

## Was ist ein DC/DC-Wandler? Teil 1

### Einleitung

Hallo zusammen, hier ist wieder "S". Ich habe einen Linearregler erklärt, der einer der Hauptcharaktere von Power-Management-ICs ist. Nun möchte ich einen weiteren wichtigen Typ von Power-Management-ICs vorstellen, nämlich DC/DC-Wandler (Schaltregler). In diesem Abschnitt konzentrieren wir uns auf die DC/DC-Wandler (Abwärtsregler), und ich werde erklären, wie sie im Vergleich zu linearen Reglern eine konstante Ausgangsspannung erzeugen.

\*Die Begriffe "Schaltregler" und "Abwärtsregler" werden im Folgenden weggelassen.

### Abwärts-DC/DC-Wandler

Abbildung 1 zeigt eine Grundsaltung und ein Bild der Funktionsweise von Linearreglern. Die Abbildungen 2 und 3 zeigen eine grundlegende Schaltung und ein Bild der Funktionsweise von DC/DC-Abwärtswandlern.

### Überblick über Linearregler

Bevor wir über DC/DC-Wandler sprechen, sollten Sie sich die Funktionsweise von Linearreglern vergegenwärtigen. Ein Linearregler hat einen internen Treiber, der sich wie ein einstellbarer Widerstand verhält, und eine stabile Ausgangsspannung kann durch Einstellen des Treiberwiderstands ( $R_D$ ) in Abhängigkeit vom Lastwiderstand ( $R_L$ ) erzeugt werden.

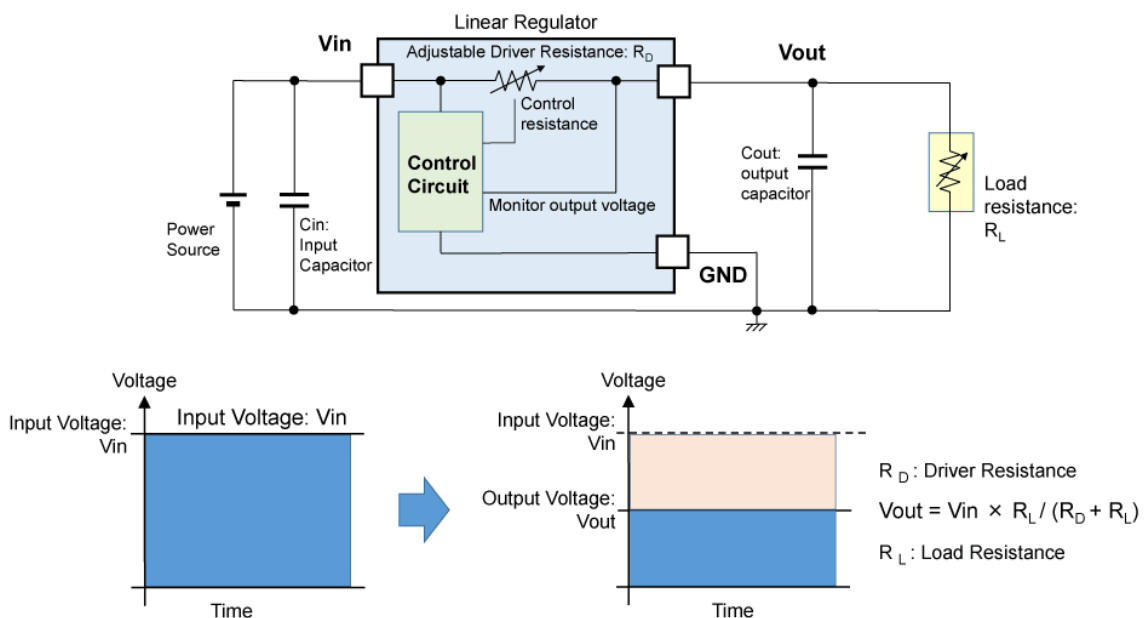


Abbildung 1. Spannungserzeugung von Linearreglern

Beispiel:  $V_{in} = 5\text{ V}$ ,  $V_{out} = 2\text{ V}$ ,  $I_{out} = 100\text{ mA}$

Lastwiderstand ( $R_L$ ) =  $2 \text{ V} / 0,1 \text{ A} = 20 \text{ Ohm}$

Bei Linearreglern wird der Einschaltwiderstand des internen Treibers auf 30 Ohm eingestellt.

$R_D = 30 \text{ Ohm}$  und  $R_L = 20 \text{ Ohm}$  bilden Teilerwiderstände zur Ausgabe von 2 V aus 5 V.

Daher wird die Ausgangsspannung des Linearreglers,  $V_{out}$ , als Spannungsteilung der Eingangsspannung,  $V_{in}$ , durch das Verhältnis dieser Widerstände ausgedrückt:

$$V_{out} = V_{in} \times (R_L / (R_D + R_L)).$$

### Schwankung des Lastwiderstands (Laststrom)

Wenn  $R_L$  sich langsam von 20 Ohm auf 10 Ohm ändert, ändern lineare Regler  $R_D$  von 30 Ohm auf 15 Ohm, wobei das Widerstandsverhältnis von  $R_D$  zu  $R_L$  3 zu 2 beträgt. Mit anderen Worten: Das Widerstandsverhältnis ist unabhängig vom Wert des Lastwiderstands (Laststroms) konstant.

### Schwankung der Eingangsspannung

Betrachten wir den Fall, dass sich  $V_{in}$  langsam von 5 V auf 8 V ändert. Um aus 8 V 2 V zu erzeugen, muss das Widerstandsverhältnis  $R_D:R_L$  3 zu 1 betragen, und  $R_D$  ändert sich von 15 Ohm auf 30 Ohm.

Ein Linearregler erzeugt also eine Ausgangsspannung von 2,0 V, indem er den Widerstand des Treibers durch Überwachung der Ausgangsspannung anpasst.

### Verfahren zur Spannungserzeugung bei DC/DC-Abwärtswandlern

Ein Abwärts-DC/DC-Wandler (Buck DC/DC) besteht aus einem High-Side-Schalter zwischen einer Eingangsstromquelle und dem Ausgang und einem Low-Side-Schalter zwischen GND und dem Ausgang. DC/DC-Wandler schalten den High-Side-Schalter und den Low-Side-Schalter abwechselnd mit einem konstanten Verhältnis und die Ausgangsspannung wird durch Glättung der Ausgangsimpulswellenform durch einen Kondensator (und die Induktivität) erzeugt, um den Laststrom bereitzustellen.

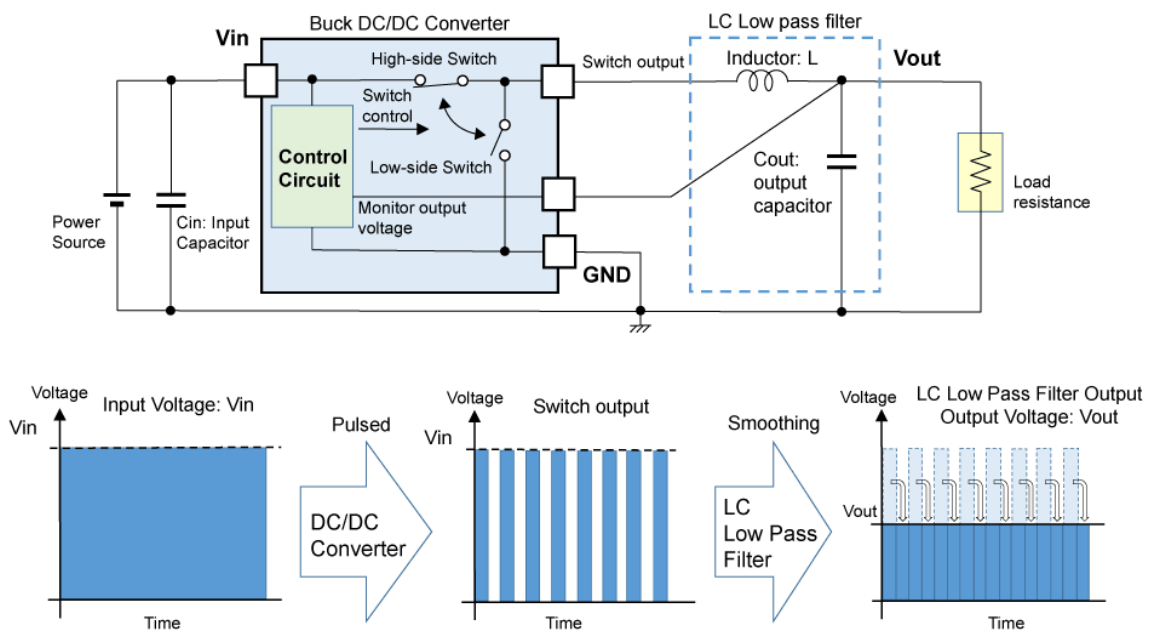


Abbildung 2. Spannungserzeugung von Abwärts-DC/DC-Wandlern (1)

Angenommen, die Einschaltperiode des High-Side-Schalters ist "Ton" und die Ausschaltperiode des High-Side-Schalters ist "Toff" (oder die Einschaltperiode des Low-Side-Schalters). Die Ausgangsspannung, die durch den LC-Filter geglättet wird, wird durch das Verhältnis von Ton zu Toff bestimmt. Das Verhältnis von Ton zu der gesamten Periode wird als "Tastverhältnis" bezeichnet. Mit der Erhöhung des Tastverhältnisses erhöht sich auch die Ausgangsspannung. Die Ausgangsspannung kann wie folgt ausgedrückt werden:

$$V_{out} = V_{in} \times (T_{on} / (T_{on} + T_{off}))$$

Dies wird in Abbildung 3 veranschaulicht.

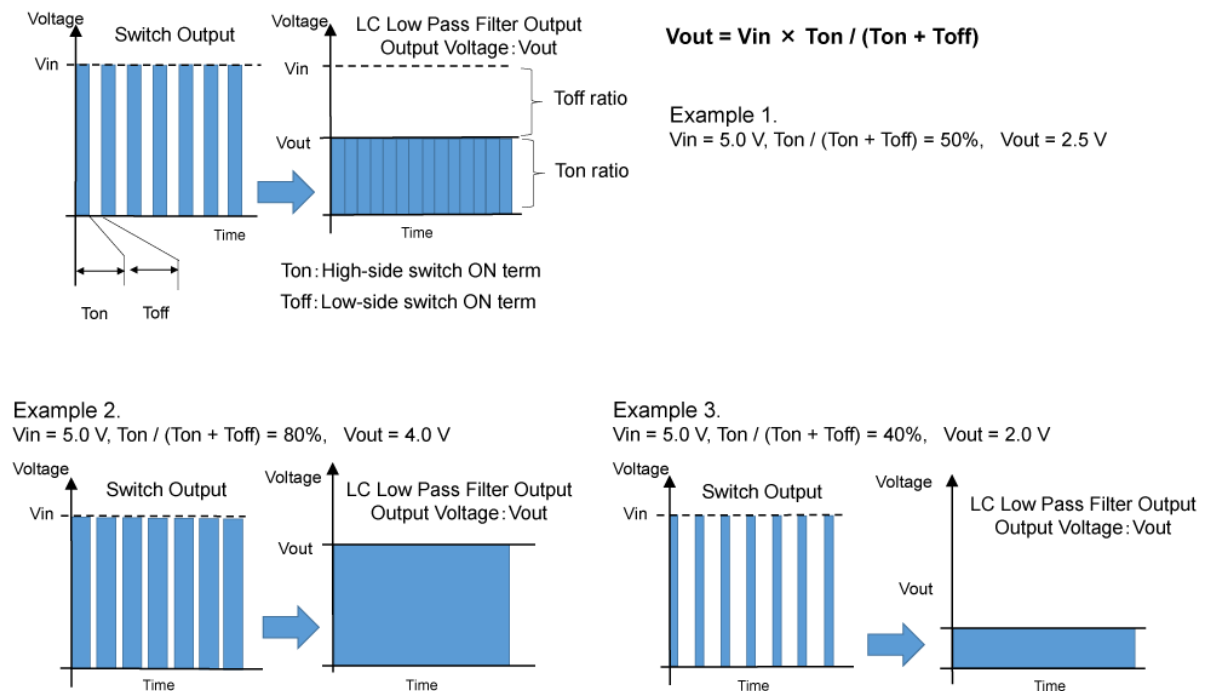


Abbildung 3. Spannungserzeugung von Abwärts-DC/DC-Wandlern (2)

In Abbildung 3, wenn  $V_{in} = 5,0 \text{ V}$ ,

Beispiel 1 zeigt, dass bei einem Tastverhältnis von 50 % die Ausgangsspannung 2,5 V beträgt, und

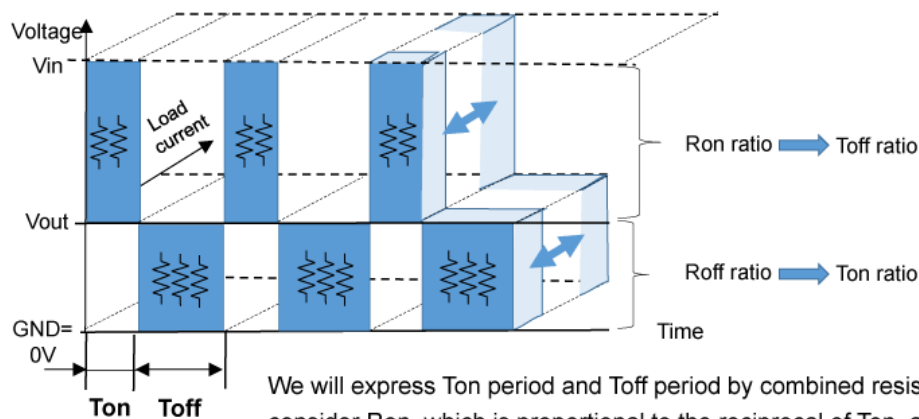
Beispiel 2 zeigt, dass bei einem Tastverhältnis von 80 %  $V_{out}$  zu 4,0 V wird, und

Beispiel 3 zeigt, dass bei einem Tastverhältnis von 40 %  $V_{out}$  2,0 V beträgt.

Diese Art der Zeitverhältnissteuerung wird für die Dimmsteuerung von LEDs verwendet. Die LED-Leuchtdichte kann mit Hochgeschwindigkeitsschaltungen gesteuert werden, bei denen das menschliche Auge kein Flimmern wahrnimmt. Unsere Augen spielen die Rolle eines Tiefpassfilters. Wir empfinden eine LED als hell, wenn sie lange eingeschaltet ist. Im Gegensatz dazu empfinden wir sie als dunkel, wenn die LED-Einschaltzeit kurz ist.

Die obige Erklärung zeigt nur das Ergebnis, dass die Impulswellenform geglättet wird, indem sie durch einen LC-Tiefpassfilter geleitet wird und eine Ausgangsspannung (die dem Zeitverhältnis der Impulswellenform entspricht) erhalten wird.

Das Konzept des Tiefpassfilters ist möglicherweise schwer zu verstehen. Die Erklärung auf der Grundlage von Teilerwiderständen von Linearreglern ist vielleicht viel einfacher zu verstehen. Daher werde ich versuchen, eine andere Erklärung zu geben, die die Steuerung der Ausgangsspannung durch das Zeitverhältnis von Abwärts-DC/DC-Wandlern mit parallelem Widerstand proportional zum Zeitverhältnis (Ton und Toff) in Abbildung 4 ersetzt.



We will express Ton period and Toff period by combined resistance. In other words, consider Ron, which is proportional to the reciprocal of Ton, and Roff, which is proportional to the reciprocal of Toff. These are expressed as:

$$R_{on} = A \times (1/Ton), \quad (1)$$

$$R_{off} = A \times (1/Toff), \quad (2)$$

where A is proportional coefficient.

The output voltage is expressed as:

$$V_{out} = V_{in} \times (R_{off} / (R_{on} + R_{off})).$$

By substituting equations (1) and (2), this becomes

$$V_{out} = V_{in} \times (A \times (1/Toff)) / (A \times (1/Ton) + A \times (1/Toff)).$$

By deleting A, this becomes

$$\begin{aligned} V_{out} &= V_{in} \times (1/Toff) / (1/Ton + 1/Toff) \\ &= V_{in} \times (1/Toff) / ((Ton + Toff) / (Ton \times Toff)) \end{aligned}$$

$$\therefore V_{out} = V_{in} \times Ton / (Ton + Toff).$$

Abbildung 4. Bild der Ausgangsspannungsregelung durch Ersetzen des Zeitverhältnisses durch einen kombinierten Widerstand

Ersetzt man das Zeitverhältnis des High-Side-Schalters zwischen Vin und Vout durch parallele Widerstände, wird der kombinierte Gesamtwiderstand als Ron bezeichnet. Ersetzt man auf die gleiche Weise den zeitlichen Abstand des Low-Side-Schalters zwischen Vout und GND durch parallele Widerstände, so wird der gesamte kombinierte Widerstand als Roff bezeichnet. Demnach kann Vout als die Spannungsteilung von Vin durch Ron und Roff ausgedrückt werden.

*\*Ich verwende Teilerwiderstände zur Erklärung, aber bitte beachten Sie, dass es unmöglich ist, dass High-Side- und Low-Side-Schalter gleichzeitig eingeschaltet werden können. Es gibt also keinen Stromfluss von Vin nach GND durch Ron und Roff.*

Ron ist proportional zum Kehrwert von Ton, und Roff ist proportional zum Kehrwert von Toff. Daher wird Vout, wie in Abbildung 4 dargestellt, als  $V_{out} = V_{in} \times \text{das Zeitverhältnis von } (Ton / (Ton + Toff))$  ausgedrückt.

Linearregler erzeugen eine stabile Ausgangsspannung, indem sie Ron des internen Treibers steuern, indem sie das Widerstandsverhältnis von RL und RD beibehalten, wenn Vin stabil ist und der

Lastwiderstand (Laststrom) schwankt. Die Ausgangsspannung eines DC/DC-Buck-Wandlers wird dagegen nur durch das Zeitverhältnis bestimmt, und der Laststrom bleibt stabil. Was bedeutet das? Siehe nun Abbildung 5.

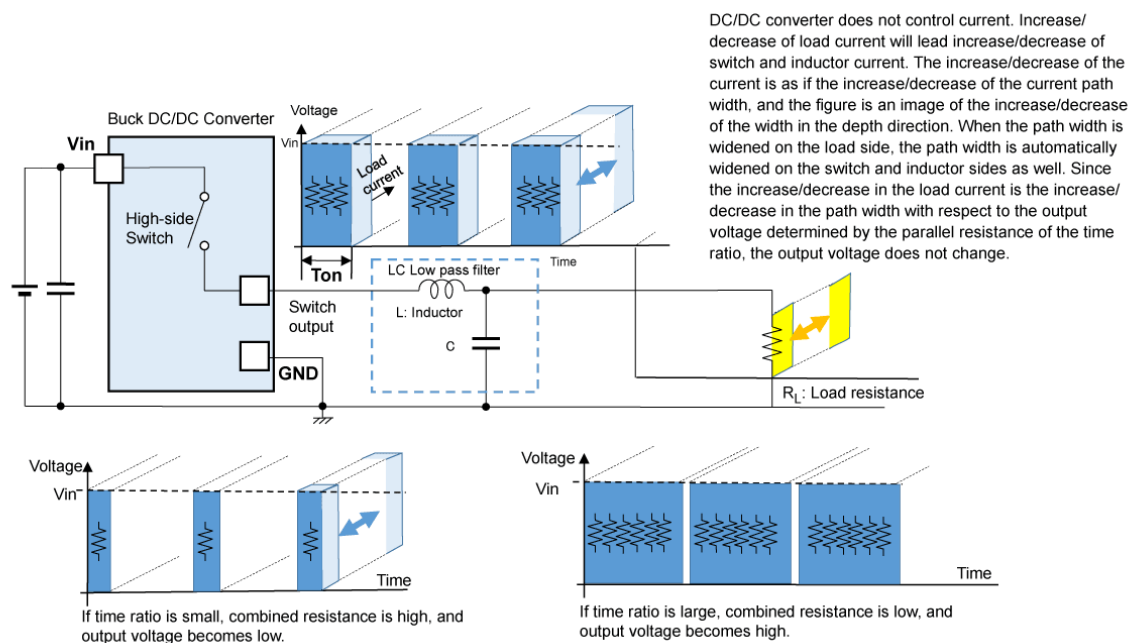


Abbildung 5. Abbildung des Betriebs des DC/DC-Abwärtswandlers bei Schwankungen des Lastwiderstands (Laststrom)

Abbildung 5 zeigt eine Darstellung mit einer dem Laststrom entsprechenden Tiefe. (Abbildung 4 zeigt eine ähnliche Darstellung.) Abbildung 5 zeigt, dass eine Erhöhung oder Verringerung des Laststroms diese Tiefe vergrößert oder verkleinert, aber keinen Einfluss auf das Zeitverhältnis hat. Wenn beispielsweise der Laststrom zunimmt, wird die Tiefe größer, so wie die Strompfadbreite größer wird. Dann wird auch die Strompfadbreite von Schalter und Induktor breiter. Daher hat die Schwankung des Laststroms keinen Einfluss auf die Ausgangsspannung oder das Zeitverhältnis.

Der Parallelwiderstand auf der Niederspannungsseite ist in Abbildung 5 nicht aufgeführt, aber bitte betrachten Sie ihn als den gleichen wie in Abbildung 4. Ich hoffe, die obige Erklärung hat Ihnen eine Vorstellung davon vermittelt, wie Abwärts-DC/DC-Wandler aussehen.

### Schwankung des Lastwiderstands (Laststrom)

Die Ausgangsspannung von DC/DC-Abwärtswandlern kann wie folgt ausgedrückt werden:

$$V_{out} = V_{in} \times (T_{on} / (T_{on} + T_{off}))$$

Obwohl diese Formel den Strom nicht berücksichtigt, erzeugen Abwärts-DC/DC-Wandler eine stabile Ausgangsspannung, auch wenn sie ein konstantes Tastverhältnis beibehalten, indem sie die Strompfadbreite wie oben beschrieben ändern.

### Schwankung der Eingangsspannung

Nehmen wir den Fall an, dass sich  $V_{in}$  von 5 V auf 8 V ändert. Um  $V_{out} = 2$  V aus  $V_{in} = 8$  V zu erzeugen, muss das Tastverhältnis 25 % betragen. Das Tastverhältnis ändert sich allmählich von 40 % auf 25 %, wobei das Tastverhältnis =  $V_{out} / V_{in}$  ist.

Tabelle 1 zeigt die Vergleichstabelle der Spannungserzeugungsmethode von linearen Reglern und DC/DC-Abwärtswandlern.

Tabelle 1. Methode der Spannungserzeugung

Linearregler	Abwärts-DC/DC-Wandler
Widerstandsverhältnis zwischen Treiberwiderstand und Lastwiderstand $V_{out} = V_{in} \times (R_L / (R_D + R_L))$ RD: Einschaltwiderstand des Treibers RL: Lastwiderstand	Zeitverhältnis des Schalters zwischen Eingang und Ausgang $V_{out} = V_{in} \times (T_{on} / (T_{on} + T_{off}))$ Ton : Einschaltzeit des Schalters zwischen Eingang und Ausgang Toff : Ausschaltzeit des Schalters zwischen Eingang und Ausgang

## Zusammenfassung

Dieses Mal haben wir uns auf einen DC/DC-Abwärtswandler konzentriert, der aufgrund seiner Topologie mit einem linearen Regler verglichen werden kann, und erklärt, dass die Methode zur Spannungserzeugung als Zeitverhältnisregelung bezeichnet wird. Die Zeitverhältnissteuerung ist die grundlegende Steuerungsmethode für alle DC/DC-Wandler. Beim nächsten Mal möchte ich die Verwendung von DC/DC-Wandlern erläutern, indem ich sie anhand ihrer Merkmale und Eigenschaften mit Linearreglern vergleiche.



*Autor, S' (Nisshinbo Micro Devices Inc.)*

*Seit seinem Eintritt in das Unternehmen war er lange Zeit an verschiedenen analogen und digitalen Designs beteiligt, z. B. an Gate-Arrays, Mikrocomputern, Speichern und Power-Management-ICs. Danach beherrschte er auch die Prüftechnik für zusammengesetzte Stromversorgungs-ICs und wurde zu einem Spezialisten für Design, Prüfung und Ausbildung in seinem Fachgebiet. Seine leicht verständlichen Erklärungen und seine höfliche Anleitung aus der Sicht des Zuhörers kommen bei den neuen Ingenieuren, die jedes Jahr in unser Unternehmen kommen, gut an. Seine Leistungen werden hoch gelobt, und jetzt arbeitet er als leitender Ingenieur in der Ausbildung jüngerer Generationen und als Berater für neue Technologien.*

*Text im Original:*

<https://www.nisshinbo-microdevices.co.jp/en/design-support/basic/05-dc-dc-converter.html>

## Power Management ICs von Nisshinbo gibt es bei der TOPAS electronic AG

Ihrem Partner für neue Technologien und innovative Produkte.

Wir bieten technische Kundenberatung, Anwendungsunterstützung bei der Projektarbeit, Hilfe bei der Fehlersuche und bei Problemlösungen, technische Konzeptentwicklung für den Einsatz der Technologien im Kundenumfeld.

**TOPAS**

Components  
for Solutions

+49 (0)511 968 640