenue avec la configuration 6.

Avec une hystérésis plus importante, l'écart aurait été encore plus important.

Calculons le point pour lequel V2B est maximum

V2B est maximum pour R23 maximum soit pour $dR23/dR2=0$

$$R3=P_{max}-R2$$

$$R23=R2*(P_{max}-R2)/P_{max}=R2-R2^2/P_{max}$$

$$dR23/dR2=1-2*R2/P_{max}$$

$dR23/dR2=0$ pour $R2=P_{max}/2=R3$ soit 50 kΩ dans l'exemple choisi

En ce point :

$$R23=P_{max}/4$$

$$V2B_{max}=E/(1+4*R1/P_{max}) \text{ soit } 2,6 \text{ V dans l'exemple choisi}$$

$$R13=(R1*P_{max}/2)/(R1+P_{max}/2)$$

$$V2H=V2H0=V2B_{max}*(1+2*R1/P_{max}) \text{ soit } 14,3 \text{ V dans l'exemple choisi}$$

On note que V2Bmax et V2H0 dépendent du rapport R1/Pmax.

Pour éteindre à partir de Le, il faut donc $V2B < V2B_{max}$. Le point d'extinction est donc caractérisé par :

$$V2B=E/(1+4*R1/P_{max})=V3(Le)=E/(1+R4*Le/5000)$$

$$\text{Soit : } 4*R1/P_{max}=R4*Le/5000$$

$$\text{Et donc : } R1/P_{max}=0,02235*Le$$

On peut donc établir le tableau suivant résultant de la logique suivante :

On choisit Le

$$V2B=E/(1+R4*Le/5000)$$

$$R1/P_{max}=(E/V2B-1)/4$$

$$V2H0=V2B_{max}*(1+2*R1/P_{max})$$

$$La0=(5000/R4)*(E/V2H0-1)$$

Le (lux)	V2B (V)	R1/Pmax	V2H0(V)	La0 (lux)
25	8,03	0,559	17,02	5,90
50	4,75	1,118	15,38	7,73
100	2,61	2,236	14,31	9,14
200	1,38	4,472	13,69	10,06
300	0,93	6,708	13,47	10,40
400	0,71	8,944	13,35	10,59
500	0,57	11,180	13,28	10,70
600	0,48	13,416	13,24	10,78
700	0,41	15,652	13,20	10,83
800	0,36	17,889	13,18	10,88
900	0,32	20,125	13,16	10,91
1000	0,29	22,361	13,14	10,94
10000	0,03	223,607	13,01	11,16
100000	0,00	2236,068	13,00	11,18

Si par exemple, on souhaite une extinction à partir de 100 lux avec un potentiomètre de 100 kΩ, il faut choisir $R1=100*2,236=224 \text{ k}\Omega$ (cas illustré précédemment).

Vérification et réglage

On règle au préalable P en butée (à $R_3=0$) afin que la lampe soit éteinte à la mise sous tension quel que soit le niveau d'éclairement.

Une fois atteint ou simulé le niveau d'éclairement recherché pour l'allumage (soit à la pénombre), on vérifie que V3 est bien compris entre 8 et 18 V. Sinon, il faut modifier R4.

Puis au niveau d'éclairement recherché pour l'allumage, on ajuste P jusqu'à allumage de la lampe. On peut ensuite vérifier que V2 est égale à V3.

Si le réglage du point d'allumage est à recommencer alors que la lampe est allumée, il convient au préalable d'éteindre la lampe en manœuvrant P à $R_3=0$.

Remarques

Si on ne peut pas protéger du tout l'exposition de la LDR à l'éclairement de la lampe qu'elle commande ou à d'autres sources ou si on n'a pas besoin d'extinction automatique, il faut supprimer R1 d'où $V_{2H}=E \cdot R_2/P$ et $V_{2B}=0$.

L'extinction est alors manuelle par coupure de l'alimentation du montage ou de la lampe.

Consommation

Courant maximum dans le réseau (R_4, LDR)= $E/R_4=0,06$ mA

Courant maximum dans le réseau (R_1, R_2, R_3)= I

$$I = E/(R_2 + R_{13}) \text{ ou } E/(R_1 + R_{23})$$

$$\text{Si } R_2=0, I = E/R_{13} \text{ ou } E/R_1 \text{ avec } R_{13} = R_1 \cdot P_{\max}/(R_1 + P_{\max})$$

$$\text{Si } R_3=0, I = E/P_{\max} \text{ ou } E/R_1$$

La valeur max est donc $I = E/R_{13}$

$$\text{Prenons } R_1 \text{ et } P > 10 \text{ k}\Omega \text{ alors } R_{13} > 5 \text{ k}\Omega \text{ et } I < E/R_{13} = 5 \text{ mA}$$

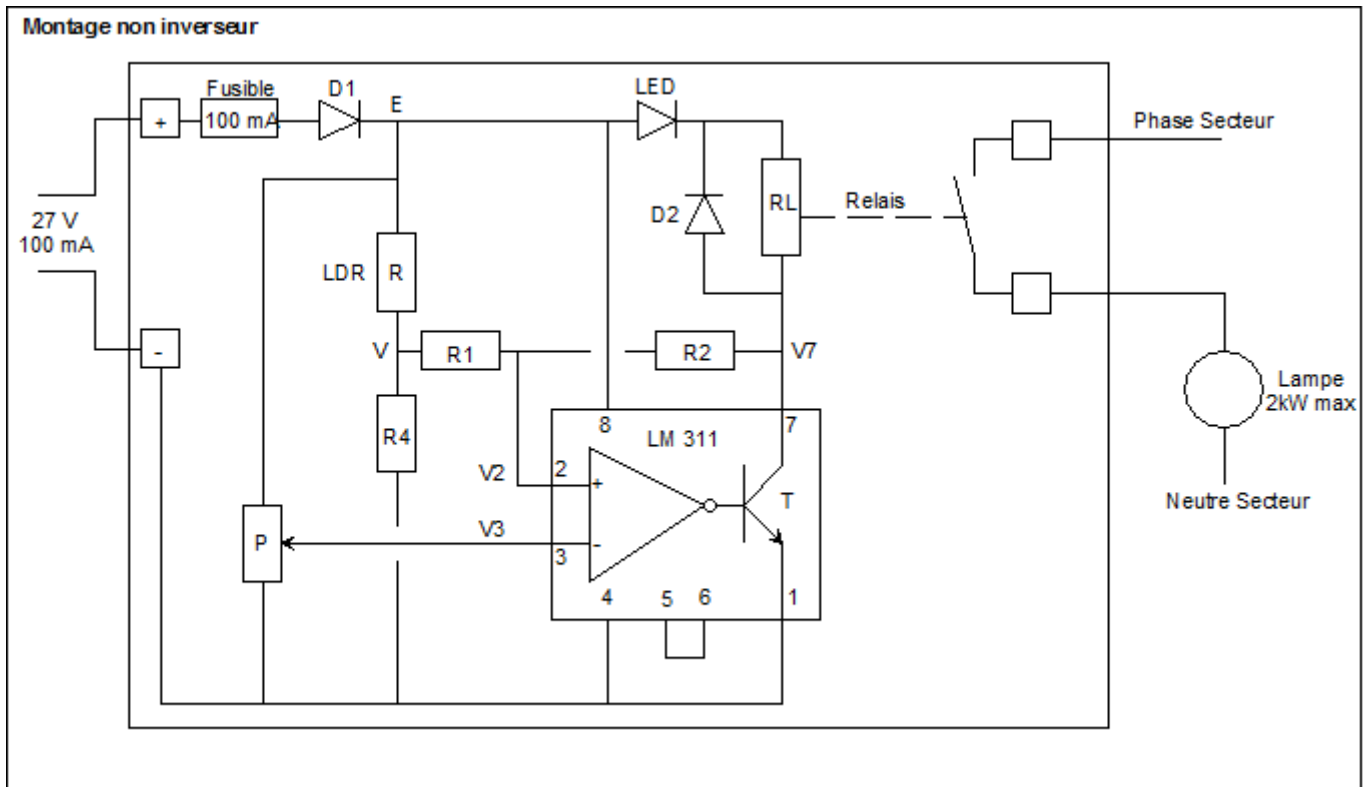
Courant maximum dans la charge= $E/R_L=16$ mA

Consommation maximum du comparateur= 8 mA

Total maximum= 30 mA

MONTAGE NON INVERSEUR

Présentation



Ce montage est mentionné pour mémoire.

Il est plus difficile à calculer et à régler que le montage inverseur car il y a dépendance entre la réponse de la LDR et l'hystérésis. Par ailleurs il ne se prête pas à de grandes hystérésis.

Seuils

$$V2B = VB \cdot R3 / (R2 + R3) \text{ avec } VB = E \cdot RB / (R + RB) \text{ avec } RB = (R1 + R2) \cdot R4 / (R1 + R2 + R4)$$

$$(E - V_H) / (R1 + R2) = (E - V2H) / R2 \text{ donc}$$

$$V2H = V_H \cdot R2 / (R1 + R2) + E \cdot R1 / (R1 + R2) \text{ avec } V_H = E \cdot R4 / (R4 + R_H) \text{ avec } R_H = R \cdot (R1 + R2) / (R + R1 + R2)$$

Si L augmente \Rightarrow R diminue \Rightarrow V2B augmente et quand $V2B > V3$, $V7 = E$ (T bloqué) \Rightarrow la lampe s'éteint et $V2 = V2H \Rightarrow$ Renforcement du basculement car la courbe passe de V2B à V2H.

Si L diminue \Rightarrow R augmente \Rightarrow V2H diminue et quand $V2H < V3$, $V7 = 0$ (T passant) \Rightarrow la lampe s'allume et $V2 = V2B \Rightarrow$ Renforcement du basculement car la courbe passe de V2H à V2B.

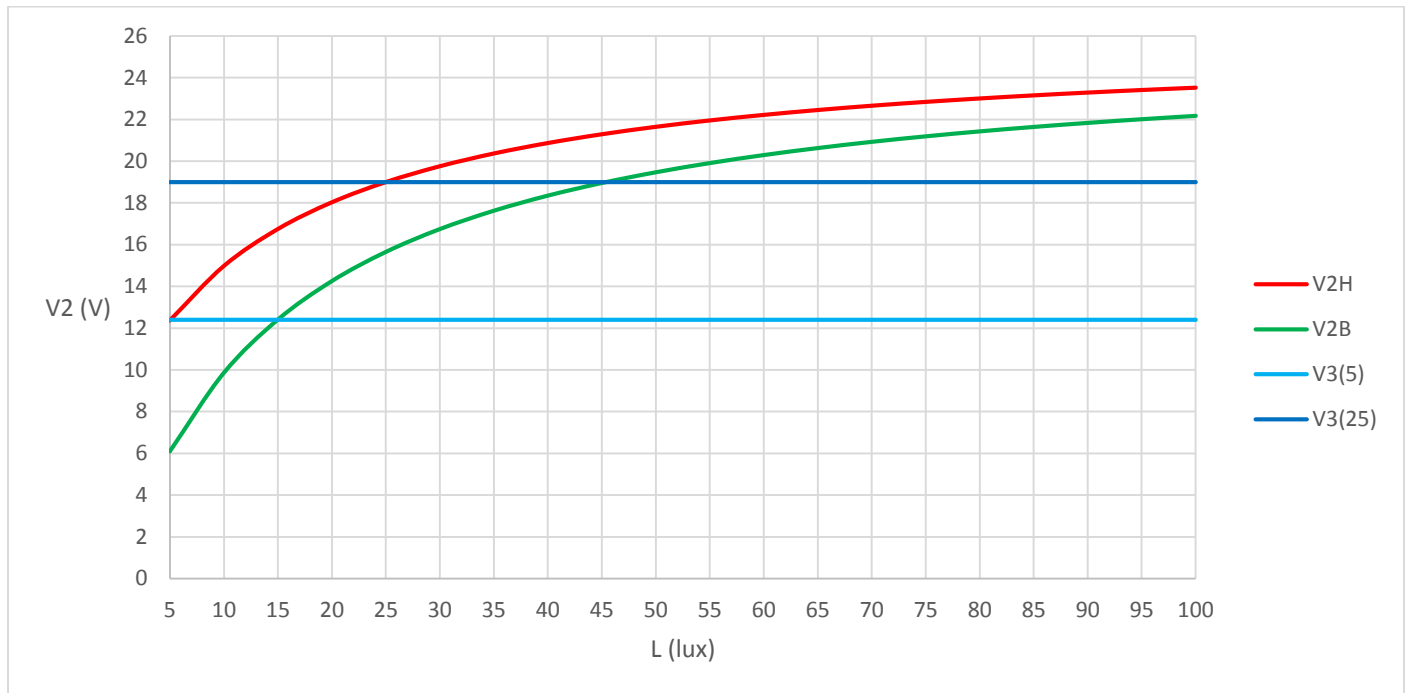
Exemple

L'exemple est établi pour :

$R4=447\text{ k}\Omega$

$R1=10\text{ k}\Omega$

$R2=1000\text{ k}\Omega$



Pour $V_3=12,4\text{ V}$, la lampe s'allume pour $L_a \leq 5\text{ lux}$ et s'éteint pour $L_5 \geq 15\text{ lux}$

Pour $V_3=19\text{ V}$, la lampe s'allume pour $L_a \leq 25\text{ lux}$ et s'éteint pour $L_{25} \geq 45\text{ lux}$