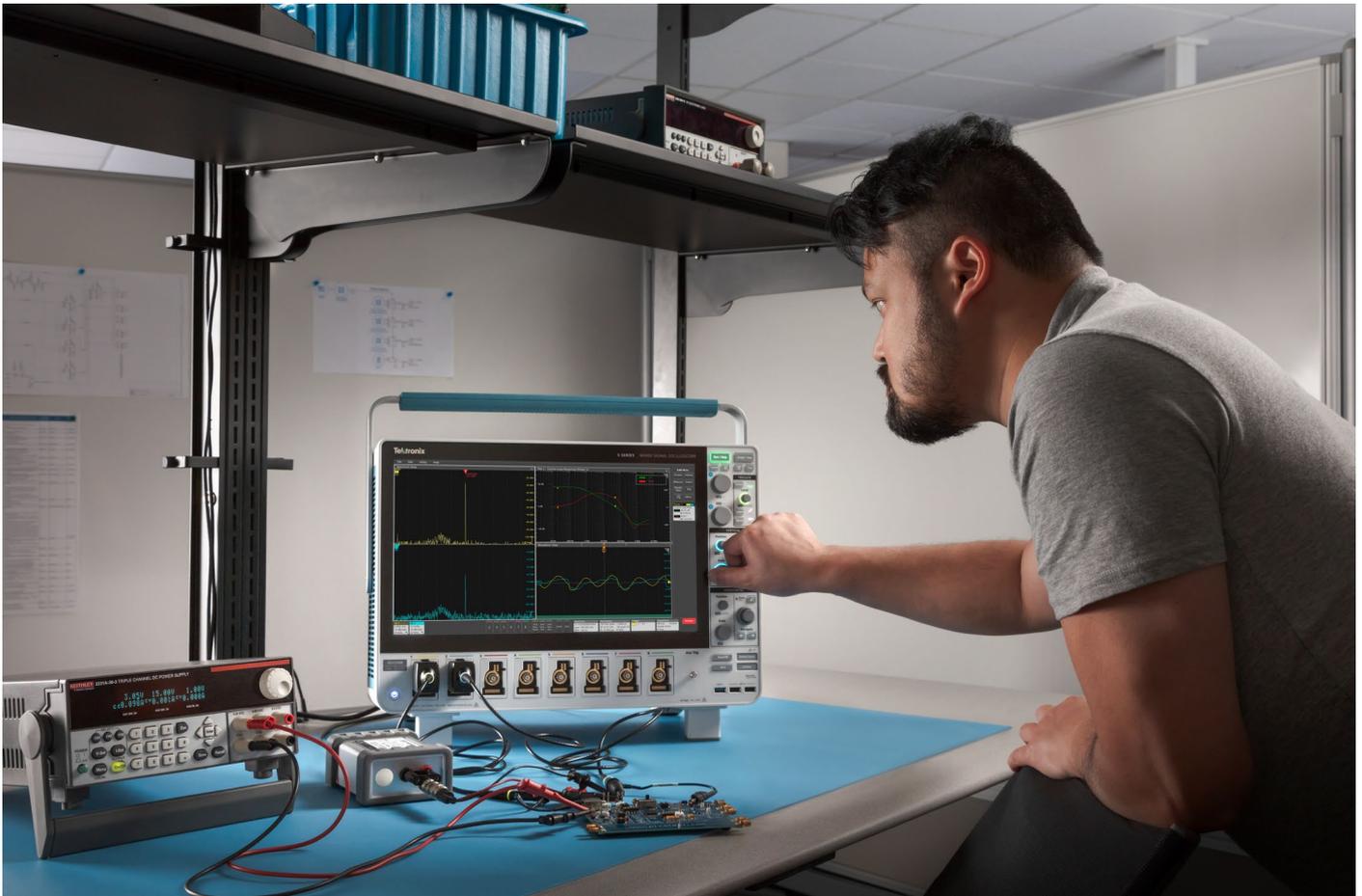


Messung des Regelkreisverhaltens eines Netzgeräts

EINFÜHRUNG IN DIE FREQUENZGANGANALYSE

Von Lee Morgan, Tektronix



Obwohl die Analyse des Frequenzgangs mit speziellen Geräten durchgeführt werden kann, können neuere Oszilloskope zur Messung des Frequenzgangs eines Stromversorgungsregelkreises verwendet werden. Mit Hilfe eines Oszilloskops, einer Signalquelle und einer Automatisierungssoftware können Messungen schnell durchgeführt und in Form der bekannten Bode-Diagramme dargestellt werden, was die Bewertung von Spielräumen und den Vergleich der Schaltungsleistung mit Modellen erleichtert. Ein Bode-Diagramm bildet den Frequenzgang des Systems durch zwei Diagramme ab - ein Betragsdiagramm und ein Phasendiagramm (Phasenverschiebung in Grad). Anhand dieser Diagramme können Verstärkungsspannen und Phasenspannen bestimmt werden, um die Stabilität der Stromversorgung zu beurteilen.

Einführung in die Frequenzganganalyse

Der Frequenzgang eines Systems ist eine frequenzabhängige Funktion, die ausdrückt, wie ein Referenzsignal (in der Regel ein sinusförmiges Signal) einer bestimmten Frequenz am Systemeingang (Anregung) durch das System übertragen wird.

In Abbildung 1 ist ein verallgemeinerter Regelkreis dargestellt, bei dem eine Sinuswelle $a(t)$ an ein System mit der Übertragungsfunktion $G(s)$ angelegt wird. Nachdem die durch die Anfangsbedingungen festgelegten Einschwingvorgänge abgeklungen sind, wird das Ausgangssignal $b(t)$ zu einer Sinuswelle, jedoch mit einem anderen Betrag B und einer anderen relativen Phase ω . Der Betrag und die Phase des Ausgangssignals $b(t)$ sind mit der Übertragungsfunktion $G(s)$ bei der Frequenz (Ω rad/s) der Eingangssinuswelle verbunden. Der Rückkopplungskoeffizient "k" bestimmt, wie das Eingangssignal auf der Grundlage der Lasten am Ausgang konditioniert wird.

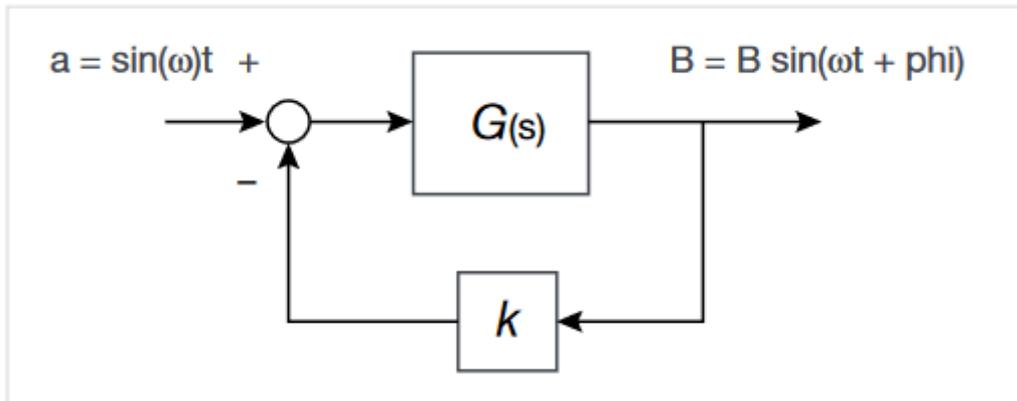


Abbildung 1. Ein verallgemeinerter Regelkreis mit der Übertragungsfunktion $G(s)$.

Um das Systemverhalten zu verstehen, wird das sinusförmige Eingangssignal über einen Frequenzbereich mit unterschiedlicher Amplitude durchlaufen. Dies hilft, die Verstärkung und Phasenverschiebung des Regelkreises über einen Frequenzbereich darzustellen und liefert wertvolle Informationen über die Geschwindigkeit des Regelkreises und die Stabilität der Stromversorgung. Durch sequenzielles Messen von Verstärkung und Phase bei verschiedenen Frequenzen kann ein Diagramm von Verstärkung und Phase in Abhängigkeit von der Frequenz aufgezeichnet werden. Durch die Verwendung logarithmischer Frequenzskalen können die Diagramme sehr große Frequenzbereiche abdecken. Diese Diagramme werden oft als Bode-Diagramme bezeichnet, da sie bei der Entwicklung von Steuerungssystemen verwendet werden, die von Hendrik Wade Bode entwickelt wurden. Bode selbst sagte 1940 in seinem Artikel im Bell System Technical Journal, "Relations Between Attenuation and Phase in Feedback Amplifier Design":

Bei der Entwicklung von Stromversorgungen helfen Regelkreismessungen dabei zu charakterisieren, wie eine Stromversorgung auf Änderungen der Ausgangslastbedingungen, der Eingangsspannung, der Temperatur usw. reagiert. Ein ideales Netzteil muss schnell reagieren und eine konstante Ausgangsleistung beibehalten, jedoch ohne übermäßiges Überschwingen oder oszillieren. Dies wird in der Regel durch die Steuerung des schnellen Umschaltens von Komponenten (in der Regel ein MOSFET) zwischen der Versorgung und der Last erreicht. Je länger der Schalter im Vergleich zur Ausschaltzeit eingeschaltet ist, desto höher ist die an die Last abgegebene Leistung.

Eine instabile Stromversorgung oder ein instabiler Regler kann oszillieren, was zu einer sehr großen scheinbaren Restwelligkeit bei der Bandbreite des Regelkreises führt. Diese Oszillation kann auch EMI-Probleme verursachen.



Oszilloskop-Messungen mit automatischer Frequenzganganalyse

Indem wir die tatsächliche Verstärkung und Phase der Schaltung über einen Frequenzbereich hinweg messen, können wir mehr Vertrauen in die Stabilität des Entwurfs gewinnen, im Vergleich dazu, wenn man sich nur auf die Simulation verlassen.

Für die Messung des Ansprechverhaltens eines Regelkreises muss der Benutzer einen Impuls über einen bestimmten Frequenzbereich in den Rückkopplungspfad des Regelkreises einspeisen. Mit Hilfe eines Oszilloskops, einer Signalquelle und einer Automatisierungssoftware können Messungen schnell durchgeführt und in Form der bekannten Bode-Diagramme dargestellt werden, was die Bewertung von Spielräumen und den Vergleich der Schaltungsleistung mit Modellen erleichtert.

TESTAUFBAU FÜR MESSUNGEN DES REGELKREISVERHALTENS

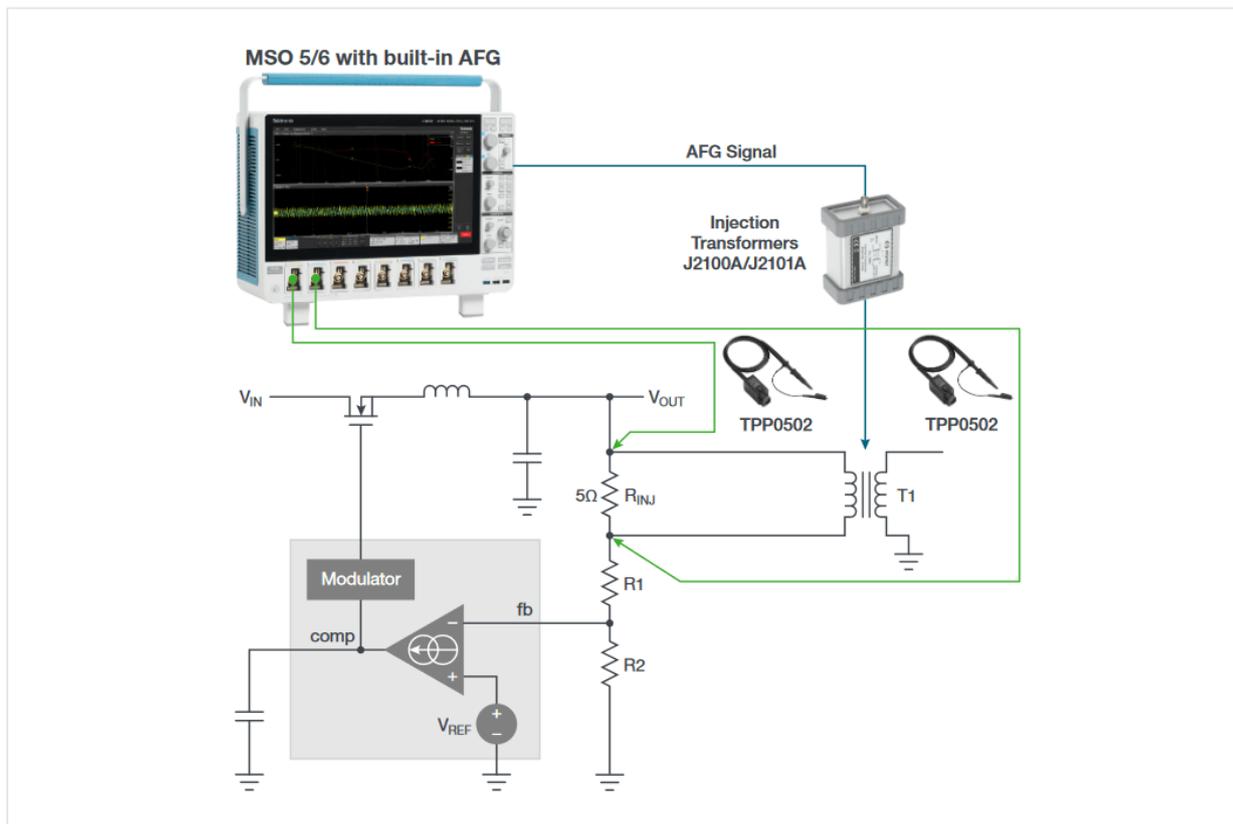


Abbildung 2. Ein auf einem Oszilloskop basierendes System zur Messung des Regelkreisverhaltens umfasst eine Messsoftware, einen Funktionsgenerator (in das obige Oszilloskop eingebaut), einen Injektions-/Isolationstransformator, einen Injektionswiderstand und zwei passive Tastköpfe mit geringer Dämpfung.

Moderne Oszilloskope können mit Advanced Power Measurement und Analysesoftware ausgestattet werden. Diese Anwendungssoftware umfasst mehrere Frequenzgangmessungen, darunter:

- Ansprechverhalten des Regelkreises
- Betriebsspannungsunterdrückung (engl. kurz PSRR)
- Impedanz

Zur Ermittlung der Regelkreismessungen führt die Analysesoftware die folgenden wichtigen Funktionen aus:

- Steuert den Funktionsgenerator
- Berechnet und stellt die Verstärkung ($20 \log V_{OUT}/V_{IN}$) basierend auf den beiden Spannungseingängen dar, wobei V_{IN} die Stimulationsspannung des Funktionsgenerators ist
- Berechnung und Darstellung der Phasenverschiebung zwischen V_{IN} und V_{OUT} auf der Grundlage der beiden Spannungseingänge
- Berechnung der Verstärkung und der Phasenspanne

Zwei Tastköpfe, die über einen niederohmigen Injektionswiderstand angeschlossen sind, liefern alle Informationen, die die Analysesoftware benötigt. Sie misst die Amplituden von Impuls und Reaktion zur Berechnung der Verstärkung und misst die Phasenverzögerung zwischen Impuls und Reaktion.

Um die Reaktion eines Stromversorgungssystems zu messen, muss ein bekanntes Signal in die Rückkopplungsschleife eingespeist werden. Mehrere Oszilloskope von Tektronix bieten eingebaute Signalquellen, die zur Einspeisung eines Signals in die Rückkopplungsschleife über einen Isolationstransformator verwendet werden können. In diesem Beispiel wird der Arbiträr-/Funktionsgenerator verwendet, um Sinuswellen über einen bestimmten Frequenzbereich zu erzeugen. Der DC/DC-Wandler oder LDO muss mit einem kleinen (5-10 Ω) Einspeisewiderstand/Abschlusswiderstand in seiner Rückkopplungsschleife konfiguriert werden, damit ein Störsignal vom Funktionsgenerator in die Schleife eingespeist werden kann. Um eine Übersteuerung des Regelkreises zu vermeiden, muss die Amplitude des Injektionssignals niedrig gehalten werden.

Ein Einspeisetransformator mit einem flachen Ansprechverhalten über eine große Bandbreite wird über den Einspeisewiderstand geschaltet und isoliert die geerdete Signalquelle von der Stromversorgung. Die Wahl des Injektionsübertragers hängt von den interessierenden Frequenzen ab.

Für die Spannungsmessungen werden passive Tastköpfe mit niedriger Kapazität und geringer Dämpfung empfohlen, z. B. der TPP0502. Eine geringe Dämpfung des Tastkopfes ermöglicht eine gute Empfindlichkeit. Die 2-fache Dämpfung des TPP0502 ermöglicht Messungen mit einer vertikalen Empfindlichkeit von 500 $\mu\text{V}/\text{div}$ beim MSO der Serie 6 und 1 mV/div beim MSO der Serie 4 oder 5. Die geringe Kapazität von 12,7 pF minimiert die Auswirkungen der Tastkopfbelastung.



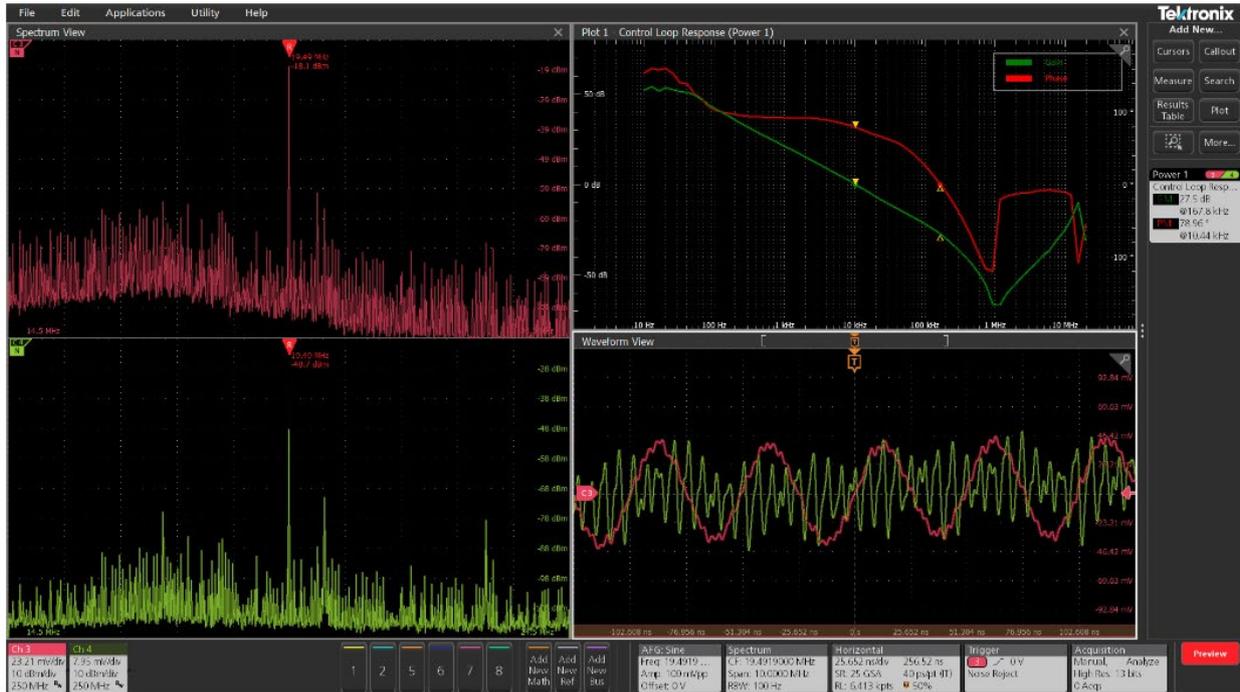


Abbildung 3. Bode-Plot (oben rechts) mit einem Sweep-Bereich von 10 Hz bis 20 MHz. Die Fenster von Spectrum View befinden sich auf der linken Seite. Diese Messungen wurden mit einem MSO der Serie 5 durchgeführt.

Zusammenfassung

Die meisten Stromversorgungen und Spannungsregler sind im Wesentlichen Verstärker mit einer geschlossenen Rückkopplungsschleife. Mit Hilfe von Regelkreismessungen kann sichergestellt werden, dass ein Stromversorgungsdesign auf Änderungen der Ausgangslastbedingungen ohne großes Überschwingen oder Oszillieren reagiert.

Mit Hilfe eines Oszilloskops, einer Signalquelle und automatisierter Software können Messungen schnell durchgeführt und in Form der bekannten Bode-Diagramme dargestellt werden, was die Bewertung von Spielräumen und den Vergleich der Schaltungsleistung mit Modellen erleichtert.



Autor: Lee Morgan – Senior EMEA Technical Marketing Manager



Lee Morgan ist EMEA Senior Technical Marketing Manager und hat sich auf die Bereiche Embedded, Power und Automotive spezialisiert. Mit mehr als 20 Jahren Erfahrung in der Test- und Messbranche, in denen er eine Vielzahl von Funktionen in der Mobilfunk-, Elektronik- und Energiebranche innehatte, verfügt Lee Morgan über umfangreiches Wissen und tiefe Einblicke in die Art und Weise, wie moderne Test- und Messlösungen die Ingenieure von heute bei der Entwicklung der Produkte von morgen unterstützen können.

Zuerst veröffentlicht von [all-electronics.de](https://www.all-electronics.de) am 26.05.2023