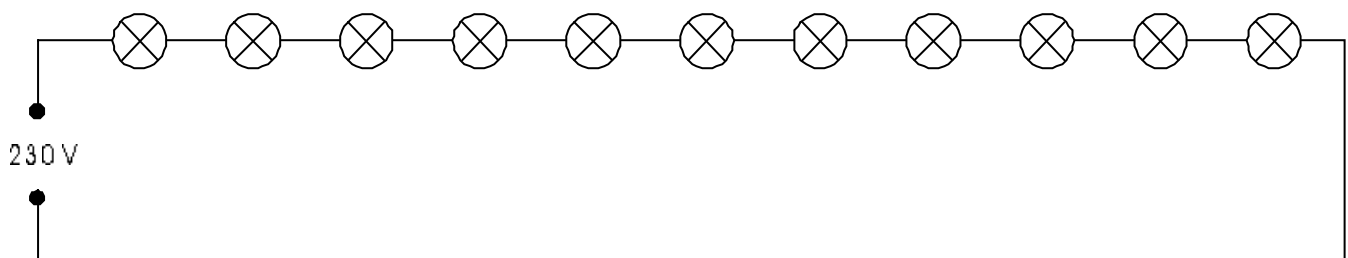


Wie verhindert man, dass eine Christbaumbeleuchtung bei Durchbrennen eines Birnchens ganz ausgeht?

Wie ist eine Lichterkette aufgebaut?

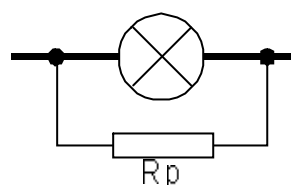


Die Glühlampen in einer Lichterkette "teilen" sich die Betriebsspannung (meist Netzspannung) gleichmäßig, falls sie alle gleiche Betriebsdaten aufweisen.

Hier hat jede Lampe eine Nennspannung von $23\text{ V} = 230\text{ V} : 10$. Bei $3,0\text{ W}$ Leistungsaufnahme fließt durch die Reihenschaltung ein Strom von $3,0\text{ W} : 23\text{ V} = 0,13\text{ A}$. Eine Lampe hat dann den Nennwiderstand von $23\text{ V} : 0,13\text{ A} = 0,18\text{ k}\Omega$.

Wenn ein Birnchen durchbrennt, müsste es wie ein Schalter wirken und den Stromkreis unterbrechen - trotzdem brennen die anderen Birnchen weiter. Wie kommt das?

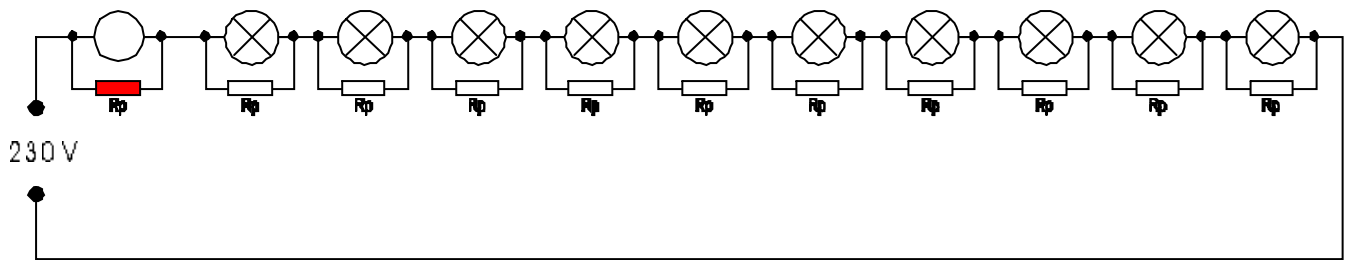
Wie ist ein Birnchen der Lichterkette aufgebaut?



In der Fassung des Birnchens befindet sich ein Widerstand. Er hat bei normalem Betrieb des Birnchens einen etwa 10 mal größeren Widerstand R_p , wie das Birnchen selbst. Was heißt das im Normalbetrieb?

Zum einen nimmt die gesamte Schaltung einen höheren Strom auf. Denn wenn der Widerstand $R_p = 10 * R$ angenommen wird, fließt durch ihn ein Zehntel des Lampenstroms. Dieser Strom durch den Widerstand fließt zusätzlich zu dem Lampenstrom. Die Stromstärke in der Zuleitung wird dadurch um 10% angehoben, der Wirkungsgrad gleichzeitig verschlechtert, weil dieser Strom durch den Widerstand im Normalbetrieb "nutzlos" fließt - es wird dadurch ja nicht mehr Licht abgegeben.

Was geschieht, wenn ein Birnchen durchbrennt?



In dem Moment, wenn das erste Birnchen durchbrennt steigt der Widerstand an dieser Stelle auf den 10-fachen Wert. Die restlichen 9 Birnchen haben nach wie vor den Widerstand $R = 0,18 \text{ k}\Omega$, zusammen also $9 \text{ mal } R = 1,62 \text{ k}\Omega$. Nach den Gesetzen der Serienschaltung steigt die Spannung am Widerstand R_p des ersten Birnchens auf $10/19 * 230 \text{ V} = 121 \text{ V}$. Das führt dazu, dass an dem Widerstand R_p nun mehr el. Energie in Wärme umgesetzt wird. Die restlichen Birnchen werden für einen Moment dunkler (circa halbe Betriebsspannung für nur ein Birnchen weniger).

Wenn es jetzt ein normaler Widerstand wäre, dann wäre nichts gewonnen. Aber es handelt sich um einen Heißleiter. Dessen Widerstand sinkt, wenn die Temperatur des Bauteils zunimmt. Dadurch kann mehr Strom fließen wodurch eine stärkere Erwärmung stattfindet. Das führt zu weiterem Absinken des Widerstandes. Der Regelprozess läuft so weit, bis durch weiteres Absinken des Widerstandes die am Widerstand abfallende Spannung die umgesetzte Energie so weit verringert, dass keine weitere Erwärmung mehr stattfinden kann. Es wird jetzt in diesem Gleichgewicht so viel Energie durch Wärmetransport abgeführt, wie elektrisch zugeführt wird.

Wenn dieses Gleichgewicht durch die Daten des Heißleiters so eingestellt ist, dass am Widerstand jetzt 23 V anliegen und $1,10 * 0,13 \text{ A}$ fließen kann der Widerstand die Glühlampe ersetzen. Die anderen Glühlampen leuchten nach kurzem Abdunkeln normal weiter. Der Widerstand muss eine Leistung von $3,3 \text{ W}$ verkraften.

