

Lichtregler

Erweiterungen: keine

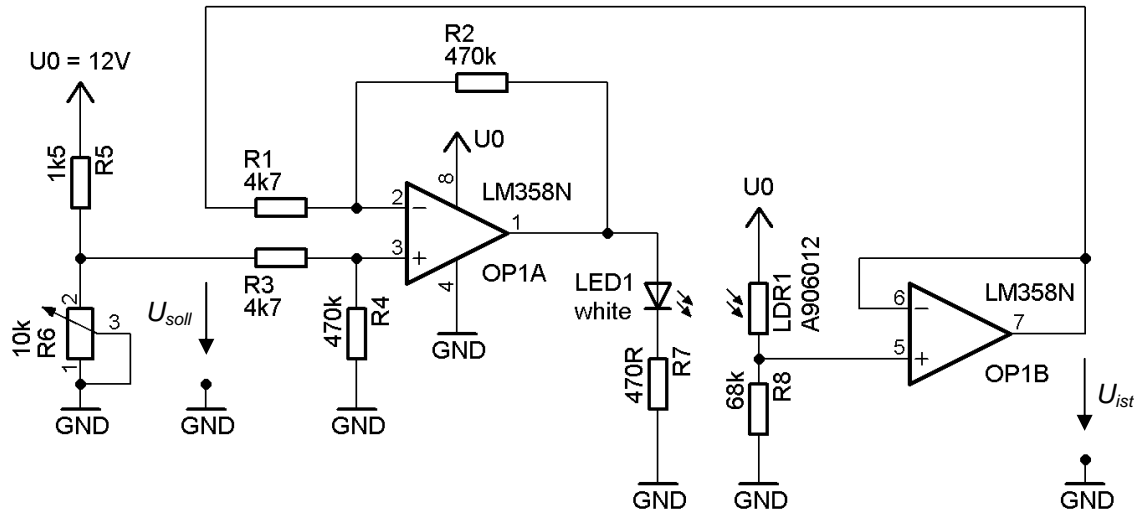


Abb. 1: Schaltplan

Versuchsbeschreibung

Diese Schaltung realisiert einen Regelkreis mit P-Regler, welcher die Lichtstärke an einem gewissen Ort konstant halten soll. Als Stellglied dient eine ultrahelle weiße LED und als Sensor ein lichtabhängiger Widerstand (LDR). Wird z.B. das Umgebungslicht geringer, so soll die LED die Lichtstärke am Ort des LDR nachregeln.

Funktionsbeschreibung

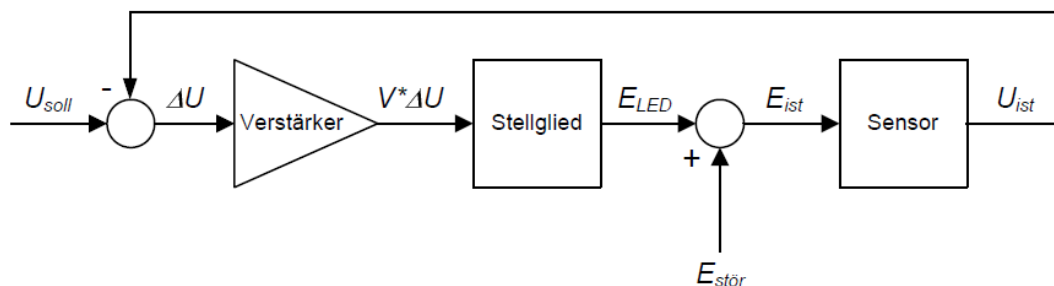


Abb. 2: Blockschaltbild

Die Schaltung aus Abb. 1 lässt sich durch ein Blockschaltbild (Abb. 2) ersetzen, anhand dessen die Funktion des Regelkreises erläutert werden soll.

Der Verstärker habe eine hohe Verstärkung V und seine maximale Ausgangsspannung sei begrenzt (Aussteuergrenzen). Wir wünschen uns einen bestimmten Sollwert $U_{RR_{soll}} > 0$, welcher sich am Sensorausgang einstellen soll ($U_{ist} = U_{soll}$). Nehmen wir nun an, dass zu Beginn Dunkelheit herrscht ($E_{ist} = 0$) und somit $U_{ist} = 0$ gilt. Es wird also keine Spannung an den Summationspunkt rückgekoppelt und am Eingang des Verstärkers liegt der volle Sollwert. Der Ausgang des Verstärkers wird also die maximal mögliche Spannung (obere Aussteuergrenze) liefern und an das Stellglied (in unserem Fall die LED) weitergeben. Dadurch wird sich die maximal mögliche Lichtstärke für E_{LED} einstellen und der Sensor mit einer Spannung $U_{ist} \neq 0$ antworten, welche an den Summationspunkt rückgekoppelt wird. Die Spannung am Verstärkereingang als auch am Ausgang ist nun dementsprechend geringer und

die LED wird die Lichtstärke zurücknehmen. Somit sinkt auch die Sensorspannung, es wird weniger rückgekoppelt, die Eingangsspannung am Verstärker steigt..., usw. Es kommt erst dann zu einem stabilen Zustand, wenn sich die Lichtstärke so einstellt, dass die daraus resultierende Spannungsdifferenz am Verstärkereingang dafür sorgt, dass genau diese Lichtstärke erhalten bleibt. Ein P-Regler kann den Istwert also nie genau auf den Sollwert ausregeln, da es immer eine bleibende Regelabweichung ($\Delta U = U_{soll} - U_{ist}$) am Verstärkereingang geben muss, um die geforderte Stellgröße beizubehalten. Da wir zu Beginn aber angenommen haben, dass der Verstärker eine hohe Verstärkung besitzt, fällt ΔU sehr gering aus und es gilt näherungsweise $U_{soll} \approx U_{ist}$. Je höher die Verstärkung, desto geringer fällt die bleibende Regelabweichung aus.

Tritt nun eine Störung auf (z.B. das Umgebungslicht wird erhöht), so wird dies vom Sensor detektiert und es wird mehr Spannung rückgekoppelt, so dass die Lichtstärke der LED dementsprechend zurückgenommen wird. Die Störung wird also ausgeglichen.

UUAnerkennung: Eine rückgekoppelte Operationsverstärkerschaltung in Gegenkopplung nutzt ebenfalls genau diesen Regelmechanismus aus. Mehr Informationen zum Thema "Rückkopplung" finden Sie im [HSLT-Skript, Kapitel 10].

Kommen wir nun von der allgemeinen Betrachtung des Blockschaltbilds zurück zu unserer eigentlichen Schaltung. Die Elemente des Blockschaltbilds können bestimmten Schaltungsteilen aus Abb. 1 zugeordnet werden.

OP_{1A} bildet zusammen mit R_1 bis R_4 einen Subtrahierverstärker (Abb. 3). Unter der Bedingung, dass $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$, gilt für die Ausgangsspannung des Subtrahierverstärkers:

$$U_A = \frac{R_2}{R_1} (U_{soll} - U_{ist})^{1)}$$

Der Subtrahierverstärker realisiert also bereits den Summationspunkt und den Verstärker im BSB.

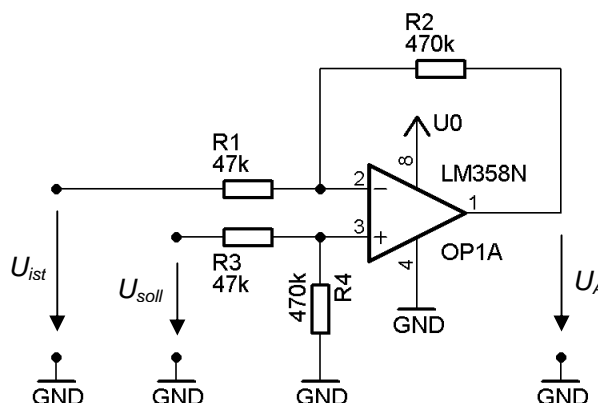


Abb. 3: Subtrahierverstärker

$LEDRR_1$ und der Vorwiderstand R_7 realisieren das Stellglied.

Der Sensor wird durch den Spannungsteiler aus LDR_1 und R_7 sowie den nachfolgenden Impedanzwandler (OP_{1B}) gebildet. Bei Dunkelheit liegt der Widerstandswert des LDR im Bereich von $20M\Omega$ und es wird praktisch nichts rückgekoppelt. Bei Tageslicht verringert sich der Wert auf ca. 1 bis $5k\Omega$ und es wird annähernd Betriebsspannung rückgekoppelt. Der Impedanzwandler ist nötig, um den Spannungsteiler durch den relativ niederohmigen Eingang des Subtrahierers nicht zu belasten.

Die Stellgröße kann mit R_6 , welcher als Poti ausgeführt ist, eingestellt werden. Da der Ausgang des Impedanzwandlers nicht bis Betriebsspannung aussteuern kann, sondern nur ca. 11,3V erreicht, ist es nötig, dass der Sollwert nicht über diesen Wert eingestellt werden kann, da ansonst in diesem Bereich der Regelmechanismus nicht mehr funktioniert (die LED würde immer mit voller Lichtstärke leuchten). R_5 sorgt dafür, dass die Stellgröße auch bei Poti-Anschlag unter 11,3V bleibt.

¹⁾ Diese Beziehung lässt sich sehr einfach mit Hilfe des Superpositionsprinzips und der Annahme von idealen OP-Eigenschaften herleiten.

Versuchsdurchführung

Es hat sich als günstig erwiesen, die LED und den LDR etwa im Abstand der halben Steckbrettlänge anzuordnen (Abb. 4a). Da die LED nur in einem sehr kleinen Abstrahlwinkel wirklich hell ist, muss sie um 90° umgebogen werden (Abb. 4b), damit sie direkt in Richtung LDR strahlt. Der LDR selbst sollte hingegen mit der lichtempfindlichen Fläche nach oben ausgerichtet werden. Eine direkte Bestrahlung der Fläche mit der LED ist nicht optimal, da das Umgebungslicht im Vergleich zum LED-Licht kaum mehr wahrgenommen wird.

Der Einstellbereich der Schaltung ist extrem abhängig von der Anordnung der Bauteile. Er kann jedoch sehr gut mit Hilfe von R_8 angepasst werden. Bauen Sie dazu die Schaltung auf und setzen Sie sich in einen komplett dunklen Raum. Wählen Sie zuerst einen relativ geringen Wert (z.B. $10k\Omega$), für R_8 (\rightarrow geringe Rückkopplung) und stellen Sie den Sollwert auf das Maximum. Nehmen Sie die Schaltung in Betrieb und überprüfen Sie, ob die LED mit voller Kraft leuchtet. Dies können Sie feststellen, indem Sie den LDR mit der Hand abdecken und prüfen, ob die LED dann noch heller strahlt. Falls Sie keine Veränderung feststellen konnten, ist die Rückkopplung zu gering. Erhöhen Sie in diesem Fall den Widerstandswert von R_8 .

Ihr Regler ist nun optimal eingestellt und sollte so empfindlich sein, dass Sie allein mit dem Schlagschatten Ihrer Hand die Lichtstärke beeinflussen können.

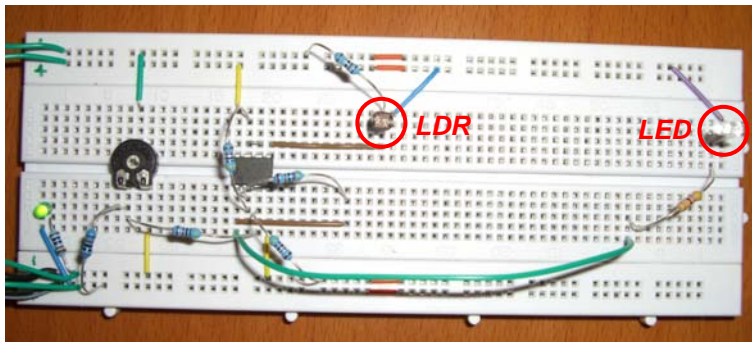


Abb. 4a



Abb. 4b

UUAufbauhinweis: Wenn Sie die LED in 2 diagonal angeordnete Steckplätze einstecken, so lässt sich diese einfach in Richtung des LDR verdrehen.

Dimensionierung

Wie schon oben erwähnt, gilt für die Ausgangsspannung des Subtrahierverstärkers

$$U_A = \frac{R_2}{R_1} (U_{\text{soll}} - U_{\text{ist}}), \text{ wobei } \frac{R_2}{R_1} = V \text{ ist.}$$

Für unsere Zwecke ist eine Verstärkung von 100 ausreichend. Die bleibende Regelabweichung ΔU beträgt dann bei einer maximalen Ausgangsspannung von 11,3V lediglich 0,113V. Damit wir die vorhergehenden Schaltungsteile möglichst wenig belasten, wählen wir die Widerstände relativ hochohmig, z.B. $R_1 = R_3 = 4,7k\Omega$, $R_2 = R_4 = 470k\Omega$

Der Eingangswiderstand des nicht invertierenden Eingangs des Subtrahierverstärkers beträgt $r_{E+} = R_3 + R_4 = 517k\Omega$ TTPP²⁾. Man sollte den Spannungsteiler zur Sollwertvorgabe daher im Verhältnis niederohmig wählen, um diesen nicht allzu sehr zu belasten. Wir wählen daher für $RRRRRRRRRRRRRRRRRRRRR_6$ ein $10k\Omega$ Poti. Wenn wir R_5 mit $1,5k\Omega$ wählen, so kann U_{soll} maximal

²⁾ Achtung: der invertierende Eingang des Subtrahierverstärkers ist viel niederohmiger ($r_{E-} = R_1 = 4,7k\Omega$), deshalb ist auch ein vorgeschalteter Impedanzwandler von Nöten. Wie berechnet man übrigens die Eingangswiderstände des Subtrahierverstärkers? (Hinweis: Superposition)

$12V \cdot \frac{10k\Omega}{10k\Omega + 1,5k\Omega} = 10,43V$ betragen und die Schaltung kann nicht in den Bereich gelangen, in dem die Regelung nicht mehr funktioniert.