Verstehen und richtig interpretieren:

Bandbreite-Angaben bei schnellen Operationsverstärkern (Teil 2)

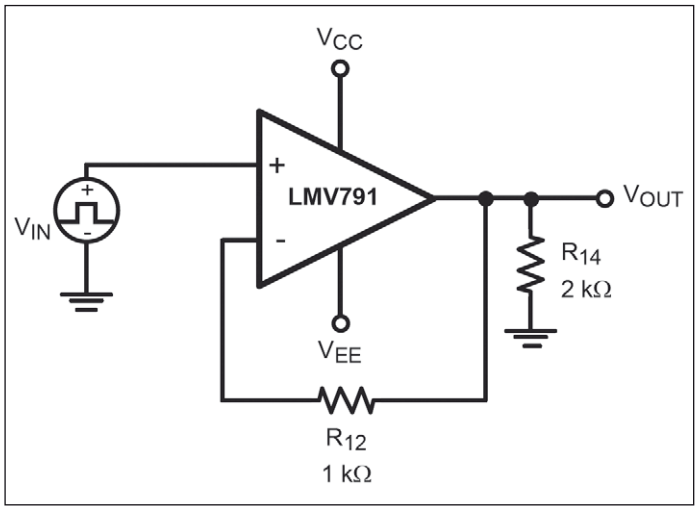

Bild 12: Mögliche PSpice-Testschaltung zur Ermittlung der Slew Rate [1]

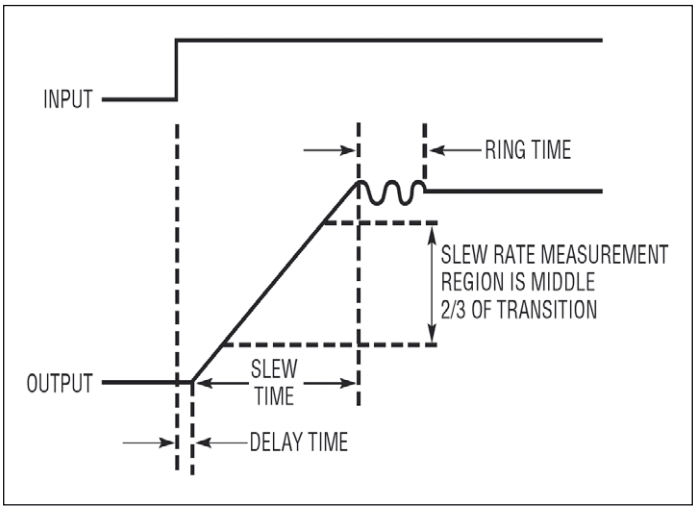

Bild 13: Zum Test der Slew Rate mittels Pulsgenerator gehören Verzögerung (Delay), Anstiegs- und Überschwing-/Klingel-Zeiten (Slew and Ring Times). Die Slew Rate wird typisch innerhalb des eingezeichneten Bereichs von 2/3 der Slew Time gemessen

Unter Bandbreite versteht man im Allgemeinen den Übertragungsbereich, in welchem das Signal gegenüber dem Maximalwert um 3 dB gedämpft wird. Bei Operationsverstärkern (und Verstärkern allgemein) ist es mit dieser Definition aber noch nicht getan. Zwar gibt es hier im Prinzip keine untere -3-dB-Grenzfrequenz, doch sind Nebenbedingungen zu beachten, die zu verschiedenen Bandbreite-Angaben führen. Vernachlässigt man die Nebenbedingungen, kann man die Bandbreite-Angaben nicht richtig interpretieren.

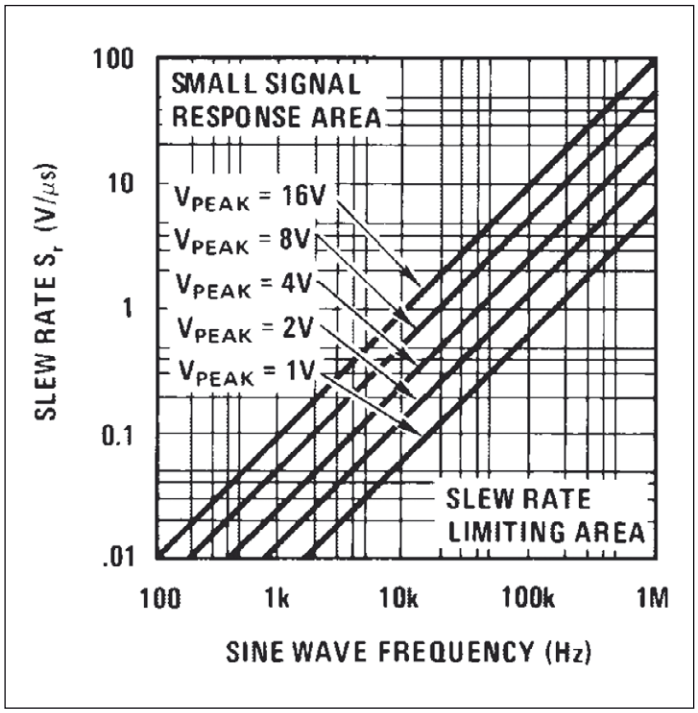

Bild 14: Zusammenhang zwischen Slew Rate und Großsignal-Bandbreite mit der Spitzenspannung als Parameter [10]

Grundsätzlich unterscheiden muss man zwischen Kleinsignal- und Großsignal-Bandbreite, die durch die Anstiegsgeschwindigkeit der Ausgangsspannung (Slew Rate) des Op Amps bestimmt wird.

Slew Rate und Bandbreite

Die Slew Rate kennzeichnet die maximal mögliche zeitliche Spannungsänderung (Steilheit) der Spannung am Operationsverstärkerausgang. Die Slew Rate wird in V/µs angegeben und liegt bei Highspeed-Operationsverstärkern zwischen 50 V/µs und 5000 V/µs.

Während das Verstärkungs-Bandbreite-Produkt bei kleinen Signalamplituden die obere Grenzfrequenz bestimmt, wird das Signal bei größeren Amplituden zusätzlich durch die Slew Rate begrenzt. Insbesondere bei Signalen mit sehr steile Flanken (wie Rechtecksignalen) ist die Slew Rate oft das wichtigere Auswahlkriterium.

Die Slew Rate wird für gewöhnlich durch das Verhältnis von Tail-Strom und Kompensationskapazität festgelegt. Da stets die Beziehung

$$I\,dt = C\,dU$$

bekannt ist, lässt sich für eine Simulation beispielsweise einfach die Slew-Rate-Testschaltung nach Bild 12 benutzen. [9] informiert umfassend zur Slew-Rate-Verifizierung auf dem Labortisch mit einem Pulsgenerator. Bild 13 informiert zur Auswertung des One-Shoot-Oszillogramms.

Die Großsignal-Bandbreite B lässt sich bei gegebener Slew Rate (SR) und bekanntem Wert der Spitze-Spitze-Sinus-Ausgangsspannung $U_{a\,SS}$ leicht berechnen:

$$B = 0{,}16 \times SR/U_{a\,SS}$$

Man spricht von Full Power Bandwidth (FPBW), Large Signal Bandwidth oder Large Signal Response [10]. Eigent-

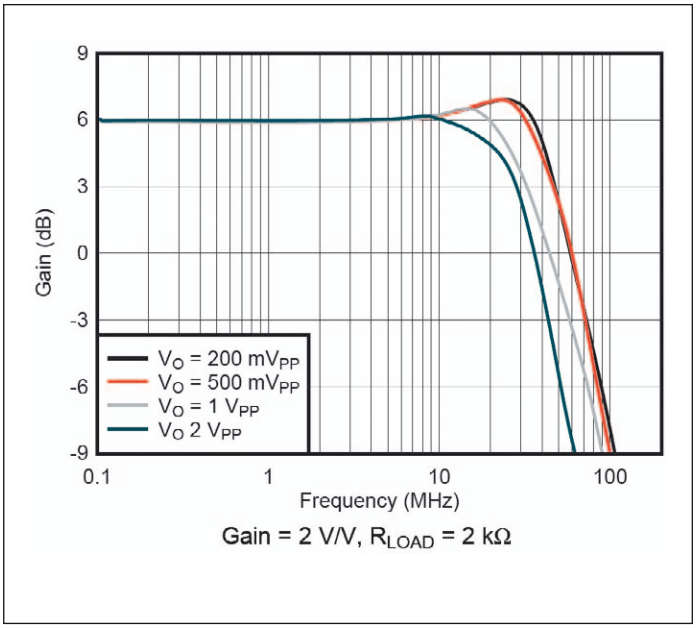

Bild 15: Großsignal-Frequenzverhalten des OPA837 in nichtinvertierender Grundschaltung [5]

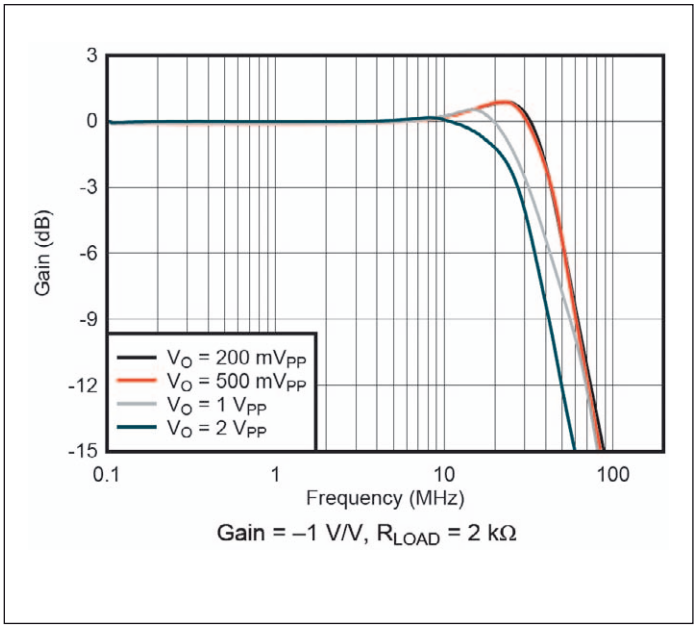

Bild 16: Großsignal-Frequenzverhalten des OPA837 in invertierender Grundschaltung [5]

lich handelt es sich um eine maximale Frequenz. Bis zu dieser bleibt das Signal völlig unverzerrt.

Bild 14 zeigt den Zusammenhang zwischen SR und B mit der Spitzenspannung als Parameter. Demnach gibt es zwei Bereiche, eine Area für kleine Signale und eine von der Slew Rate bestimmte Area.

Die Großsignal-Bandbreite in der Praxis

Ein Hinweis auf die Abhängigkeit der Großsignal-Bandbreite von der Grundschaltung in der Literatur ist dem Autor nicht bekannt. Dabei scheint hier eine ebensolche Abhängigkeit zu bestehen wie bei der Kleinsignal-Bandbreite, wie die Bilder 15 und 16 vermuten lassen. Obige Formeln und etwa der Netz-Rechner [11] gelten also nur für die nichtinvertierende Grundschaltung.

Zur FPBW des MCP601, eines CMOS-Operationsverstärkers, informiert Bild 17. Dieser Verlauf ist im Prinzip exemplarisch.

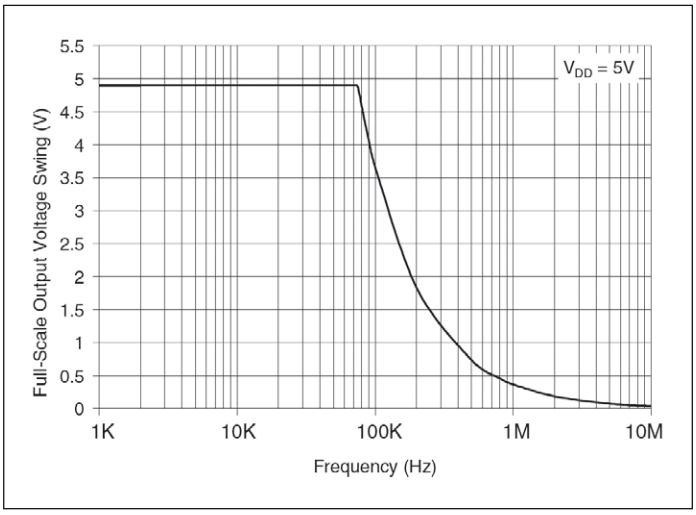

Bild 17: Aussteuerbarkeit des MCP601 über der Frequenz [13]

Ähnlich wie die Kleinsignal-Bandbreite ist auch die Slew Rate und somit die Großsignal-Bandbreite von verschiedenen Faktoren abhängig:

- Betriebsspannung
- Lastkapazität
- Umgebungstemperatur
- Werte der Gegenkopplungswiderstände
- Grundschaltung
- Eingangspegel

Dass diese Einflüsse beträchtlich sein können, illustrieren Bild 18, 19 und 20.

FS

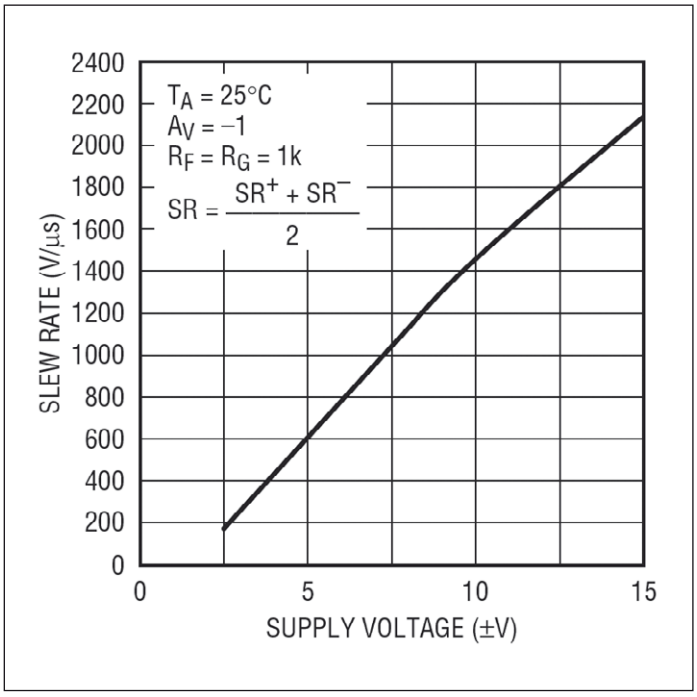

Bild 18: Abhängigkeit der Slew Rate des LT 1363 von der Betriebsspannung

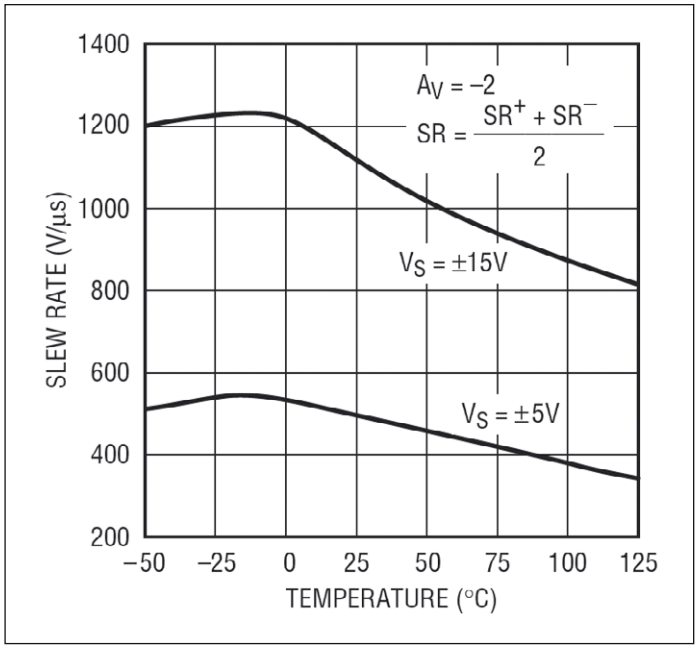

Bild 19: Abhängigkeit der Slew Rate des LT 1363 von der Temperatur

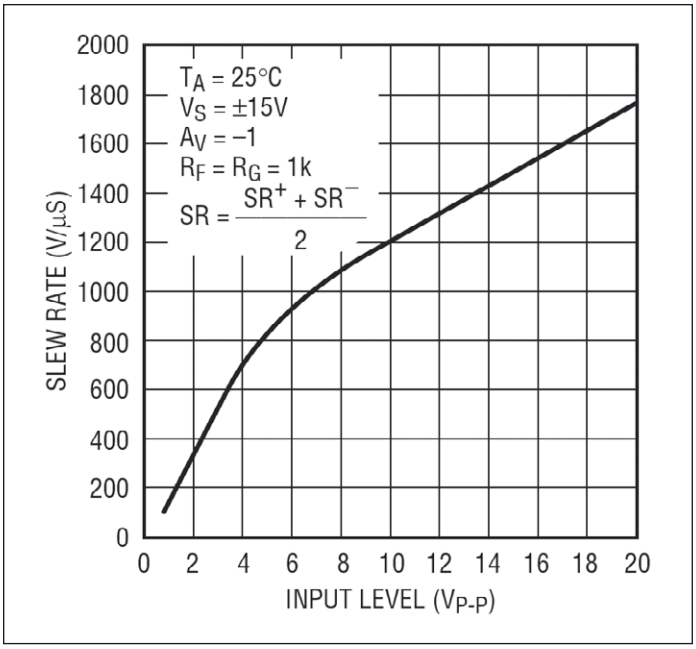

Bild 20: Abhängigkeit der Slew Rate des LT 1363 von der Eingangsspannung

Quellen:

[9] Linear Technology Application Note 94, AN94-1 May 2003, Slew Rate Verification for Wideband Amplifiers, The Taming of the Slew by Jim Williams

[10] National Semiconductor Linear Brief 19, Predicting Op Amp Slew Rate Limited Response, August 1972

[11] www.electronicdeveloper.de/OpAmpBandbreiteSRV.aspx

[12] Microchip Technology AN723, Operational Amplifier AC Specifications and Applications by Bonnie C. Baker

[13] Linear Technology Datenblatt 70 MHz, 1000 Vµs Op Amp LT 1363