

Gepulste Lichtschranke

Erweiterungen: keine

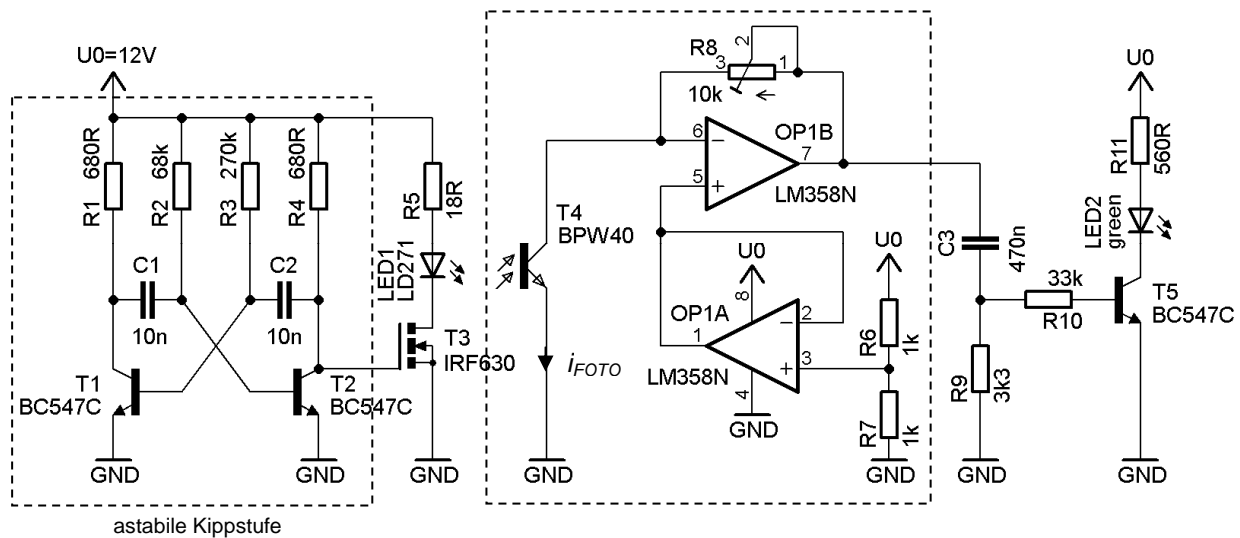


Abb. 1: Schaltplan

Versuchsbeschreibung

Obige Schaltung realisiert eine gepulste Lichtschranke, welche gegen Umgebungslicht unempfindlich ist. Als Sender dient eine Infrarot-LED (LD 271), als Empfänger ein Fototransistor (BPW 40). Eine Unterbrechung des IR-Lichtstrahls wird durch das Erlöschen einer grünen Anzeige-LED signalisiert. Die Anzeige-LED kann nur durch das IR-Licht des Senders zum Leuchten gebracht werden, andere Lichtquellen werden weitgehend "ignoriert".

Funktionsbeschreibung

Um die Lichtschranke gegen Umgebungslicht unempfindlich zu machen, wird der Lichtstrahl des Senders (LED_{RR}) nicht kontinuierlich, sondern in Pulsen (Rechtecksignal) erzeugt. Das vom Fototransistor T_4 wahrgenommene Signal und somit auch der Kollektorstrom besteht aus einem Gleichanteil, erzeugt durch das Umgebungslicht und einem überlagerten Rechtecksignal, erzeugt durch die Sender-LED. Wird dieser Strom in eine proportionale Spannung umgewandelt und an den Eingang eines Hochpassfilters gelegt, so wird der Gleichanteil, bedingt durch das Umgebungslicht, weggefiltert und es bleibt ein reines Wechselsignal am Ausgang übrig. Abb. 2 zeigt beispielhafte Signalverläufe am Filter.

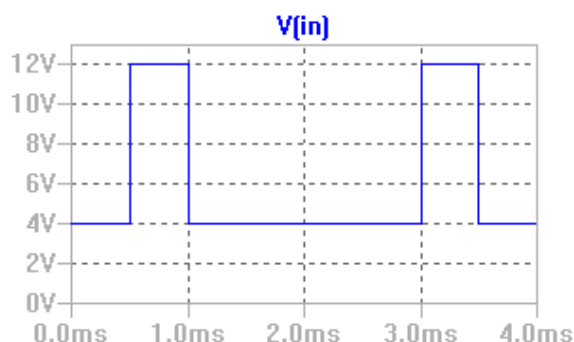


Abb. 2a: Eingangssignal am Filter

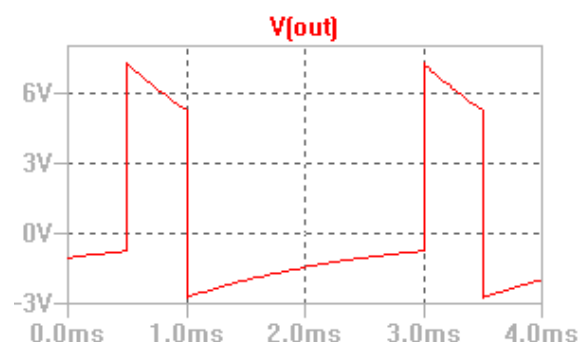


Abb. 2b: Ausgangssignal am Filter

Das Filter-Ausgangssignal wird nun verwendet, um die grüne Anzeige-LED zum Leuchten zu bringen. An dieser liegt ein reines Wechsignale und sie blinkt daher hochfrequent. Bei einer genügend hohen Frequenz wird aber aufgrund der Trägheit des menschlichen Auges ein Dauerlicht wahrgenommen. Wird nun der Lichtstrahl der Sender-LED unterbrochen, so gibt es keinen Wechselanteil am Ausgang des Filters und die Anzeige-LED erlischt.

Die Schaltung in Abb. 1 lässt sich in mehrere Teilschaltungen zerlegen, welche die oben beschriebenen Funktionen realisieren.

Das Rechtecksignal wird mit Hilfe einer astabilen Kippstufe, auch astabiler Multivibrator genannt, erzeugt. Wie diese Schaltung genau funktioniert, finden Sie im [VO-Skript, Kapitel 12]. Kurz zusammengefasst befindet sich immer einer der beiden Transistoren in Sättigung, während der andere sperrt. Durch Umladevorgänge in den Kondensatoren wechseln die Transistoren ständig (periodisch) ihren Zustand. Das Umkippen von Sättigung in Sperrbetrieb und umgekehrt geschieht sehr rasch, wodurch sich an den Kollektoren der Transistoren ein Rechtecksignal einstellt, welches in sehr guter Näherung zwischen Betriebsspannung (12V) und GND (0V) wechselt. Die Kippstufe in Abb.1 ist so dimensioniert, dass die Pulszeit t_p etwa 0,5ms beträgt und die Periodendauer T des Signals etwa 2,5ms.

Das Rechtecksignal am Kollektor von T_2 wird nun an das Gate eines MOSFETs (T_2) gelegt, wodurch dieser im selben Takt die Infrarot-LED (LED_1) ein- und ausschaltet. Der MOSFET ist nötig, da die IR-LED einen relativ hohen Strom benötigt und dieser die Kippstufe zu sehr belasten würde.

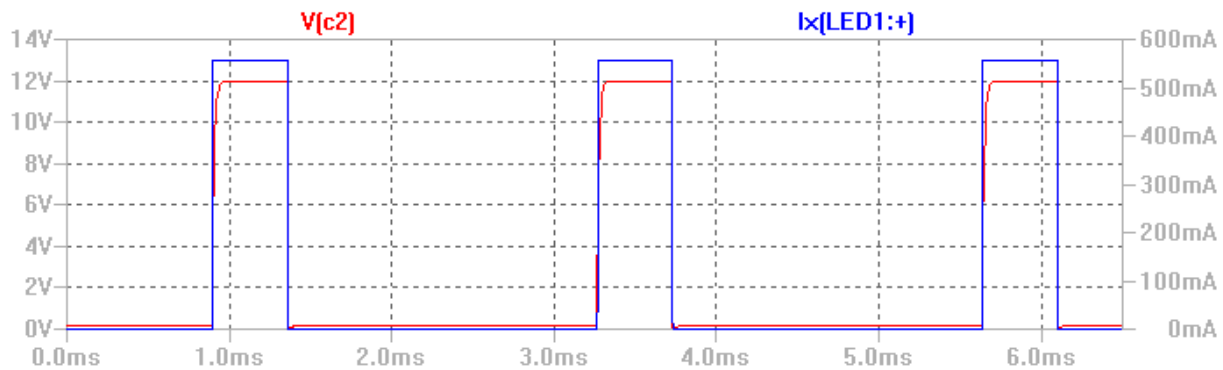


Abb. 3: zeitlicher Verlauf des Kollektorpotentials von T_2 und des Stroms durch die IR-LED

Betrachten wir nun die Empfängerseite. Der I/U-Wandler (siehe Abb. 1) sorgt dafür, dass der Strom des Fototransistors in eine proportionale Spannung umgewandelt wird. Dies geschieht folgendermaßen: Der aus R_6 und R_7 gebildete 1:2 Spannungsteiler und der nachgeschaltete Impedanzwandler (OP_{1A}) sorgen dafür, dass sich am nicht inv. Eingang von OP_{1B} , $U_0/2$ (6V) einstellt. Unter Annahme eines idealen OPs stellen sich die 6V auch am inv. Eingang ein und U_{CE} von T_4 beträgt somit, unabhängig von dessen Kollektorstrom, konstant 6V. Die Ausgangsspannung von OP_{1B} ergibt sich nach kurzer Rechnung zu:

$$u_{A,OP1B} = V_{IN-} + i_{FOTO} * R_8 = 6V + i_{FOTO} * R_8$$

Genau genommen ist die Ausgangsspannung am OP nicht direkt proportional dem Fotostrom, da sich auch bei einem verschwindenden Fotostrom eine Ausgangsspannung von 6V einstellt. Der konstante Anteil hat aber in weiterer Folge keinen Einfluss, da er genau wie ein Gleichanteil, zufolge des Umgebungslichts, vom nachfolgenden CR-Hochpass (C_3 und R_9) weggefiltert wird.

Der Hochpass ist auf eine -3dB Grenzfrequenz von etwa 100Hz dimensioniert, so dass die Grundschnung des Rechtecksignals praktisch nicht gedämpft wird. Das Ausgangssignal des Filters, welches eine Kurvenform wie in Abb. 2b aufweist, wird nun an die Basis eines NPN-Transistors gelegt, welcher als Schalter verwendet wird, um die Anzeige-LED zu schalten. Der Basisvorwiderstand ist so dimensioniert, dass das Filter wenig belastet wird und der Transistor aber dennoch möglichst gut in Sättigung geht. Durch die steile Übertragungskennlinie des Transistors stellt sich an der Anzeige-LED in sehr guter Näherung wieder ein Rechtecksignal ein (Abb. 4).

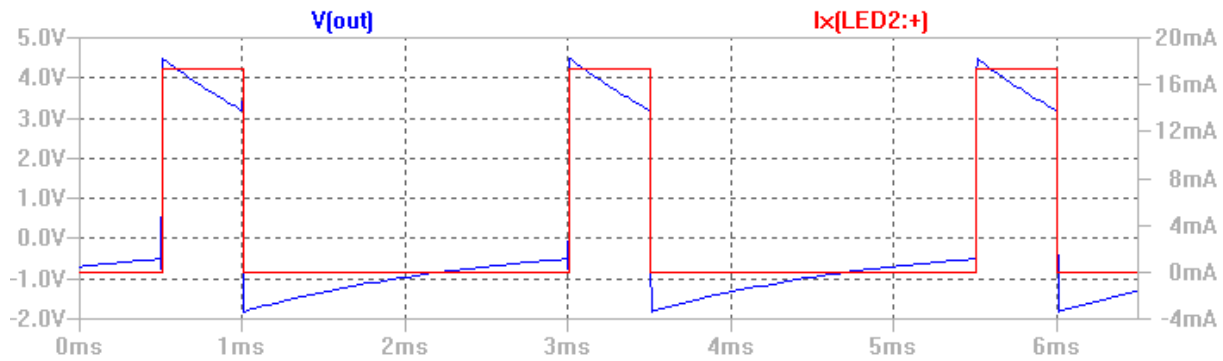


Abb. 4: Ausgangsspannung am Filter und Strom durch die Anzeige-LED

Versuchsdurchführung

Sie können die Lichtschranke ohne Probleme über die gesamte Länge des Steckbretts betreiben. Biegen Sie bei beiden Bauteilen die Beinchen um 90° um (Abb.5a), Stecken Sie LED und Transistor in jeweils 2 diagonale Kontakte am Steckbrett und richten Sie die Linsen bestmöglich aufeinander aus.

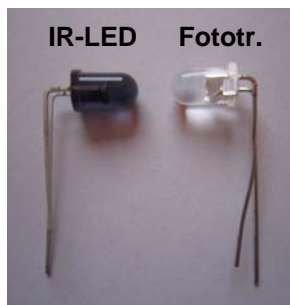


Abb. 5a

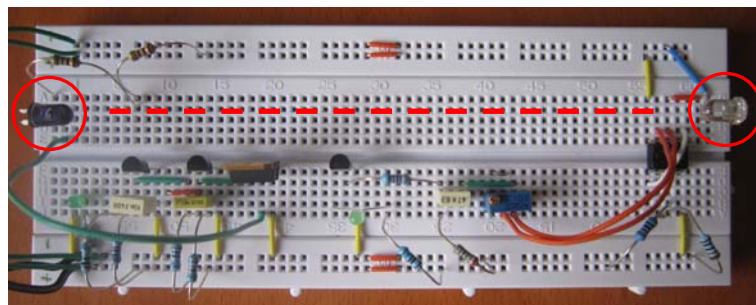


Abb. 5b: Lichtschranke

Es ist empfehlenswert, zuerst nur die Senderseite aufzubauen und zu testen. Das IR-Licht können Sie über das Display eines handelsüblichen Fotohandys sichtbar machen. Wenn Ihr Sender soweit funktioniert, bauen Sie die Empfängerseite auf. So ist es einfacher, im Falle des Falles, die Fehlersuche einzugrenzen.

Mit Hilfe von R_B , welcher als $10k\Omega$ -Spindeltrimmer ausgeführt ist, können Sie die Verstärkung des I/U-Wandlers einstellen. Wenn die Verstärkung zu gering ist, so wird der Fotostrom nicht genug verstärkt und die Anzeige-LED bleibt dunkel. Bei einer zu hohen Verstärkung bleibt die LED aber ebenfalls dunkel. Warum ist das so?

OP_{1B} kann „nach oben“ ca. bis U_0 aussteuern. Eine hohe Verstärkung bedeutet, dass auch der Gleichanteil durch das Umgebungslicht dementsprechend hoch verstärkt wird. Der verstärkte Gleichanteil bewirkt nun, dass der OP in seiner oberen Aussteuergrenze festsitzt. Ein zusätzlich überlagertes Rechtecksignal bewirkt keine Veränderung der OP-Ausgangsspannung mehr, da der OP nicht mehr weiter nach oben aussteuern kann. Dieses Gleichsignal wird aber durch den Hochpass vollständig weggefiltert und die Anzeige-LED bleibt dunkel¹.

Beginnen Sie mit einer zu geringen Verstärkung und erhöhen Sie diese so lange, bis die Helligkeit der Anzeige-LED nicht mehr merklich zunimmt. Jetzt haben Sie die Einstellung gefunden, bei der die Lichtschranke am unempfindlichsten gegen Fremdlicht ist.

Testen Sie Ihre Lichtschranke, indem Sie beispielsweise den Sender abdecken und versuchen mit einer anderen Lichtquelle die Anzeige-LED zum Leuchten zu bringen. Dies sollte Ihnen nicht gelingen. Lediglich das Ein- und Ausschalten der Lichtquelle müsste durch kurzes Aufblitzen der Anzeige-LED zu erkennen sein, da die Schaltflanke durch den Hochpass nicht gedämpft wird. Sie können auch den vorher beschriebenen Effekt der OP-Sättigung provozieren, indem Sie eine Lichtquelle in unmittelbarer Nähe des Fototransistors platzieren. Die Anzeige-LED sollte dadurch schwächer werden bzw. sogar ausgehen.

¹ Anm. des Redakteurs: Sie können dies vermeiden indem Sie lediglich den Wechselanteil des Fotostroms verstärken. Dazu müssten Sie die Schaltung allerdings modifizieren – wenn Sie möchten überlegen Sie sich doch wie Sie das machen könnten! (Es gibt viele Möglichkeiten.)

Dimensionierung

Die Puls- und Ausschaltzeit des Rechtecksignals am Kollektor von T_2 berechnen sich bei der astabilen Kippstufe wie folgt:

$$t_p \approx 0,7 \cdot C_1 \cdot R_2 \quad t_{off} \approx 0,7 \cdot C_2 \cdot R_3$$

Die Herleitung dieser Formel finden Sie in der Anleitung zum Versuch "Sägezahn-generator". Wir wünschen uns eine Pulszeit von $0,5ms$ und eine Periodendauer von $2,5ms$. Unter der Annahme von $C_1 = C_2 = C = 10nF$ können wir R_2 und R_3 berechnen.

$$R_2 = \frac{t_p}{0,7 \cdot C} = \frac{0,5ms}{0,7 \cdot 10nF} = 71,4k\Omega \rightarrow 68k\Omega \text{ gewählt}$$

$$R_3 = \frac{t_{off}}{0,7 \cdot C} = \frac{2,0ms}{0,7 \cdot 10nF} = 285,7k\Omega \rightarrow 270k\Omega \text{ gewählt}$$

Die Kollektorwiderstände R_1 und R_4 müssen so gewählt werden, dass jeder Transistor für sich in Sättigung wäre. Ein zu hoher Widerstand ist aber auch ungünstig, da sich die Kondensatoren schnell über den jeweiligen Kollektorwiderstand und die BE-Strecke des leitenden Transistors umladen sollen. Wenn ein Transistor in Sättigung gehen soll, muss für den Kollektorwiderstand gelten:

$$R_C \geq \frac{U_0 R_B}{B(U_0 - U_{BE})} \quad (\text{siehe [HLST-Skript, Kapitel 15.1]})$$

Der kritischere Transistor ist jener mit dem größeren Basiswiderstand. In unserem Fall ist das T_1 . Wir berechnen daher einfach den Kollektorwiderstand für T_1 und verwenden denselben Wert für T_2 .

$$R_1 \geq \frac{U_0 R_3}{B(U_0 - U_{BE})} = \frac{12V \cdot 270k\Omega}{500 \cdot (12V - 0,7V)} = 573\Omega \rightarrow R_1 = R_4 = 680\Omega \text{ gewählt}$$

Wenn Sie im Datenblatt der IR-LED ($LD 271$) nachlesen, so finden Sie ein Diagramm, welches den maximal zulässigen Pulsstrom in Abhängigkeit des sog. Duty-Cycles D und der Pulszeit t_p angibt.

Für $D = \frac{t_p}{T} = \frac{0,5ms}{2,5ms} = 0,2$ können wir den maximalen Pulsstrom mit $I_{Fmax} \approx 600mA$ ablesen.

Der nötige Vorwiderstand R_5 beträgt somit 18Ω ($2W$). (IR-LED: $U_F = 1,5V$)

R_6 und R_7 müssen einen 1:2 Spannungsteiler realisieren und werden jeweils mit $1k\Omega$ gewählt.

Die $-3dB$ Grenzfrequenz f_0 eines CR-Hochpasses ist mit $f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$ gegeben². Wir wählen fR_0 mit $100Hz$ und nehmen $C_3 = 470nF$ an:

$$R_9 = \frac{1}{2\pi f_0 C_3} = \frac{1}{2\pi \cdot 100Hz \cdot 470nF} = 3,39k\Omega \rightarrow 3,3k\Omega \text{ gewählt}$$

Der Basisvorwiderstand R_{10} wird so dimensioniert, dass der Hochpass nicht zu sehr belastet wird und T_5 trotzdem möglichst gut in Sättigung geht. Wir wählen daher R_{10} 10-mal größer als R_9 .

² Dies gilt mit $R=R_9$ nur wenn der nachfolgende Lastwiderstand sowie der Generatorwiderstand der Quelle vernachlässigt werden kann.

$$\rightarrow R_{10} = 33k\Omega$$

Finden Sie heraus, ab welcher Filter-Ausgangsspannung der Transistor sicher in Sättigung geht.