

AS3360

Übersicht

Der CEM3360 und sein Nachfolger, der AS3360, sind spannungsgesteuerte Dual-VCA (Voltage Controlled Amplifier) zum Einsatz in Musiksynthesizern. Maßgebliche Designkriterien waren ein minimaler Aufwand an externen Bauelementen, keine Notwendigkeit zur Trimmung und wahlweise lineare oder exponentielle Steuerung. Leider hat dieser vielseitig verwendbare Chip ein ziemliches Nischendasein geführt, was vielleicht auch an dem knapp gehaltenen Datenblatt lag. Hier nun die ausführlichere Beschreibung.

Das Übersichtsschaltbild in Abbildung 1 zeigt die wesentlichen Funktionsblöcke des Chips.

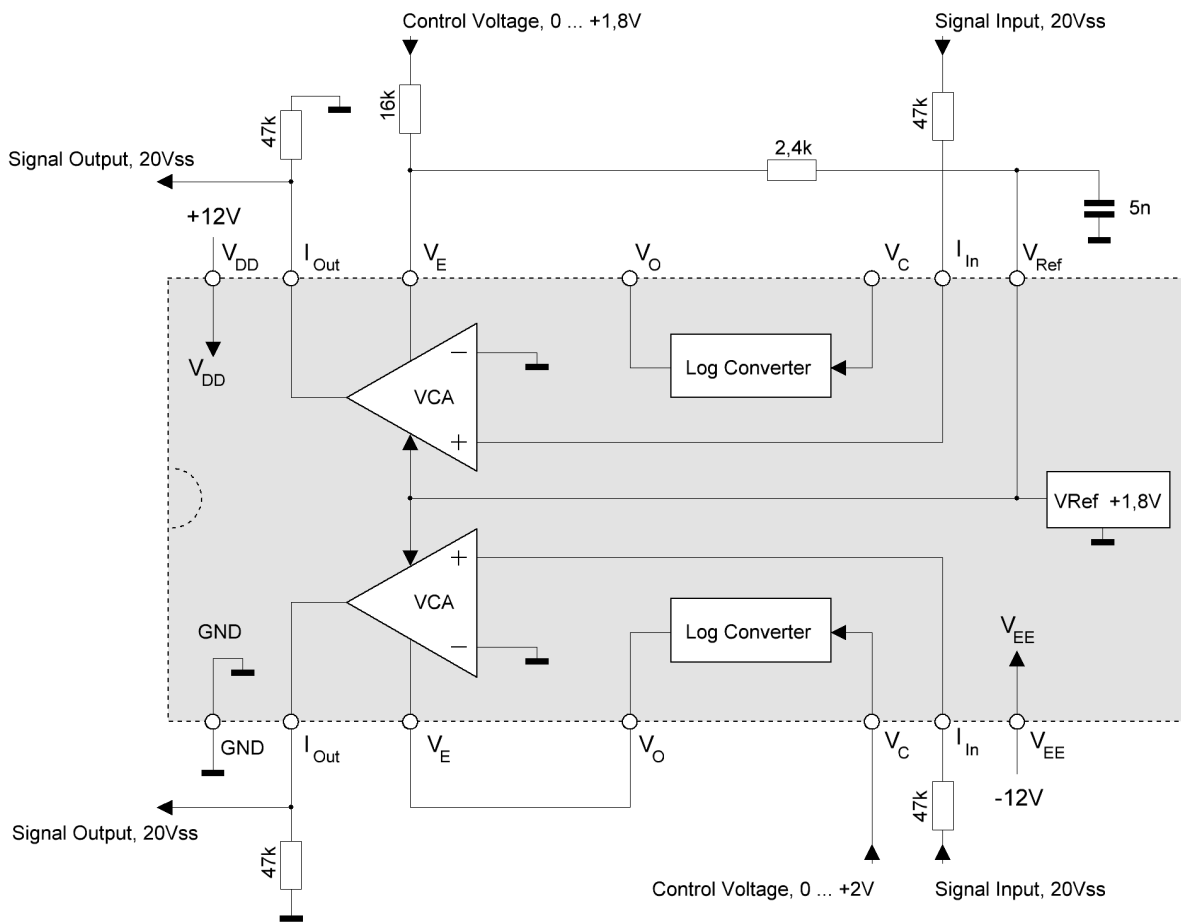


Abbildung 1: Prinzipieller Aufbau des CEM3360 mit linearer und exponentieller Steuercharakteristik

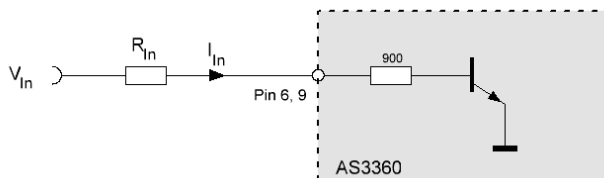
Der AS3360 enthält zwei VCAs mit Strom-Ein- und Ausgängen und einem Steuerspannungs-Eingang mit exponentieller Charakteristik. Zusätzlich sind auf dem Chip noch zwei Log-Konverter integriert, die einen linearen Steuerspannungsverlauf in einen logarithmischen umsetzen.

Ein- und Ausgänge

Der Eingangsstrom sollte sicherheitshalber $\pm 300\mu\text{A}$ nicht überschreiten, ansonsten kann das Eingangssignal abgeschnitten werden (Clipping), was zu sehr unmusikalischen Verzerrungen führt. Also den 3360 bitte nicht verwenden, um einem Audiosignal angenehm klingende Verzerrungen hinzuzufügen.

Mehrere Signale können über mehrere Widerstände summiert werden, der jeweilige Widerstandswert errechnet sich über das Ohm'sche Gesetz. Dabei ist darauf zu achten, dass im Worst Case, also wenn alle maximalen Eingangsspannungen (und damit Eingangsströme) gleiche Polarität haben, der Gesamtstrom nicht höher als $\pm 300\mu\text{A}$ wird.

Der Signaleingang ist laut Datenblatt ein „Summing Node Input“, der über geeignete Eingangswiderstände



mehrere Signalquellen summieren kann. Es ist allerdings kein echter „Virtual Ground Summing Node“. Das Eingangssignal „sieht“ vielmehr einen Widerstand von 900Ω in Serie mit einem Basis-Emitter-Übergang gegen Masse (Abb. 2).

Entsprechend produziert ein Eingangsstrom von beispielsweise $\pm 100\mu\text{A}$ eine Spannung von etwa $\pm 200\text{mV}$ am Eingangs-Pin.

Abbildung 2: Das Eingangs-Ersatzschaltbild des AS3360

Daraus ergibt sich zwingend, zu unterscheiden, ob hohe oder relativ niedrige Eingangs-Spannungen verarbeitet werden müssen. In ersterem Fall, also Spannungen von einigen Volt, kann man den Eingang ruhig als „Virtual Ground Summing Node“ sehen und die am Eingangs-Pin entstehende, niedrige Spannung ignorieren. Bei sehr niedrigen Spannungen hingegen kommt folgende Formel zum Einsatz:

$$R_{in} = \frac{V_{in} - 120\text{mV}}{I_{in}} - 900$$

Dabei sind R_{in} der Eingangswiderstand, V_{in} die Eingangsspannung und I_{in} der gewünschte Eingangsstrom.

Signale, die garantiert kleiner als $\pm 400\text{mV}$ bleiben, können sogar ohne Widerstand direkt am Eingang angelegt werden.

Curtis empfiehlt, den Gesamt-Eingangsstrom möglichst hoch (bis $\pm 300\mu\text{A}$) zu wählen, wenn ein hoher Signal-Rauschabstand angestrebt wird, während ein Strom von maximal $\pm 100\mu\text{A}$ zu wählen ist, wenn die Verzerrungen niedrig bleiben sollen.

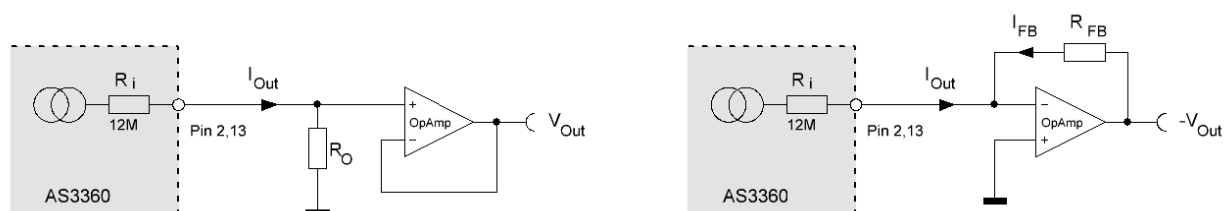


Abbildung 3: Zwei Möglichkeiten zur niederohmigen Auskopplung des Signals aus dem AS3360

Der Ausgang ist ein sehr hochohmiger ($\sim 12\text{M}\Omega$) Stromausgang. Bei der maximalen Strom-Verstärkung der Zelle (typisch 1, maximal 1,1) ist der Ausgangsstrom gleich dem Strom, der in den Eingangs-Pin fließt - sofern der Eingang nicht übersteuert ist. Die maximal mögliche Ausgangsstromstärke liegt bei typisch $\pm 400\mu\text{A}$. Der Spannungshub am Ausgangs-Pin ist sehr groß, er reicht von $V_{EE} + 1,2\text{V}$ bis $V_{DD} - 0,8\text{V}$. Bei einer Speisung mit $\pm 12\text{V}$ ist somit eine Signalspannung am Ausgang von 10V_{ss} ohne Verzerrungen möglich.

Falls man einen niederohmigen Spannungsausgang benötigt, muss die Ausgangsspannung über einen Impedanzwandler, zum Beispiel einen Operationsverstärker, gepuffert werden. Dabei gibt es zwei Alternativen, die in Abbildung 3 skizziert sind: Ein Ausgangswiderstand erzeugt die Ausgangsspannung und diese wird über einen OpAmp-Spannungsfollower gepuffert. Oder man führt den Ausgangsstrom direkt zum invertierenden Eingang eines OpAmp-Strom/Spannungsumsetzers. In diesem Fall wird das Signal invertiert, was bei Audiosignalen meist nicht tragisch ist, sich aber bei Steuerspannungen verbietet. Bei 0dB

Dämpfung ist die Ausgangsspannung ist gleich der Eingangsspannung, wenn der Eingangs- und Ausgangswiderstand gleich sind. Über unterschiedliche Widerstandswerte lässt sich zum Beispiel eine Spannungsverstärkung erzielen. Der Widerstand errechnet sich nach dem Ohmschen Gesetz. Natürlich kann dabei die Spannung am Ausgangs-Pin des 3360 nur innerhalb der Grenzen von $V_{EE} + 1,2V$ bis $V_{DD} - 0,8V$ liegen.

Bei dieser Betrachtung offenbart sich auch folgende Problematik: Wird der 3360 zum Erreichen einer sehr hohen Dämpfung ($>100dB$) mit einer sehr niedrigen negativen Versorgungsspannung (z.B. $-5V$ oder $-3V$) betrieben, kann die negative Amplitude des Ausgangssignals am Pin 2 oder 13 nur maximal $-3,8V$ bzw. $-1,8V$ betragen! Für höhere Spannungen ist diesem Fall ist ein Strom/Spannungsumsetzer (rechte Schaltung in Abbildung 3) notwendig, der mit einer entsprechenden Versorgungsspannung (z.B. $\pm 12V$) betrieben wird. Diese Schaltung arbeitet invertierend, falls dies nicht akzeptabel ist, muss ein weiterer Inverter nachgeschaltet werden.

Steuereingänge

Man kann für jeden der beiden VCA einzeln entscheiden, ob man eine lineare oder exponentielle Steuerkurve einsetzt.

Da die VCA-Zelle selbst eine inhärent exponentielle Steuercharakteristik besitzt, muss dem Steuer-Pin zur linearen Funktion ein sogenannter Log-Converter voran geschaltet werden. Die beiden zueinander inversen Kennlinien gleichen sich damit zu einer linearen Kurve aus. In Abbildung 1 ist der untere VCA (Pins 2 bis 6) in linearer Konfiguration beschaltet. Interessant in diesem Zusammenhang ist auch der Temperaturkoeffizient der Steuercharakteristiken. Während die direkte, exponentielle Steuerung des VCA wie zu erwarten einen Koeffizienten von typisch $+3300ppm$ aufweist, wird dieser durch Vorschalten des Log-Converters (=linearer Verlauf) auf typisch $\pm 250 ppm$ reduziert.

Die Steuereingänge sind für Anwendungen in Synthesizern ausreichend genau, die Toleranzen betragen $0,6dB$ (exponentielle Steuerung) und ca. 3% bei linearer Steuerung.

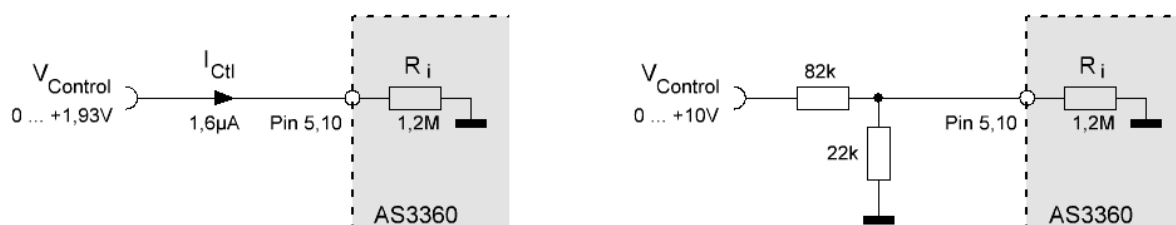


Abbildung 4: Lineare Steuerspannungen größer als $+2V$ benötigen einen Spannungsteiler am Eingang

Der Steuer-Eingang (V_C) hat eine relative hohe Eingangsimpedanz von $\sim 1,2M\Omega$, der nutzbare Spannungsbereich reicht von $0V$ bis $+1,93V$. Für höhere Steuerspannungen, kann ein Spannungsteiler vorgeschaltet werden. Dabei sollte die Impedanz am V_C -Eingang jedoch kleiner als $50k\Omega$ sein.

Die Signaldämpfung des 3360 beträgt bei einer Steuerspannung von $0V$ mindestens $80dB$. Im Datenblatt ist erwähnt, dass man den Dynamikumfang erhöhen kann, indem man die negative Versorgungsspannung verkleinert. Mit einer Spannung V_{EE} von $-3V$ erreicht man eine Dämpfung von über $100dB$. Durch die Verschiebung des internen Bezugspunkts im Log-Converter, geht mit der Reduzierung von V_{EE} eine Schwellenspannung einher, die die Steuerkurve entsprechend verschiebt. Abbildung 5 zeigt die Auswirkungen auf die lineare Steuerkurve. Die Kurve mit $V_{EE} = -3V$ setzt gut $200mV$ nach der Normalkurve ($V_{EE} = -12V$, $V_{DD} = +12V$) ein und nähert sich ihr erst im oberen Drittel. In prozessorgesteuerten Systemen ist dies ein einfacher Fall für die Steuersoftware, per Hardware lässt sich dies, falls es überhaupt stört, lösen,

indem man eine entsprechende Spannung über einen Widerstand bzw. einen Spannungsteiler an den Steuereingang legt, mit dem der Offset kompensiert wird.

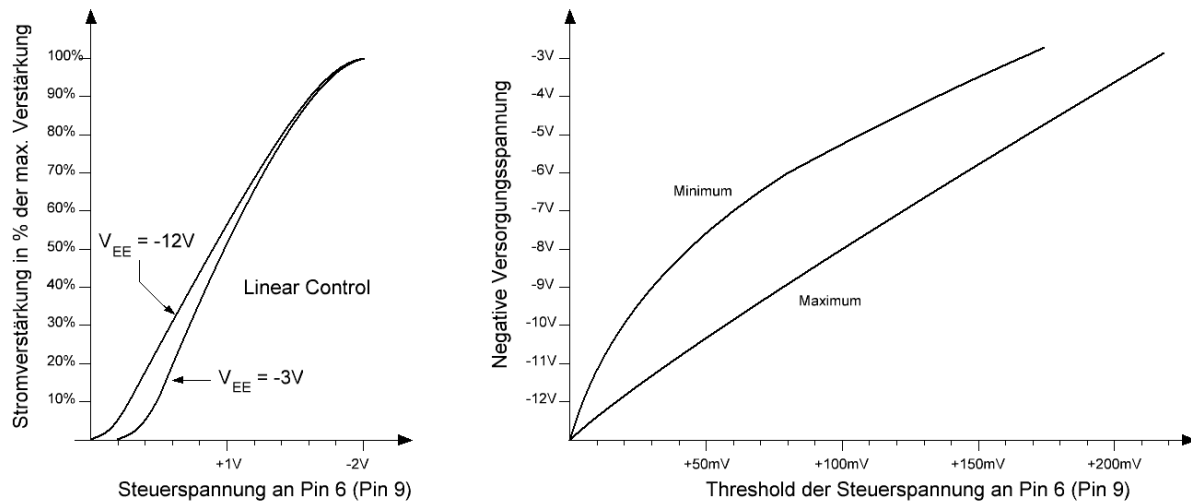
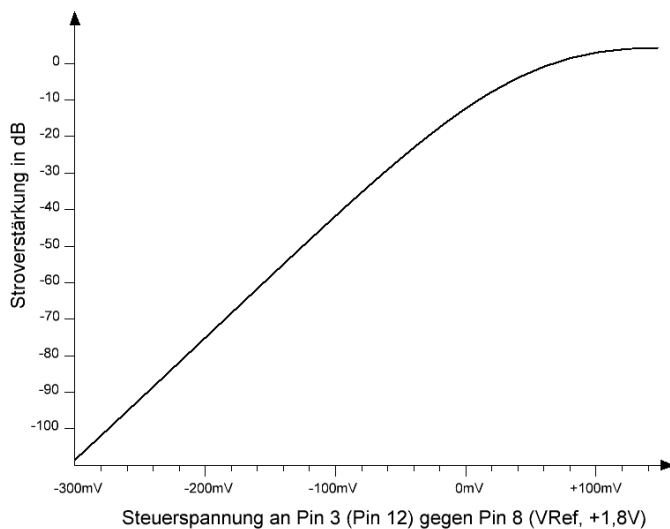


Abbildung 5: Kleine negative Versorgungsspannungen erzeugen eine Schwelle bis zum Einsetzen der Steuerung

Für eine exponentielle Steuercharakteristik, wird der Log-Converter nicht benutzt, sein Ein- und Ausgang bleiben offen - oder er wird für eine Anwendung benutzt. Die Spannung am Pin V_E - gemessen gegen Pin 8 ($V_{Ref, +1,8V}$) - darf zwischen -300mV (-100dB) und +100mV (0dB) liegen. Hierzu wird die Steuerspannung,



die in den meisten Anwendungen im Bereich +2,048V und +10V (gegen Masse) liegt, über einen Spannungsteiler zwischen der Steuerspannung und der Referenzspannung aus Pin 8 an den Pin V_E gelegt. In Abbildung 1 ist der obere VCA für einen exponentiellen Kennlinienverlauf beschaltet. In dieser Konfiguration ist eine Steuerspannung von 0V (-100dB) bis +2,2V (0dB) zum Betrieb des VCA erforderlich. Für eine höhere Steuerspannung, z.B. +5V oder +10V, muss man einen weiteren Widerstand vom V_{EE} -Pin zum V_E -Pin schalten und die Widerstände entsprechend skalieren. Dabei ist zu beachten, dass die Referenzspannungsquelle an Pin 8 nur mit +400µA (Source) bzw. -1mA (Sink) belastet werden kann.

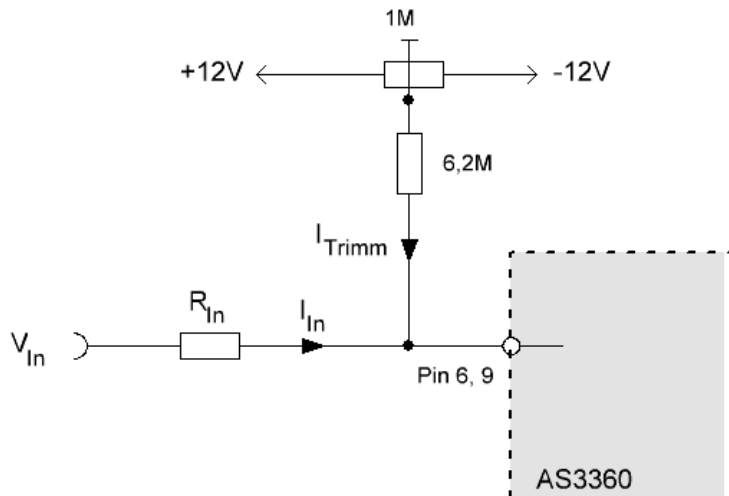
Abbildung 6: Der Verlauf der exponentiellen Steuerkennlinie wird oberhalb von -20dB linearer

Für alle Steuerspannungen gilt aber, dass die Gesamtimpedanz des Widerstandsnetzwerks am Pin V_E unter 5kΩ liegen sollte, um die Steuercharakteristik nicht zu sehr zu verändern.

Trimmung

Nein, der AS3340 muss nicht getrimmt zu werden - man kann es aber tun. Und zwar dann, wenn der Durchgriff der Steuerspannung auf den Ausgangsstrom (typisch 0,07µA, entspricht bei einem

Ausgangsstrom von $\pm 250\mu\text{A}$ etwa -70dB) für eine hochgenaue Anwendung immer noch zu groß ist. In



diesem Fall kann man den Wert nochmals um 20dB auf insgesamt -90dB verbessern, wenn man eine sehr kleine Korrekturspannung an den Signaleingang legt. Die Spannung wird bei maximaler Verstärkung (= maximale Steuerspannung) über einen Trimmer so eingestellt, dass bei einem Eingangsstrom von $0\mu\text{A}$ der Ausgangsstrom ebenfalls 0 (bzw. minimal) wird. Die Messung wird am besten über die Ausgangsspannung über dem Ausgangswiderstand durchgeführt, die ja proportional zum Ausgangsstrom ist.

Abbildung 7: So können der Durchgriff der Steuerspannung und die Eingangs-Offsetspannung kompensiert werden

Ein weiterer Parameter, den man, falls erforderlich, trimmen kann, ist die Eingangs-Offsetspannung, die sich im Bereich von maximal $\pm 10\text{mV}$ (typisch $\pm 5\text{mV}$) bewegt. Da es sich beim AS3360 genau genommen aber nicht um einen echten Verstärker handelt, der diese Offset-Spannung hoch verstärken würde, sondern um einen Abschwächer, ist die Ausgangs-Offsetspannung niemals größer als die am Eingang, und damit in den meisten Fällen vernachlässigbar. Da es eine Gleichspannung ist, ist sie nicht hörbar, sondern sorgt in der nachfolgenden Stufe lediglich für einen minimalen DC-Offset. Abhilfe kann man auf klassische Weise mit einer Wechselspannungs-Kopplung schaffen, oder den Offset zusammen mit dem Steuerspannungs-Durchgriff (Abbildung 7) kompensieren.

Dabei ist darauf zu achten, dass der Korrekturstrom I_{Trim} , der dem Eingang zugeführt wird, das gesamte Worst-Case-Szenario (Control Feedthrough plus Input Offset) ausgleichen kann:
$$I_{\text{trim}} = \frac{\pm 10\text{mV}}{R_{\text{in}}}$$

Anwendungen

Auch wenn bei oberflächlichem Lesen dieser Applikationshinweise der Eindruck entstehen kann, der Einsatz eines AS3360 wäre kompliziert, dann kommt hier die Entwarnung. Trimmen ist in einer normalen Anwendung in Synthesizern nicht notwendig. Auch sind die Spannungen an den Eingängen in der Regel mehrere Volt groß, sodass man bei der Berechnung der Eingangswiderstände mit „Virtual Ground Summing Nodes“ kalkulieren kann. Auch der Offset der Steuerspannung von 160mV bei einer negativen Versorgungsspannung von -5V , die man ohnehin nur benötigt, wenn die 80dB Dämpfung nicht ausreichen, kann in einigen Fällen vernachlässigt werden. Was bleibt, ist ein trimm-freier VCA, der im Fall einer linearen Kennlinie mit nur zwei Widerständen betrieben werden kann. Einfacher geht es fast nicht mehr.

Neben der klassischen Anwendung als VCA (Abbildung 1 und 8) kann der AS3360 für viele andere Anwendungen eingesetzt werden. Im Original-Datenblatt des CEM3360 finden sich zwei weitere Anwendungen, ein spannungsgesteuerter Tiefpass-Filter-Pol und spannungsgesteuerter LFO mit zwei Wellenformen.

Als VCA kann man den AS3360 als spannungsgesteuerte Volumenregler für AS3340 VCOs einsetzen. Bild 8 zeigt eine Variante für zwei VCO und einem AS3360. Mit zwei AS3360 könnte man z.B. 3 VCO plus einen

weiten Kanal für Rauschen oder externe Signale realisieren. Alle vier Ausgangsströme würden in diesem Fall über den Ausgangs-OpAmp in Spannungen umgewandelt. Dabei muss der Rückkopplungswiderstand entsprechend angepasst werden. Die beiden AS3360 werden linear mit 0V bis 2,0V angesteuert.

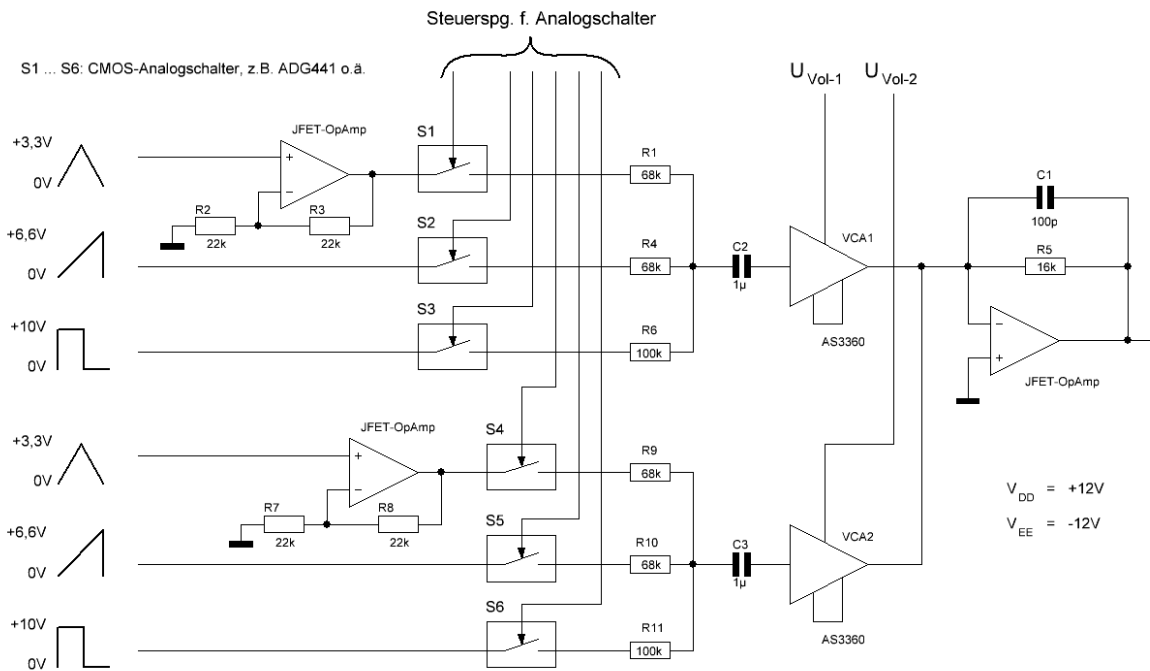
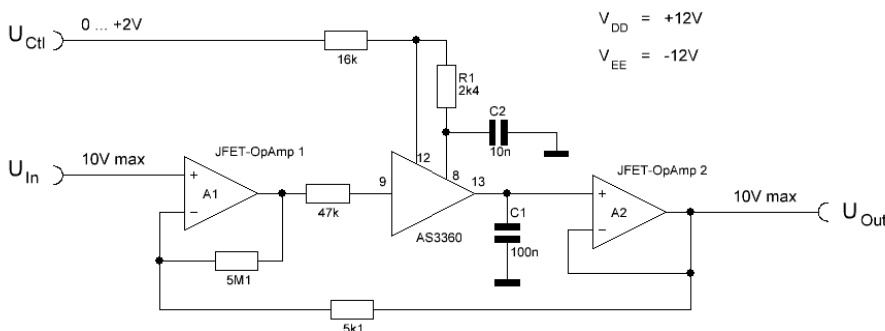


Abbildung 8: Der AS3360 als Mixer, hier für zwei AS3340 VCO

Eine weitere interessante Schaltung ist in Abbildung 9 skizziert, eine spannungsgesteuerte Glide-Funktion. Die Eingangsspannung wird über den Vergleicher A1 mit der Ausgangsspannung von A2 verglichen. Je nachdem ob sie größer oder kleiner ist, springt der Ausgang von A1 auf seine maximale negative oder positive Ausgangsspannung. Diese wird über den Widerstand 47k in einen Eingangsstrom für den AS3360 umgewandelt. Die Steuerspannung des VCA bestimmt die Größe des Ausgangsstroms der den



Kondensator C1 so lange lädt oder entlädt bis Eingangs- und Ausgangsspannung gleich sind. In diesem Fall geht die Spannungs-differenz an den beiden Eingängen von A1 gegen Null und die Spannung $U_{Out} = U_{In}$ wird gehalten.

Abbildung 9: Spannungsgesteuerte Glide-Funktion (Slew-Limiter) mit dem AS3360.

Technische Änderungen und Druckfehler vorbehalten. Erstausgabe: 22. April 2020, Rev. 1.0

Dieser Applikationshinweis stellt keine Garantieerklärung nach BGB §443 dar.

Waren- und Firmennamen werden in diesem Dokument ohne Gewährleistung der freien Verfügbarkeit benutzt.

Abbildungen und technische Angaben wurden sorgfältig erarbeitet. Trotzdem sind Fehler nicht völlig auszuschließen. Der Autor kann für fehlerhafte Angaben und deren Folgen weder eine juristische Verantwortung noch irgend eine Haftung übernehmen.

(C), 2020, Manfred Lipp - Advanced Analog Systems. Alle Rechte vorbehalten. Vervielfältigung, auch auszugsweise, nur mit ausdrücklicher Genehmigung.

