

Unterbrechungsfreie Stromversorgung für's Funkgerät im Auto

Ich bin eigentlich mit meinem Auto, einem SUV eines bekannten tschechischen Herstellers sehr zufrieden, Allrad kann halt doch nichts ersetzt werden. Aber leider führt das Starten des Motors zu einer Stromunterbrechung an der 12V Steckdose im Kofferraum. Natürlich ist mir bewusst, dass ich dort mein FTM-100DE, ein 50W-Gerät eigentlich nicht anschliessen sollte. Ich sollte eigentlich ein eigenes Kabel nach vorne in den Verteilerkasten im Motorraum ziehen, um dort die 12A für 50W im 70cm-Band abzugreifen. Aber ich verzichte auf die höchste Power-Stufe und begnüge mich mit 20W. Hier verletze ich bewusst die bekannte Regel „Leistung kann durch nichts ersetzt werden“, aber so kann ich die mit 10A abgesicherte Zigarettenanzünderbuchse im Kofferraum benutzen.

Ein Problem gibt es aber bei dieser Konfiguration, also dem Anschluss nicht direkt an der Batterie sondern an einem späteren Ast der Stromversorgung. Der Spannungsabfall, der durch den Strom vom Starter am Widerstand der Leitung hervorgerufen wird, führt dazu, dass nicht nur der Dieselmotor, sondern auch das Funkgerät neu startet. Das ist nicht nur unangenehm, sondern ich denke auch, dass es nicht unbedingt der Lebensdauer des Gerätes und auch der eingesteckten SD-Karte zuträglich ist.

Vor kurzem war ich beruflich in Graz und natürlich war ich dann auch beim Elektronikhändler meines Vertrauens. Und dort habe ich zufällig sehr günstige, sehr große Kapazitäten gesehen. Dazu auch duale Schottky-Dioden, beides dazu geeignet, meinem neuen Auto seine unangenehme Eigenschaft abzugewöhnen. Bild 1 zeigt den Stromlaufplan einer Schaltung, die diesen Zweck erfüllen soll. Der Kondensator C1 erhält die Energie gedämpft durch den Widerstand R1, speichert sie und gibt sie dann bei Bedarf ab. Die Dioden sorgen dafür, dass diese Energie gelenkt wird, also in die richtige Richtung fließt und sich nicht einfach überall hin ausgleicht. Wie genau möchte ich im Folgenden kurz beschreiben, wobei ich ein paar Formeln, die von den Kursunterlagen bekannt sind, anwende, um sicher zu stellen, dass die Schaltung so funktioniert wie gewünscht.

Der Kondensator mit seiner Kapazität von $10.000\mu\text{F}$ nimmt von der Batterie über den Widerstand Energie auf. Seine Klemmenspannung über die Zeit folgt dem Gesetz $u_c(t) = U_{\text{Batterie}} \times (1 - e^{-t/(R \times C)})$. In Bild 2 ist das zeitliche Verhalten dieses Ladevorganges skizziert. Die darin bestimmende Größe für die Schnelligkeit des Ladevorganges nennt man die sog. Zeitkonstante $\tau = R \times C$ und diese hängt von der Größe der Kapazität C und des Widerstandes

R ab. Nach $1 \times \tau$ ist erst 63,2% der Endspannung erreicht, nach $2 \times \tau$ sind 86,5% erreicht und nach $3 \times \tau$ schon 95%. Der Widerstand bestimmt also maßgeblich die Zeit, die der Kondensator benötigt, auf die 11.7V aufgeladen zu werden, um das Ausschalten des Funkgerätes zu verhindern. Also möglichst klein machen, um schnell zu sein? Nicht unbedingt, denn ein kleiner Widerstand bedeutet einen großen Strom. Der Strom ist zu Beginn des Ladevorganges am größten, da die Spannung am Kondensator noch 0V ist, liegen am Widerstand die vollen 12V der Batterie an. Will man die 10A Sicherung nicht zerstören, so muss man einen Widerstand von mindestens $R_{\text{min,Sicherung}} = 12\text{V}/10\text{A} = 1.2\Omega$ wählen. Eventuell ist die Zuleitung schon hochohmig genug, aber es ist zu viel Risiko, nicht zu wissen, ob die Sicherung das aushält. Also verwende ich einen Widerstand, wobei sich die Frage stellt, ob es ein Kohleschicht-, ein Metall- oder gar ein Leistungswiderstand sein soll? Antwort gibt der Zusammenhang $P = U^2/R$ für die Leistung, die im Widerstand abgebaut wird. Für 12V und die 1.2Ω gibt das eine Leistung von sage und schreibe $P = (12\text{V})^2/1.2\Omega = 120\text{W}$! Diese Leistung entsteht zwar nur kurz, aber ein Metallfilmwiderstand würde sicher abrauchen. Einen Lastwiderstand möchte ich dort auch nicht einbauen, das ist unnötiger Aufwand. Wenn man max. 1W

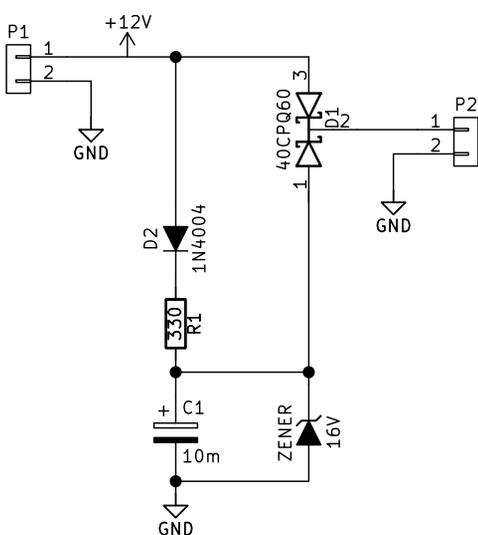


Bild1: Schaltung zur Unterdrückung Einbrüchen der Batterieversorgung

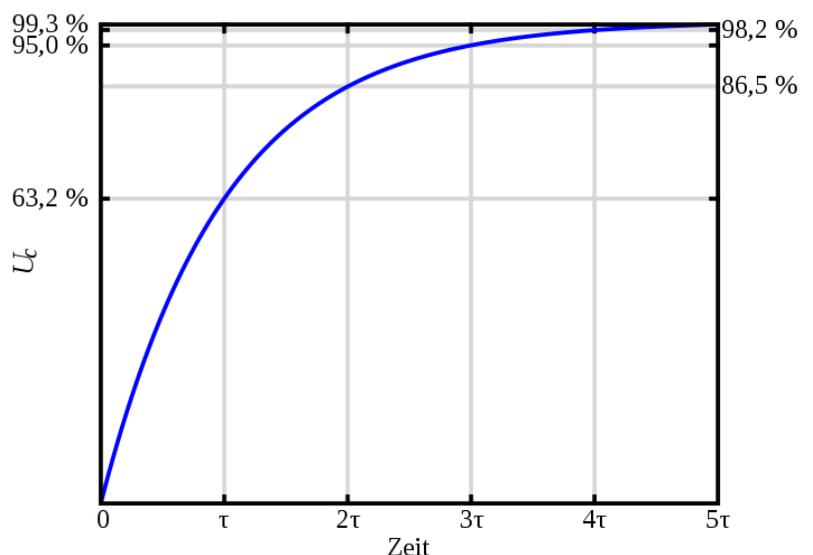


Bild 2: Einschwingverhalten der Spannung an einer Kapazität U_c in Abhängigkeit der Zeitkonstante $\tau = R \times C$

verbraten möchte, so muss der Widerstand mindestens $R_{\text{min,Leistung}} = U^2/P_{\text{Verlust}} = (12\text{V})^2/1\text{W} = 144\Omega$ groß sein. In meiner Ausführung habe ich sogar einen 330Ω Kohleschichtwiderstand gewählt, denn wie sich herausgestellt hat, muss ich meine Metallfilmwiderstandssortiment beim nächsten Besuch bei dem Grazer Händler wieder auffüllen. Die Leistung, die an diesem kurzzeitig verbraten wird, ist somit $P_{\text{Verlust}} = (12\text{V})^2/330\Omega = 440\text{mW}$. Das ist auch von der Wärmeabfuhr her kein Problem. Die Zeitkonstante wird nun aber mit der 10mF -Kapazität $\tau = 330\Omega \times 10\text{mF} = 3.3\text{s}$ relativ groß. Aber da diese Schaltung dauerhaft am Dauerplus angesteckt ist, ist das kein wirkliches Problem, diese Zeit muss man nur einmal direkt nach dem Einstecken abwarten. Mehr dazu später.

Die Dioden, die im Stromlaufplan zu sehen sind, haben schließlich die Aufgabe, die Richtung des Stromflusses und damit des Leistungsflusses zu kontrollieren. Der max. Strom zum Laden des Kondensators ist $I = U/R = 12\text{V}/330\Omega = 36\text{mA}$. Eine Standard-Diode würde das locker verkraften, aber z.B. eine 1N4001 hat lt. Datenblatt eine max. Spannungsfestigkeit im Rückwärtsbetrieb von max. 50V. Im meinem Fundus habe ich auch 1N4004, die mit 400V um einiges robuster ist, diese habe ich für D1 gewählt.

D2 ist die zweifach Schottky-Diode, die 40A aushält, also mehr als die Sicherung hergibt. Die 60V Spannungsfestigkeit ist gerade richtig für's Auto. Die Funktion dieser Dioden ist der eigentliche Kern der Schaltung. Die Beschaltung der beiden Dioden bewirkt, dass der Ausgang, also die gemeinsame Kathode mit dem höheren der beiden Eingänge verbunden ist. Ist noch keine Energie im Kondensator gespeichert, so ist die Batteriespannung die höhere und der Strom, den das Funkgerät aufnimmt, kommt aus der Autobatterie. Gleichzeitig wird mittels D1 auch der Kondensator aufgeladen. Im Normalbetrieb kann die Spannung am Kondensator niemals die Batteriespannung überschreiten, immerhin ist da die Flußspannung der Diode D1 dazwischen. Ist die an den Klemmen des Kondensators anliegende Spannung jedoch $>11.7\text{V}$ und bricht die Bordspannung unter diese ein, so bewirkt die doppelte Schottly-Diode, dass der Kondensator die Versorgung der an

dem Ausgang angeschlossenen Verbraucher übernimmt. Somit sieht das Funkgerät keinen Spannungseinbruch.

Prinzipiell kann man zwei gewöhnliche Dioden so verschalten, aber die verwendete Art der Dioden, die Schottky-Dioden haben zwei Eigenschaften, die für diese Betriebsart sehr günstig sind. Zum einen sind sie sehr schnell, d.h. man kann sie gut dafür verwenden, wenn sie rasch reagieren müssen oder hohe Frequenzen verarbeitet werden. Damit wird der Eingang des Funkgerätes vom Bordnetz rasch abgetrennt, wenn dessen Spannung geringer ist, als die im Kondensator gespeicherte. Die zweite Eigenschaft ist günstig für den normalen Betrieb. Der Strom, der vom Funkgerät aufgenommen wird, fließt nämlich immer durch eine der beiden Schottky-Dioden und der dort auftretende Spannungsabfall resultiert in einer Verlustleistung in der Diode. Schottky-Dioden zeichnen sich durch eine geringe Flußspannung an dem Halbleiter-Metall-Übergang von etwa 150mV aus. Ein Strom von 12A resultiert damit in lediglich in einem Verlust von $P_{\text{Verlust}} = U \times I = 150\text{mV} \times 12\text{A} = 1.8\text{W}$. D.h. die Wärmeabfuhr im Normalbetrieb ist kein Problem, ein Kühlkörper oder gar ein Ventilator ist nicht nötig und man kann das sogar in ein Kunststoffgehäuse verbauen. Würde man 2 normale Dioden verwenden, so ist die Funktion prinzipiell auch gegeben, lediglich die an der Flußspannung von ca. 700mV dann anfallenden 8.4W bedürften gewissenhafterer Kühlung.

Und schließlich schützt die Zener-Diode D3 den Kondensator vor Spannungen $>16\text{V}$. Wenn diese Spannung an den Klemmen von D3 überschritten wird, so steigt der Strom durch diese und dadurch durch den Widerstand sehr rasch an. Aber so groß wird der Strom auch nicht, R1 begrenzt diesen Strom. Liegt z.B. an den Batterie 60V an, so fällt am Widerstand $U_R = 48\text{V} - 16\text{V} = 32\text{V}$ ab, der Strom durch ihn ist $I_R = U/R = 32\text{V}/330\Omega \approx 100\text{mA}$ und die dort verbratene Leistung ist $P_{\text{Verlust}} = (U_R^2)/R = 1024\text{V}^2/330\Omega = 3.1\text{W}$. Das ist für den einfachen Kohleschichtwiderstand sehr viel, d.h. wenn eine solch hohe Spannung am Bordnetz länger anliegt, dann wird R1 wahrscheinlich abrauchen, aber dieses Risiko gehe ich ein. Im schlimmsten Fall wird die Versorgung des Funkgerätes nicht mehr über den Kondensator

gestützt. Wichtiger aber ist, dass der Kondensator mit seinem aggressiven Innenleben vor Überspannungen geschützt ist, weil der Widerstand quasi als Sicherung wirkt. Will man ganz sicher gehen, so kann man natürlich eine passende Sicherung an den Eingang der gesamten Schaltung schliessen.

Soweit zur Theorie, aber wie sieht's



Bild 3: „Fliegender“ Aufbau der Schaltung, noch ohne Zener-Diode und Gehäuse, aber schon voll funktionstüchtig

in der Praxis aus? In Bild 3 ist der fliegende Aufbau der Schaltung zu sehen. Im Autozubehörhandel habe ich dazu einen Y-Verzweiger gekauft. Einen Ast davon habe ich aufgetrennt und mittels Klemmen an die Elektroden des Kondensators geschraubt. An die Klemmen habe ich die Dioden und den Widerstand gelötet, wobei die Zener-Diode in der Abbildung nicht zu sehen ist, diese habe ich erst später hinzugefügt. Vorsicht ist bei der Rückseite der Schottky-Diode angebracht. Sie ist mit der gemeinsamen Kathode der beiden Dioden verbunden. Dort liegen also im Normalbetrieb die 12V des Bordnetzes an. Daher habe ich D2 verkehrt zum Kondensator montiert und die Rückseite mit Isolierband gegen dessen Gehäuse isoliert. Nach einem kurzen Check mit Labornetzgerät und Spannungsmesser auf Funktion kam das Ganze noch in ein Kunststoffgehäuse und ich schloss das in meinem Auto im Kofferraum an.

Nach dem Einschalten des Funkgerätes folgte der erste wirkliche Funktionstest – das Starten des Motors. Dort aber die große Enttäuschung – das Funkgerät startete auch neu. Also keinerlei Verbesserung der Situation, aber wenigstens die normale Funktion war ok. Was war passiert? Nichts Spezielles, lediglich die 330Ω stören. Die Zeitkonstante $\tau = 3.3\text{s}$ ist so groß, dass der Kondensator während der Zeit, die ich gebraucht habe, um vom Kofferraum in den Fahrgastraum zu gehen und dort das Funkgerät einzuschalten und den Motor zu starten, nicht auf die Spannung geladen

wurde, die das Funkgerät minimal benötigt. Nachdem mein erster Ärger verflohen war und ich den Sachverhalt durchdacht hatte, war **klar, dass es nur das war, das Schuld** ist. Beim zweiten Versuch nach ca. 20 Sekunden war dann das Verhalten wie gewünscht. Ein Starten des Motors ist am Funkgerät nicht zu bemerken, die Schaltung überbrückt den „Brown-Out“ wie gewünscht.

Eine kleine Einschränkung gibt es aber doch, dazu kurz zurück zur Theorie. Die 10mF Kapazität bedeutet eine gespeicherte Energie von $E_c = 1/2 \times C \times U^2 = 1/2 \times 10\text{mF} \times 144\text{V}^2 = 72\text{Ws}$. D.h. man könnte 1s lang 72W aus dem Kondensator entnehmen. Damit könnte man theoretisch sogar kurz senden, aber man kann leider nicht die gesamte gespeicherte Energie entnehmen, denn es sinkt ja auch die Klemmenspannung.

Aus der Betriebsanleitung ist zu entnehmen, dass die Stromaufnahme beim Empfang 500mA ist. Die für die Kapazität eines Kondensators bekannte Formel $Q = C \times U$ kann man mit der Beziehung für die elektrische Ladung $Q = I \times t$ umformen, sodass sich die Zeit ergibt, während der man

den Strom entnehmen kann, bis die Spannung um einen gegebenen Betrag abgefallen ist. So ergibt sich die Zeit, die bei der Entnahme von 500mA vergeht, bis die Spannung um 2V abgesunken ist zu $t_{\text{max}} = (C \times \Delta U) / I = (10\text{mF} \times 2\text{V}) / 500\text{mA} = 40\text{ms}$.

Der Spannungseinbruch beim Starten des Motors ist offensichtlich kürzer als diese errechnete Zeit. Beim Betrieb des Funkgerätes im APRS-Modus und Starten des Motors während eine APRS-Aussendung empfangen wird, startet das Funkgerät auch nicht neu. Und sogar beim Empfang eines Phönix-QSOs und gleichzeitigem Starten des Motors wird das Funkgerät nicht neu gestartet.

Natürlich habe ich beim Händler alle Bauteile in mindestens zweifacher Ausfertigung gekauft, auch um einfach einen zweiten Kondensator parallel zum ersten anzuschließen, falls die im Kondensator gespeicherte Leistung zu gering wäre. Bei dem bisherigen ca. 1-monatigen Testbetrieb hatte ich bisher nicht das Gefühl, dass das notwendig wäre, aber es wäre bei Bedarf ohne Problem möglich, obige Berechnungen



Bild 4 oben: Doppelte Zener-Diode mit gemeinsamer Kathode in der Mitte (links) und PN-Diode 1N4004 (rechts)



Bild 5 rechts: 10mF-Kondensator mit 16V Spannungsfestigkeit

müsste man halt mit $C=20.000\mu\text{F}$ wiederholen und gegebenenfalls den Widerstand anpassen.

Abschließend kann ich sagen, dass ich mit meinem letzten Besuch beim Händler in Graz sehr zufrieden war. Mit sehr wenig finanziellem Aufwand – das teuerste war das Y-Kabel vom Autohändler - und ein wenig Know-How durch eine handvoll einfacher Formeln konnte ich während eines Sonntagnachmittages meiner neuen Funkgerät/Auto Kombination ein unangenehmes Verhalten abgewöhnen.

73 de Christof OE8BCK

Diode ist nicht Diode

Es gibt verschiedene Bauformen von Dioden, die sich in wesentlichen Eigenschaften unterscheiden:

• PN-Diode

Das ist die klassische Form der Diode. Ein Halbleiter, z.B. Silizium oder Germanium wird mit Materialien gezielt so verunreinigt, dass ein sog. P- und ein N-dotiertes Gebiet mit Elektronenmangel bzw. -überschuss entsteht. Als Ergebnis kann nur dann Strom durch die Diode fließen, wenn das Potential am P-Gebiet größer ist als das am N-Gebiet, dazwischen also eine positive Spannung anliegt. Dadurch entsteht eine Art von Ventil, mit dem man z.B. Gleichrichter bauen kann. Charakteristisch ist, dass zwischen den Kontakten immer eine Spannung auftritt, die sog. Diffusionsspannung. Diese ist stark temperaturabhängig, sie ist bei Raumtemperatur ca. 700mV und sinkt mit ca. $-2\text{mV}/^\circ\text{C}$ zu höheren Temperaturen hin.

• Schottky-Diode

Bei Schottky-Dioden übernimmt ein Metall die Funktion eines der beiden dotierten Gebieten, es ist also z.B. lediglich eine N-Dotierung vorhanden. Diese Art von Dioden sind wesentlich schneller als die PN-Dioden und sie haben auch eine geringere Diffusionsspannung von ca. 400mV bei Raumtemperatur

• Zener-Diode oder Z-Diode

Wird eine Diode mit einer hohen negativen Spannung, also in Rückwärtsrichtung betrieben, so entsteht eine Art von Lawineneffekt. Durch die angelegte Spannung werden sehr schnelle, sehr energiereiche Elektronen erzeugt, die bei der Durchquerung des Halbleiters auf ruhende Elektronen stoßen und diese dadurch auch in Bewegung versetzen. Dieser Effekt ist bei Dioden meist unerwünscht und führt meist zur thermischen Zerstörung. Bei den sog. Z-Dioden wird

das aber bewusst ausgenutzt. Dieser Lawineneffekt setzt abhängig von der angelegten Spannung sehr abrupt ein und damit kann man zusammen mit einem ohmschen Widerstand Spannungsreferenzen realisieren.

Kennlinien verschiedener Z-Dioden:

