

1. Vorwort

Dieses Merkblatt soll helfen, die Funktionsweise einer elektronischen Last und bestimmter, unabdingbarer Gegebenheiten zu verstehen. Diese tiefergehenden Erläuterungen sind nicht im Standard-Handbuch des Gerätes enthalten, da sie dort den Rahmen sprengen würde. Für Anwender, die auf zunächst unerklärliches oder angeblich unlogisches Verhalten einer elektronischen Last stoßen soll dieses Dokument auch eine Hilfe zur Problemlösung darstellen, denn viele Probleme entstehen rein aus mangelnder Kenntnis der Zusammenhänge.

2. Fragen und Antworten

2.1 Was ist eine elektronische Last überhaupt?

Eine elektronische Last ist ein mit Transistoren simulierter, veränderlicher ohmscher Widerstand. Dabei sind üblicherweise Strom und Leistung einstellbar, die die Last aufnehmen soll, oft auch Spannung und Widerstand. Wenn eine DC-Spannungsquelle (Batterie, Netzgerät, Kondensator, Turbine) an eine elektronische Last angeschlossen wird, kann man entweder einen Laststrom einstellen und der Widerstand der Last verändert sich oder man stellt einen Widerstand ein und der Strom stellt sich nach dem ohmschen Gesetz ein. Leistungseinstellung ist eine übergeordnete Funktion, die anhand der anliegenden Spannung und nach der Formel $P = U \cdot I$ den Strom begrenzt, egal, was als Maximalstrom oder Widerstand vom Anwender eingestellt wurde. Der Anwender kann also Strom, Leistung und Widerstand einstellen. Daraus ergeben sich mehrere wichtige Erkenntnisse:

- Die Sollwerte bestimmen, in welcher sog. Regelungsart die Last arbeitet (CC, CP, CR, CV). Wird der eingestellte Strom erreicht, wechselt die Last in CC (Konstantstrom), wird die eingestellte Leistung erreicht, wechselt die Last in CP (Konstantleistung). Im Fall einer EL3000 oder EL9000 ist das Umschalten des „Mode“ mittels Wahlschalter nur eine Vorwahl des Sollwertes bzw. Freischaltung einer bestimmten Funktion (CV, CR). Man kann die Regelungsart mit der Auswahl nicht erzwingen.
- Es kann immer nur eine der vier Regelungsarten aktiv sein. CP hat die höchste Priorität, danach kommt CC und dann CR bzw. CV.
- CV (Konstantspannung) ist ein Sonderfall. Die speisende Spannungsquelle liefert eine bestimmte Spannung, die sie ihrerseits konstant hält oder zumindest versucht. Würde man den Spannungssollwert an der Last nun höher einstellen als den Wert der Spannungsquelle, würde kein Strom fließen. Würde man dagegen den Wert niedriger einstellen bzw. auf 0 setzen, würde die Last versuchen, die eingestellte Spannung zu erreichen. Das kann sie nur, indem sie die Spannungsquelle mit Strom so sehr belastet, daß diese ihre Spannung nicht halten kann und diese zusammenbricht bis auf den an der Last eingestellten Wert. Dieser würde dann konstant gehalten, solange die Spannungsquelle, die in diesem Augenblick zu einer Stromquelle wird, den Strom auch liefern kann. Eine Batterie würde sich mit der Zeit entladen, die Spannung der Batterie absinken bis unter den an der Last eingestellten Wert und dann fließt kein Strom mehr. Bei zu niedrigem eingestellten Spannungssollwert könnte die Batterie tiefentladen bzw. sogar zerstört werden.

2.2 Verhältnis Eingangsspannung zu Eingangsstrom

In einigen Situationen, wo die an der Last angelegte Spannung sehr gering ist, kann die Last nicht die volle Leistung bringen. Warum ist das so? In 2.1 wird beschrieben, daß eine elektronische Last mittels Transistoren einen ohmschen Widerstand simuliert. Dieser Widerstand kann technisch bedingt niemals 0 sein. Er ist sehr klein, jedoch auch nicht oder nur ungefähr bestimmbar. Daher ist bei wenig Eingangsspannung, z. B. 0,5V bei einem Modell für bis zu 80V und 2400W, die Last nach dem ohmschen Gesetz $R = U / I$ bzw. $I = U / R$ nicht in der Lage, bei dieser Spannung den vollen Strom zu „ziehen“. Es gibt daher für jedes Modell eine bestimmte Mindesteingangsspannung, ab der der volle Strom belastet werden könnte. Diese Mindesteingangsspannung ist für jedes Modell anders und kann einfach ermittelt werden, indem man an der Last den Strom auf Maximum stellt, eine veränderliche Spannungsquelle an den Eingang anlegt, die den Strom auch liefern kann und die Spannung der Spannungsquelle von 0V langsam hochdreht bis die Last den Maximalstrom zieht. Der dann an der Last angezeigte Eingangsspannungswert ist dann diese Mindestspannung.

Die Last arbeitet trotzdem bei Eingangsspannungen unter dieser Mindestspannung normal und zuverlässig, ist jedoch nur nicht in der Lage den vollen Strom zu ziehen bzw. einen bestimmten Widerstand einzustellen.

2.3 Widerstand in Abhängigkeit von U und I, Genauigkeiten

Alle Einstellwerte für Spannung, Strom, Leistung usw. sind nicht hundertprozentig genau. Das bedeutet, wenn man sie nachmessen würde mit entsprechend genauen Meßinstrumenten, würde man Abweichungen zwischen eingestelltem Wert, tatsächlich auf dem Meßinstrument gemessenem Wert und an der Last angezeigten Wert feststellen. Das liegt in der Natur der Dinge und nennt sich Genauigkeit (bzw. Ungenauigkeit) oder Toleranz oder auch Fehler. Istwerte, also von der Last gemessene und im Display angezeigte Werte sind immer fehlerbehaftet. Ebenso sind Sollwerte fehlerbehaftet, die der Anwender einstellt und die die Last verwendet, um einen Strom fließen zu lassen, aus dem sich Leistung und Widerstand ergeben. Was resultiert daraus? Bei Konstantstrombetrieb wirkt sich in erster Linie der Fehler des Stromes aus. Bei Konstantleistung wirken sich die Fehler der Spannung und des Stromes aus, sie multiplizieren sich auch nach der Formel $P = U \cdot I$.

Beim Widerstand ist das ähnlich, jedoch problematischer. Der Anwender stellt einen Widerstandswert ein, den die Last simulieren soll. Bei der angelegten Spannung muß daher ein bestimmter Strom fließen, den die Last mittels $I = U / R$ berechnet und stellt. Durch diese Division ergibt sich aber, daß...

- eine hohe Spannung und ein kleiner Widerstand auch einen hohen Strom bedingen würden, der rein rechnerisch den Maximalstrom der Last übersteigen könnte und die Last somit den gewünschten Widerstand nicht stellen kann
- eine kleine Spannung und ein hoher Widerstand rechnerisch vielleicht einen so kleinen Strom ergeben würden, den die Last zwar stellen könnte, der aber, bedingt durch seinen Fehler, so stark abweicht, daß der tatsächlich resultierende Widerstand sichtlich und stark vom eingestellten abweicht

Diese beiden Situationen können nicht umgangen werden. Was wäre also zu tun? Jedes Modell einer el. Last hat eine bestimmte Maximalspannung, Maximalstrom, Maximalleistung und einen Widerstandsbereich. Im Idealfall arbeitet der Anwender immer im mittleren Bereich für den Strom, die Spannung und den Widerstand.

2.4 Geschwindigkeit der Regelung

Eine elektronische Last hat intern einen Regelkreis aus analogen Bauelementen. Dieser ist, je nach Art der Schaltung, endlich schnell. Tritt eine Sollwertänderung auf, z. B. beim Strom, versucht der Regelkreis diese Änderung so schnell wie auszuregeln. Dabei wirken verschiedene Faktoren zusammen, wie z. B. die Eigenschaften der Spannungsquelle, die Innentemperatur, die Höhe der Sollwertänderung und eventuelle Störsignale. Man kann die Regelgeschwindigkeit daher nicht definieren, nicht auf einen bestimmten Wert festlegen.

2.5 Stromanstieg

Siehe auch 2.4. Die Geschwindigkeit der Regelung wirkt auch auf den Stromanstieg. Jedoch ist eine Last der Serie EL 9000 hier so schnell in der Regelung, daß der Strom innerhalb von Mikrosekunden von 0 auf 100% ansteigen kann und die Spannungsquelle dementsprechend belastet. Das kann, bei kapazitiven oder induktiven Spannungsquellen, zu Schwingungen führen, die nicht erwünscht sind. Regelschwingungen sind nicht untypisch und durch entsprechende, durch den Anwender anzubringende, Schwingungsdämpfung ganz oder teilweise unterdrückbar.

2.6 Laufzeiten

Laufzeiten von Signalen sind für bestimmte Anwendungen interessant. Bedingt durch den Aufbau der Geräte der Serien EL3000 und EL9000 sind die Laufzeiten nicht feststehend. Das heißt, die Reaktionszeit auf ein Signal, wie z. B. „Rem-SB“ von der analogen Schnittstelle, kann zwischen Zeit x und y schwanken. Das gilt prinzipiell für jeden einstellbaren Wert und jedes Steuersignal. Somit kann die Reaktions- oder Laufzeit nicht eindeutig bestimmt oder festgelegt werden.

2.7 Hysterese bei Abschaltung im Batterietest

Im Batterietestmodus gibt es die einstellbare Abschaltschwelle U_{low} . Diese dient zur automatischen Beendigung des Batterietests, wenn die Batteriespannung, die an der Last anliegt, diese Schwelle unterschreitet. Es kann jedoch sein, daß die Spannung der Spannungsquelle nicht so konstant ist, wie sie es idealerweise sein sollte, oder es sind Störungen vorhanden, die die Spannungsmessung der Last beeinflussen. Wenn die Spannung sich dann der Abschaltschwelle nähert, schwankt und die Schwelle kurz unterschreitet, würde die Last daraufhin sofort den Test beenden. In den meisten Fällen ist dies nicht erwünscht. Die Last testet daher bei Unterschreitung der eingestellten Abschaltschwelle 5 Sekunden lang ob die Spannung unter der Schwelle bleibt. Bleibt sie es, wird der Test beendet. Bleibt sie es nicht und überschreitet die Schwelle wieder, wird der 5-Sekunden-Test bei der nächsten Unterschreitung wiederholt. Das Ganze stellt eine Hysterese dar. Diese Zeit ist nicht einstellbar. Während der 5 Sekunden wird natürlich weiterhin Strom aus der Batterie entnommen, der die Batterie entlädt und die Batteriespannung absenkt. Daher eignet sich der Batterietest nicht für Batterien, die durch den eingestellten Strom zu schnell entladen werden und die gegen eine zu niedrige Batteriespannung sehr empfindlich sind. Vorzugsweise eignen sich hier Bleibatterien mit großen Kapazitäten, die recht träge sind und wenig empfindlich.