

White Paper

Zum Verständnis der Linearregler und ihrer wesentlichen Performance-Parameter

Einleitung

Low-Dropout-Regler, im Allgemeinen als LDOs bezeichnet, finden in großem Umfang in einer breiten Vielfalt von Elektronikanwendungen in vielen unterschiedlichen Branchen Verwendung. Ein LDO wird generell als eine einfache und kostengünstige Methode zur Regelung und Steuerung einer Ausgangsspannung betrachtet, die von einer Spannungsversorgung mit höherem Eingang geliefert wird. Jedoch sind Kosten und Einfachheit nicht der einzige Grund für ihren weit verbreiteten Einsatz. Tatsächlich werden die heutigen Systeme mit jeder Neuentwicklung immer komplexer, stöempfindlicher und leistungshungriger. Die ausgedehnte Verwendung von Schaltnetzteilen auf allen Leistungsebenen bedeutet, dass Entwickler mehr Zeit aufwenden müssen, um Rauschkopplung und Störung zu vermeiden und dabei gleichzeitig den Systemwirkungsgrad zu verbessern – aus diesem Grunde können Kosten und Einfachheit nicht die einzigen Triebfedern für den LDO-Einsatz sein.

Für die meisten Einsatzgebiete sind die Spezifikationen der grundlegenden Parameter eines Datenblatts ausreichend und leicht verständlich. Doch bedauerlicherweise führen Datenblätter nicht die Parameter für jede mögliche Schaltbedingung auf. Deshalb ist es, um das Beste aus einem LDO herauszuholen, unumgänglich, die wesentlichen Performance-Parameter und ihre Auswirkung auf gegebene Lasten zu verstehen. Entwickler müssen entscheiden können, ob sich der LDO für eine spezifische Last eignet, indem sie die Umgebungs-Schaltbedingungen eingehend analysieren.

Dieser Beitrag untersucht die wesentlichen Performance-Parameter von LDOs und ihre Auswirkung auf die Lieferung einer sauberen Ausgangsspannung an unterschiedliche Bausteine innerhalb eines elektronischen Systems. Darüber hinaus diskutieren wir die Faktoren, die ein Entwickler beachten muss, um ein System besonders bei höheren Strompegeln zu optimieren.

Wie LDOs in Applikationen eingesetzt werden

In den meisten Anwendungen werden LDOs in erster Linie dazu verwendet, eine empfindliche Last von einer störbehafteten Energiequelle zu isolieren. Im Gegensatz zu Schaltreglern weisen Linearregler Verlustleistungen im Durchlasstransistor oder dem MOSFET auf, die zur Regulierung und Aufrechterhaltung der Ausgangsspannung mit der erforderlichen Genauigkeiten dient. Aus diesem Grund kann die Verlustleistung eines LDOs einen wesentlichen Nachteil hinsichtlich des Wirkungsgrads darstellen und Wärmeprobleme verursachen. Deshalb ist es wichtig, dass Entwickler die Verlustleistung des LDOs minimieren und so den Systemwirkungsgrad erhöhen und jedwede Wärmekomplikationen vermeiden.

LDOs zählen zu den ältesten und meistverwendeten Geräten zur Spannungsregelung, doch fehlt für viele ihrer wichtigen Leistungskennwerte das tiefgreifende Verständnis, oder zumindest wird ihr Potenzial nicht voll ausgenutzt. Zwar sind die Kosten ein bedeutender Faktor, doch wird die Verwendung von LDOs vorwiegend durch die Leistungsanforderungen des Systems sowie einen akzeptablen Störpegel der zu versorgenden Last vorangetrieben. LDOs finden außerdem zur Rauschreduzierung Verwendung sowie zur Behebung von Problemen, die durch elektromagnetische Störungen (EMI) und Leiterplatten-Routing entstehen.

Bei sehr niedrigen Stromlasten ist die Verlustleistung eines LDOs sehr unbedeutend; er ist daher die offensichtliche Wahl wegen seiner Einfachheit, seiner Kosten und seiner Benutzerfreundlichkeit. Dagegen werden bei Hochstromlasten von über 500 mA andere Faktoren wichtiger und sind in manchen Fällen von ausschlaggebender Bedeutung. In diesen Anwendungen ist es für Systementwickler wichtig, Performance-Parameter zu beachten, deren Gewicht bei höheren Strompegeln zunimmt, beispielsweise die Dropout-Spannung, die Lastregelung sowie die Übergangsleistung (Transienten-Performance).

Da LDOs eine Art Linearregler darstellen, werden sie häufig mit herkömmlichen Linearreglern verglichen, besonders hinsichtlich der Kosten. Hier ist zu beachten, dass das Durchgangselement das Herzstück eines LDOs ist, und dieses sowie die es umgebenden Schaltungen, bestimmen die Performance des LDOs.

Innenansicht des LDO

Ein LDO setzt sich aus drei grundlegenden Funktionselementen zusammen: einer Referenzspannung, einem Durchgangselement sowie einem Fehlerverstärker, wie in Abbildung 1 dargestellt. Während eines Normalbetriebs verhält sich das Durchgangselement als Stromquelle für den Spannungsregler. Das Durchgangselement wird durch ein kompensiertes Steuersignal des Fehlerverstärkers angesteuert, das die Ausgangsspannung erfasst und sie mit der Referenzspannung vergleicht. Alle diese Funktionsblöcke haben Auswirkungen auf die Performance des LDOs. Datenblätter der LDO-Hersteller enthalten immer Spezifikationen, welche die Performance dieser Funktionselemente beschreiben.

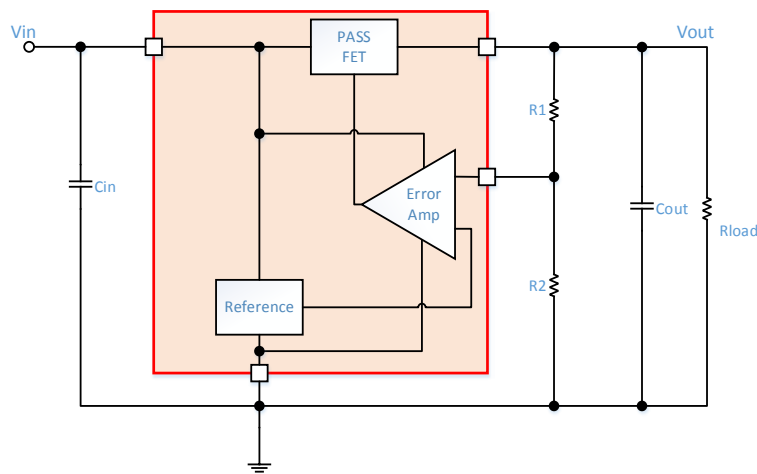


Abbildung 1. Blockdiagramm des LDOs

Wie Abbildung 2 zu entnehmen ist, sind normalerweise vier unterschiedliche Arten von Durchgangselementen in LDO-Regler-Designs vorzufinden: NPN-Transistor-basierte Regler, PNP-Transistor-basierte Regler, N-Kanal-MOSFET-basierte und P-Kanal-MOSFET-basierte Regler.

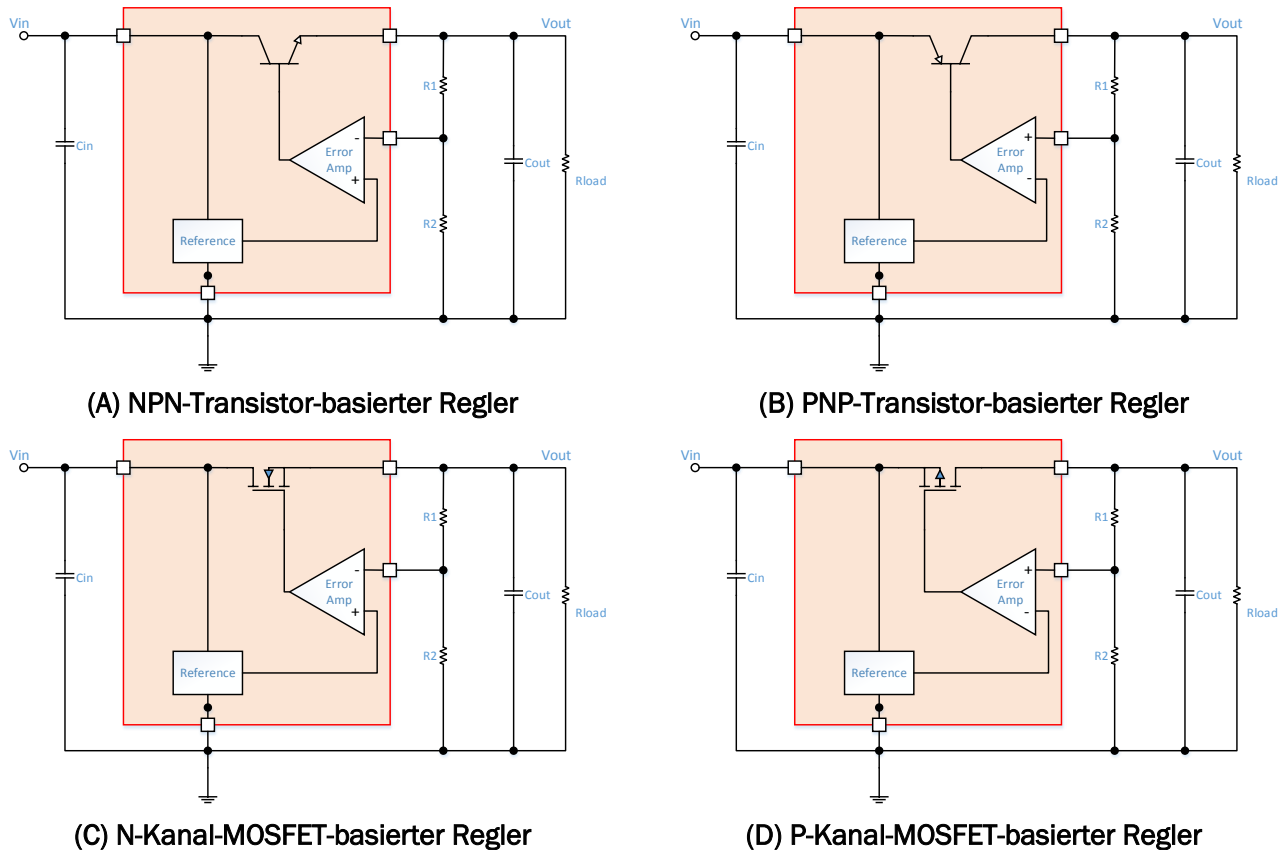


Abbildung 2. Vier verschiedene, in LDO-Reglern verwendete Transistoren

Generell sind Transistor-basierte Regler, verglichen mit MOSFET-basierten Reglern, durch eine höhere Dropout-Spannung gekennzeichnet. Darüber hinaus ist der Basis-Treiberstrom des Transistor-Durchgangselements eines Reglers auf Transistorbasis proportional dem Ausgangsstrom. Dadurch wird der Ruhestrom des Transistor-basierten Reglers direkt beeinflusst. Im Vergleich dazu verwendet das Durchgangselement des MOSFETs die Spannung auf dem isolierten Gate, um dessen Ruhestrom beträchtlich stärker zu reduzieren als beim Transistor-basierten Regler.

Entscheidende Performance-Parameter von LDOs

1. Dropout-Spannung

Die Dropout-Spannung wird definiert als die Differenz zwischen den Eingangs- und den Ausgangsspannungen zu dem Punkt, zu dem ein weiterer Abfall der Eingangsspannung dazu führt, dass die Regelung der Ausgangsspannung fehlschlägt. In der Dropout-Bedingung arbeitet das Durchgangselement im linearen Bereich und verhält sich wie ein Widerstand. Beim modernen LDO wird das Durchgangselement normalerweise mit PMOS- oder NMOS-FETs implementiert, wodurch sich eine Dropout-Spannung von geringen 30 mV bis 500 mV erzielen lässt. Abbildung 3 zeigt die Dropout-Spannung des ISL80510 LDO, der einen PMOS-FET als Durchgangselement verwendet.

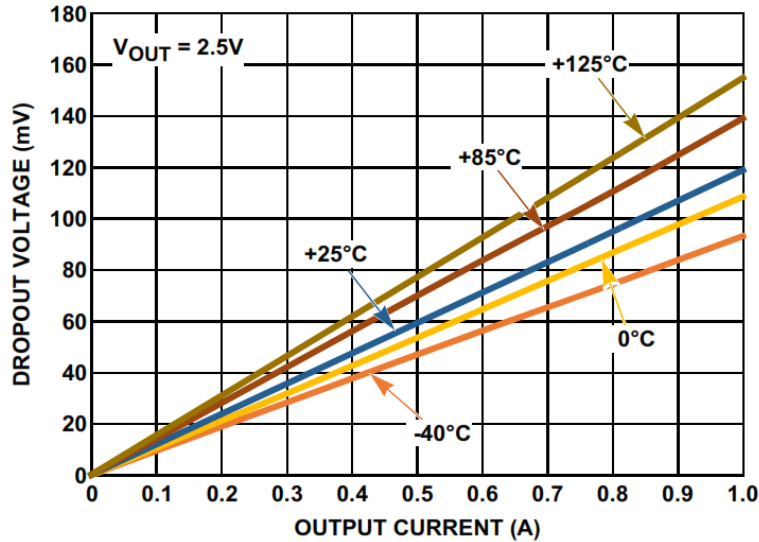


Abbildung 3. Dropout-Spannung des ISL80510

2. Lastregelung

Lastregelung wird definiert als die Änderung der Ausgangsspannung bei einer gegebenen Laständerung. Sie reicht im Normalfall von Nulllast bis zu Volllast, bestimmt durch Gleichung 1.

$$\text{Lastregelung} = \frac{\Delta V_{out}}{\Delta I_{out}} = \frac{V_{out@Nulllast} - V_{out@Volllast}}{0 - I_{out_Volllast}}$$

Die Lastregelung gibt die Performance des Durchgangselements und die Verstärkung im DC-Regelkreis des Reglers an. Je höher die Regelkreis-DC-Verstärkung, desto besser ist die Lastregelung.

3. Leitungsregelung

Unter Leitungsregelung versteht man die Änderung der Ausgangsspannung bei einer gegebenen Änderung der Eingangsspannung, definiert in Gleichung 2:

$$\text{Leitungsregelung} = \frac{\Delta V_{out}}{\Delta V_{in}} = \frac{V_{out@V_{in_max}} - V_{out@V_{in_min}}}{V_{in_max} - V_{in_min}}$$

Weil die Leitungsregelung auch von der Performance des Durchgangselements und der Regelkreis-DC-Verstärkung abhängt, wird der Dropout-Betrieb bei der Betrachtung der Leitungsregelung oft nicht mit einbezogen. Folglich muss die Mindest-Eingangsspannung für die Leitungsregelung höher sein als die Dropout-Spannung.

4. Versorgungsspannungsdurchgriff (PSRR, Power Supply Rejection Ratio)

PSRR ist ein Wert, der die Fähigkeit des LDOs anzeigt, durch die Eingangsspannung hervorgerufene Schwankungen der Ausgangsspannung zu dämpfen, siehe Abbildung 3. Während die Leitungsregelung nur bei Gleichstrom in Betracht gezogen wird, muss der PSRR über einen weiten Frequenzbereich beachtet werden. Gleichung 3:

$$PSRR = 20 \log_{10} \frac{V_{in}}{V_{out}}$$

Bei einem herkömmlichen geschlossenen Regelkreis lässt sich die Kleinsignal-Ausgangsspannung wie in Gleichung 4 angegeben ausdrücken:

$$\tilde{V}_{out} = \frac{G_{vg}}{1 + k_v \times G_C \times G_{oc}} \tilde{V}_{in} + \frac{G_C \times G_{oc}}{1 + k_v \times G_C \times G_{oc}} \tilde{V}_{ref}$$

Dabei ist \tilde{V}_{in} die Kleinsignal-Eingangsspannung, G_{vg} ist die Übertragungsfunktion des offenen Regelkreises von der Eingangs- zur Ausgangsspannung, k_v ist die Ausgangsspannungs-Sensorverstärkung, G_C ist die Übertragungsfunktion des Kompensators, G_{oc} ist die Übertragungsfunktion des offenen Regelkreises vom Steuersignal zur Ausgangsspannung, und $k_v \times G_C \times G_{oc}$ ist die Übertragungsfunktion des geschlossenen Regelkreises, $T(s)$.

Den Gleichungen 3 und 4 ist klar zu entnehmen, dass der PSRR aus der Verstärkung des geschlossenen Regelkreises, $T(s)$, sowie dem Kehrwert der Übertragungsfunktion der offenen Regelschleife von der Eingangs- zur Ausgangsspannung, $1/G_{vg}$, besteht, wie in Abbildung 4 dargestellt. Während bei niedrigeren Frequenzen die Übertragungsfunktion des geschlossenen Regelkreises überwiegt, übernimmt bei höheren Frequenzen die Übertragungsfunktion des offenen Regelkreises die Vorherrschaft.

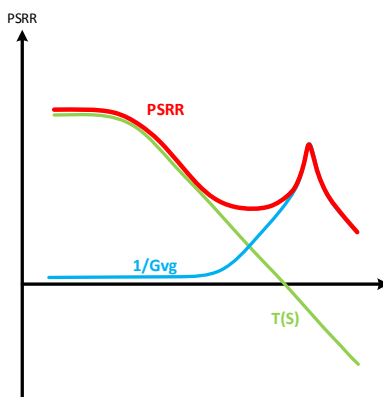


Abbildung 4. PSRR vs. Frequenz

5. Rauschen

Dieser Parameter bezieht sich im Allgemeinen auf das Rauschen in der vom LDO selbst erzeugten Ausgangsspannung, die ein inhärenter Kennwert der Bandgap-Spannungsreferenz ist. Gleichung 4 zeigt das Verhältnis der Referenzspannung zur Ausgangsspannung. Leider jedoch gilt die Übertragungsfunktion des geschlossenen Regelkreises nicht für die Störunterdrückung von der Referenzspannung zur Ausgangsspannung. Aus diesem Grund benötigen die meisten rauscharmen LDOs ein zusätzliches Filter, das verhindert, dass Störungen in den Regelkreis vordringen.

6. Einschwingverhalten

LDOs werden üblicherweise in Anwendungen eingesetzt, bei denen die Regelung am Lastpunkt (POL) wichtig ist, beispielsweise in der Stromversorgung von digitalen ICs, DSPs, FPGAs sowie stromsparenden CPUs. Die Last in derartigen Applikationen arbeitet mit mehreren Betriebsarten, die unterschiedliche Versorgungsströme benötigen. Deshalb muss der LDO rasch reagieren, um die Versorgungsspannung innerhalb ihrer geforderten Grenzen zu halten. Dadurch wird das Transientenverhalten eines LDOs zu einem der entscheidenden Performance-Parameter.

Wie bei allen geschlossenen Regelkreisen hängt das Einschwingverhalten vorwiegend von der Bandbreite der Übertragungsfunktion des Regelkreises ab. Um das beste Einschwingverhalten zu erreichen, muss die Bandbreite der Regelschleife so hoch wie möglich sein, dabei aber eine ausreichende Phasenreserve zur Beibehaltung der Stabilität sicherstellen.

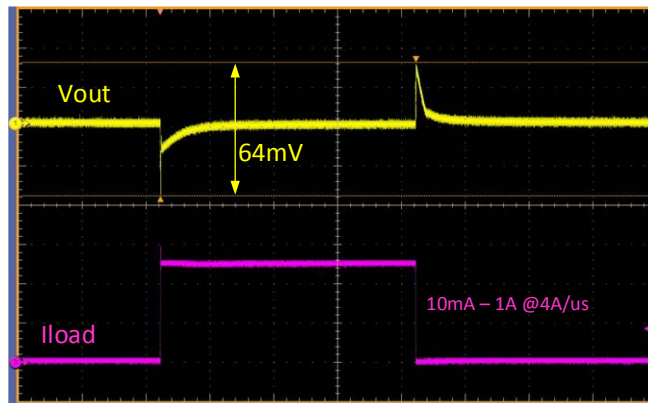


Abbildung 5. Einschwingverhalten des ISL80510 (2,2 Vin, 1,8 Vout)

7. Ruhestrom

Der Ruhestrom (oder Kriechstrom) eines LDOs ist die Kombination des Rückkopplungs- und des Ansteuerstroms des Durchgangselements; er wird normalerweise so niedrig wie möglich gehalten. Außerdem bleibt der Ruhestrom, wenn PMOS- oder NMOS-FETs als Durchgangselemente eingesetzt werden, verhältnismäßig unbeeinflusst vom Laststrom. Da der Ruhestrom nicht durch den Ausgang fließt, beeinflusst er den Wirkungsgrad des LDOs, der sich aus der folgenden Gleichung 5 errechnen lässt:

$$\text{Wirkungsgrad} = \frac{I_{out} \times V_{out}}{(I_{out} + I_q) \times V_{in}}$$

Die Verlustleistung innerhalb des LDOs wird definiert durch: $V_{in} \times (I_q + I_{out}) - V_{out} \times I_{out}$. Um den LDO-Wirkungsgrad zu optimieren, müssen sowohl der Ruhestrom als auch die Differenz zwischen den Eingangs- und Ausgangsspannungen minimiert werden. Dieser Unterschied wirkt sich direkt auf den Wirkungsgrad und die Verlustleistung aus, so dass generell die geringste Dropout-Spannung bevorzugt wird.

Obwohl ein LDO im Vergleich zu einem Schaltnetzteil (SMPS) keine hohe Effizienzumwandlung liefern kann, wird er doch als notwendiger Spannungsregler in vielen modernen Anwendungen eingesetzt. In stöempfindlichen Applikationen fällt es einem SMPS sehr schwer, die nötige Ausgangs-Restwelligkeit (Ripple) zu erreichen, um einer engen Rauschspezifikation zu genügen. Infolgedessen ist es nicht unüblich, dem Ausgang einer SMPS einen LDO als aktives Filter hinzuzufügen. Dieser LDO muss bei der Schaltfrequenz des Schaltnetzteils eine hohe PSRR haben.

LDOs eignen sich besonders für Anwendungen, deren Ausgangsspannung nur geringfügig unter der Eingangsspannung geregelt werden muss. Während Abwärts- und Aufwärtswandler Anwendungsgrenzen beim maximalen/minimalen Tastverhältnis aufweisen, geht bei ihrer Ausgangsspannung die Regelung verloren, wenn die Eingangsspannung nahe der Ausgangsspannung liegt.

Schlussbetrachtung

Wenngleich sie in ihrem Konzept und ihrer Implementierung einfach sind, übernehmen die weithin eingesetzten LDOs eine lebenswichtige Funktion in der Entwicklung von Systemstromversorgungen. Bei der Optimierung eines Designs müssen viele Faktoren Berücksichtigung finden, insbesondere bei höheren Strompegeln. In Anwendungen mit mittleren bis hohen Strömen bietet Intersil's ISL80510/05 eine ausgeglichene Performance über sämtliche entscheidenden Performance-Parameter eines LDOs hinweg: geringer Dropout, Transienten-Performance, Spannungsgenauigkeit sowie eine nahezu flache PSRR-Ansprache über einen weiten Frequenzbereich.

Referenzen

- Mehr Informationen über [den ISL85010/05](#).
- Anforderung des [ISL85010-Datenblatts](#).
- Schauen Sie sich ein Video an: [Überblick über den ISL85010/05](#).

#

Über die Renesas Electronics Corporation

Renesas Electronics Corporation bietet zuverlässige Embedded-Design-Innovationen mit kompletten Halbleiterlösungen, die Milliarden von vernetzten, intelligenten Geräten ermöglichen, die Art und Weise zu verbessern, wie Menschen arbeiten und leben - sicher und sicher. Als weltweit führender Anbieter von Mikrocontrollern, Analog-, Power- und SoC-Produkten bietet Renesas das Know-how, die Qualität und umfassende Lösungen für eine breite Palette von Anwendungen in den Bereichen Automotive, Industrie, Heimelektronik, Büroautomatisierung und Informationskommunikation, um eine grenzenlose Zukunft zu gestalten. Erfahren Sie mehr unter renesas.com

+1 408-432-8888 | © Renesas Elektronik Amerika. Alle Rechte vorbehalten. Renesas (und Design) sind Marken der Renesas Electronics Corporation oder einer ihrer Tochtergesellschaften. Alle anderen genannten Marken sind Eigentum ihrer jeweiligen Inhaber.