

White Paper No. 5

Spulen treiben

Einleitung

In vielen Bereichen der Forschung und Entwicklung sowie in der industriellen Mess- und Prüftechnik werden Magnetfelder benötigt. In der Regel kommen Spulen verschiedenster Ausführungen und Bauformen mit fester Induktivität für diese Aufgaben zum Einsatz. Als ein Beispiel sei die Helmholtz-Spule genannt, die in diversen EMV relevanten Normen anzutreffen ist.

Die **HUBERT** Verstärkerfamilie ist die „treibende“ Kraft für den Aufbau eines magnetischen Feldes. Sie liefert den nötigen Spulenstrom.

Vor dem Betrieb mit Wechselstrom ist es hilfreich einige Zusammenhänge von Strom und Spannung an dieser Verstärker-Last zu verdeutlichen. Dies ist das Thema der folgenden Kapitel.

Wechselstromverhalten

Die ideale Spule mit ihrer Induktivität L ist im Wechselstromkreis ein induktiver Blindwiderstand X_L , eine Reaktanz. Seine Impedanz steigt mit zunehmender Frequenz und der sinusförmige Strom eilt der Spulenspannung um 90° nach.

$$X_L = 2\pi * f * L$$

Die reale Spule ist jedoch verlustbehaftet, welches sich durch eine Reihenschaltung mit einem Wirkwiderstand R_L darstellen lässt. Der Scheinwiderstand Z_L der realen Spule errechnet sich dann aus:

$$|Z_L| = \sqrt{R_L^2 + X_L^2}$$

für den Phasenwinkel zwischen Strom und Spannung folgt:

$$\phi = \arctan(X_L / R_L)$$

In der Abbildung 1 ist beispielhaft der Scheinwiderstand und Phasenverlauf der **HUBERT** Feldspule RL120 (geeignet für Prüfungen nach MIL-STD-461) im Frequenzbereich von 10 Hz – 200 kHz dargestellt.

Ihre wichtigsten elektrischen Daten sind:

DC-Widerstand: 40 mOhm ; Induktivität: 86 uH; Nennstrom: 16 A

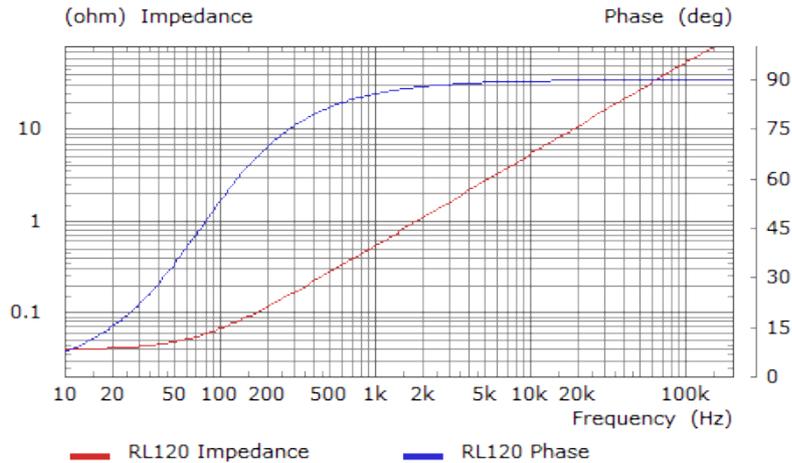


Abbildung 1: Impedance and Phase Response RL120

Verstärker mit Spule

Welche Konsequenzen ergeben sich nun für den Betrieb eines Leistungsverstärker an einer reaktiven Last? Am Beispiel eines HUBERT 4-Quadrantenverstärkers A1110-16-E und der Spule RL120 wird im Folgenden das Zusammenspiel erläutert.

Das Ziel: maximaler Strom ($I_{out} = 27 A_p$) durch die Spule im Frequenzbereich von 10 Hz – 150 kHz. Da, wie vorab erläutert, die Last frequenzabhängig ist, muss der Pegel der Eingangsspannung bei einem Spannungsverstärker für einen konstanten Ausgangsstrom entsprechend nachgeregelt werden.

Der Stromverstärker bietet eine weitere Möglichkeit der Ansteuerung (siehe auch White Paper No.2: Spannung oder Strom verstärken?).

Für die folgenden Betrachtungen werden die Verluste in den Kabelzuführungen und Steckverbindern der Einfachheit halber vernachlässigt.

1. Etappe

Bei einer Frequenz von 10 Hz ist der induktive Anteil des Scheinwiderstandes sehr gering.

$$|Z_L| = \sqrt{R_L^2 + X_L^2} \sim 40 m\Omega$$

Für den Verstärker ist diese Last quasi ein „Kurzschluss“ und es ist daher im Sinne der Verlustleitung die kleine Betriebsspannung zu wählen. Damit lässt sich eine maximale Ausgangsspannung von $U_{out_max} = 25 V_p$ bei $I_{out} = 27 A_p$ erzielen. Daraus ergibt sich der maximale Scheinwiderstand $Z_{L_max} = 0,926 \Omega$, der bei ca. 1,7 kHz (Abbildung 1) erreicht ist.
 Zeit zum Umschalten.

2. Etappe

Ab einer Frequenz von 1,7 kHz wird auf die mittlere Betriebsspannung umgeschaltet. In dieser Etappe ist $U_{out_max} = 50\text{ V}_p$ bei $I_{out} = 27\text{ A}_p$ und somit $Z_{L_max} = 1,85\text{ Ohm}$. Bei einer Frequenz von ca. 3,4 kHz ist das Etappenziel erreicht.

Bei der Gelegenheit: ein Blick auf die Arbeitsleistung des Verstärkers.

Die Abbildung 2 zeigt die zeitlichen Verläufe der Ausgangsgrößen Spannung und Strom bei einer Signalfrequenz von 3,4 kHz und mittlerer Betriebsspannung. Der nacheilende Strom stellt hohe Anforderungen an den Verstärker bezüglich seiner Fähigkeit als Quelle und Senke zu arbeiten. Bei einer Ausgangsspannung von $U_{out} = 0\text{ V}$ fließt der maximale Strom in die Spule und erzeugt im Verstärker eine hohe Verlustleistung (hier: Betriebsspannung * Ausgangsstrom; siehe auch White Paper No.1 [HUBERT Leistungsverstärker](#)).

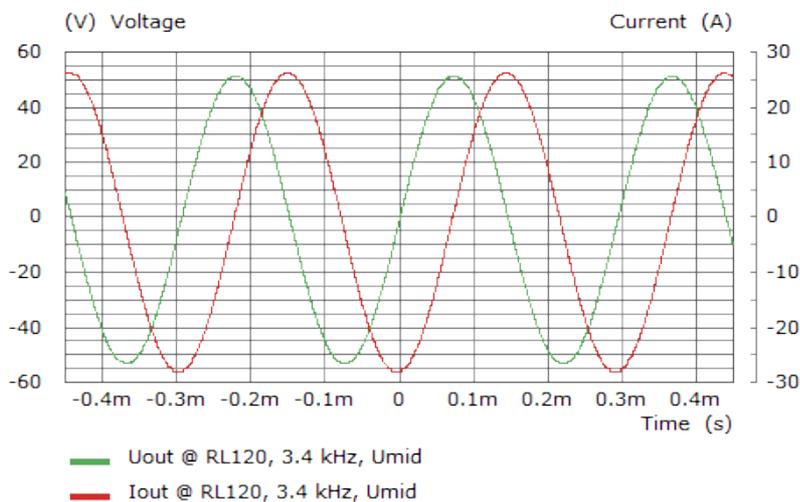


Abbildung 2: A1110-16-E Output Voltage and Current

3. Etappe

Für den Schlusspurt wird ab 3,4 kHz die hohe Betriebsspannung mit einem $U_{out_max} = 75\text{ V}_p$ gewählt. Nun ist nicht wie vorab nur der Strom der begrenzend Part, sondern ergänzend die größtmögliche Ausgangsspannung. Bei 150 kHz beträgt der Scheinwiderstand

$$|Z_L| = \sqrt{R_L^2 + X_L^2} \sim 81\text{ Ohm}$$

und mit $U_{out_max} = 75\text{ V}_p$ ergibt sich nur noch ein maximaler Ausgangsstrom von $I_{out} = 0,926\text{ A}_p$.

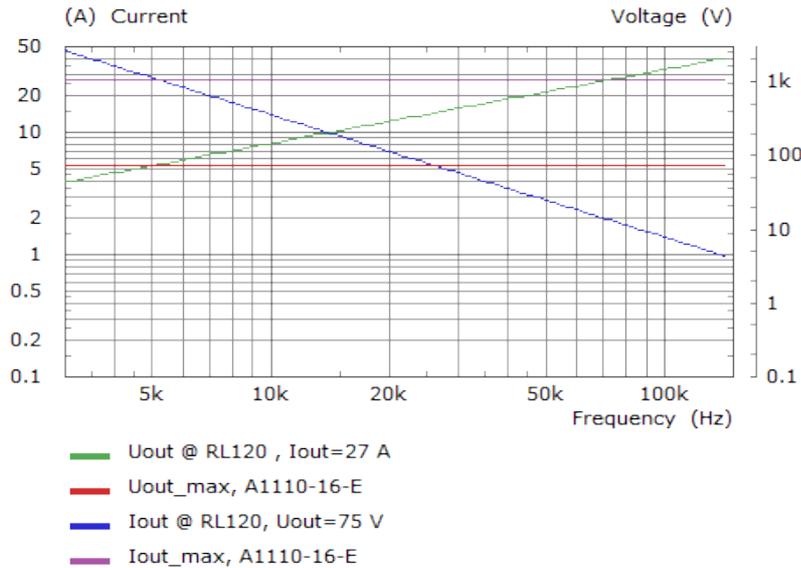


Abbildung 3: A1110-16-E Output Voltage and Current @ RL120 over Frequency

Die Abbildung 3 veranschaulicht die Zusammenhänge bezüglich der erforderlichen und möglichen Ausgangsgrößen des Leistungsverstärkers im Frequenzbereich von 3 kHz -150 kHz. Ab ca. 4,9 kHz reicht die maximale Ausgangsspannung für den gewünschten Strom nicht aus, der Strom fällt mit steigender Frequenz.

Zusammenfassung und Ausblick

Eine Spule bietet einem Leistungsverstärker, als komplexe Last die ganze Bandbreite von einem „Quasi“-Kurzschluss bis im Extremfall zum „Quasi“-Leerlauf. Mit steigender Frequenz steigt die benötigte Ausgangsspannung für einen konstanten Strom. Die fast 90° Phasenverschiebung zwischen Spannung und Strom müssen bei der Auswahl des benötigten Verstärkers berücksichtigt werden.

Eine höhere Ausgangsspannung lässt sich realisieren durch:

- eine Reihenschaltung mehrerer Verstärker
- den Aufbau von Serienresonanzkreisen

Fragen Sie uns - wir kümmern uns gerne um eine Lösung für Ihre Applikation!



Dr. Hubert GmbH
 Universitätsstraße 142
 44799 BOCHUM
 GERMANY
 Tel. +49 234 970569-0
 Fax. +49 234 970569-29
 sales@drhubert.de
 www.drhubert.de