

1. Einführung

Das Modul **A-196** enthält eine sogenannte **Phase Locked Loop (PLL)** - im deutschen mit "Nachlauf-synchronisation" bezeichnet, die aus den Komponenten **VCO** (lineare Steuerspannungskennlinie, Rechteck-Ausgang), **Phasen-Komparator (PC)** und **Tiefpassfilter (LPF)** besteht.

Alle Komponenten sind im A-196 mittels Schaltbuchsen als getrennte Blöcke verfügbar, so dass Sie beispielsweise den VCO auch einzeln als Rechteck-VCO mit linearer Kennlinie verwenden können.

Der VCO hat die Bedienelemente **Range** und **Offset**. Mit Range wählen Sie einen von drei Frequenzbereichen, mit Hilfe des Offset-Regler stellen Sie die niedrigstmögliche Frequenz ein. Da der VCO linear gesteuert wird, ist diese (theoretisch) Null Hz.

Der A-196 beinhaltet **3 verschiedene Typen von Phasenkomparatoren** (mittels Schalter wählbar). Eine LED zeigt an, wenn beim Typ 2 die PLL "eingerastet" (engl. *locked*) ist, d.h. wenn die Frequenz des internen VCOs mit der externen Frequenz exakt übereinstimmt.

2. Funktionsprinzip

Die **drei PLL-Einheiten VCO, PC und LPF** bilden ein **rückgekoppeltes System**, das folgendermaßen arbeitet:

- Der Ausgang des internen VCOs wird im Phasen-Komparator PC mit der Frequenz eines externen Signals (z.B. Rechteck-Signal eines A-110) verglichen. Der PC erzeugt ein digitales Signal, das angibt, ob die Frequenz- bzw. die Phasen-Differenz der beiden verglichenen Signale positiv, Null oder negativ ist. Dieses Signal wird mit dem Tiefpass-Filter LPF geglättet, um ein **"weiches" Steuerungssignal** (d.h. geringe Restwelligkeit) für den **internen VCO** zu erhalten.
- Entsprechend diesem Steuersignal wird die Steuerungsspannung für den internen VCO solange nachgeführt, bis - nach einer gewissen Verzögerungszeit, die durch die Frequenz des LPF festgelegt wird - die Frequenz des internen VCOs und die externe Frequenz gleich sind.

Besonderes Augenmerk muss auch der Frequenz des LPFs geschenkt werden. Um eine möglichst geringe Restwelligkeit bei der Steuerungsspannung für den internen VCO zu erhalten, sollte die Frequenz des LPF deutlich

niedriger als die Frequenz des externen Signals bzw. des internen VCOs sein. Andernfalls "tanzt" die Frequenz des internen VCOs ständig um die Frequenz des externen Signals herum ("**Frequenz-Jitter**").

Soll jedoch die PLL in einem tieferen Frequenzbereich (z.B. 50Hz ... 1kHz) arbeiten, müsste im Normalfall die Frequenz des LPF ca. 10 Hz oder weniger betragen. Eine derart niedrige LPF-Frequenz wird jedoch zu bereits hörbaren **Gleit-Effekten** führen (eine Art Portamento).

Bei einer PLL muss man also immer einen Kompromiss zwischen Frequenz-Jitter und Nachgleiten finden. Dies gilt aber nur für den normalen Einsatz einer PLL.

Im Bereich der Klangsynthese jedoch kann man das oben beschriebene "Fehlverhalten" gezielt für bestimmte Effekte einsetzen. Schließlich kann man die Frequenz des LPF auch so hoch wählen, dass diese im Bereich des externen Signals bzw. des VCOs liegt. In diesem Fall ändert sich die Steuerungsspannung für den VCO innerhalb einer Periode, was wiederum zu neuen Effekten führt.

Da der A-196 in einem musikalischen Umfeld eingesetzt wird, reizen gerade die oben beschriebenen "Probleme" und "Nachteile" zum Experimentieren.

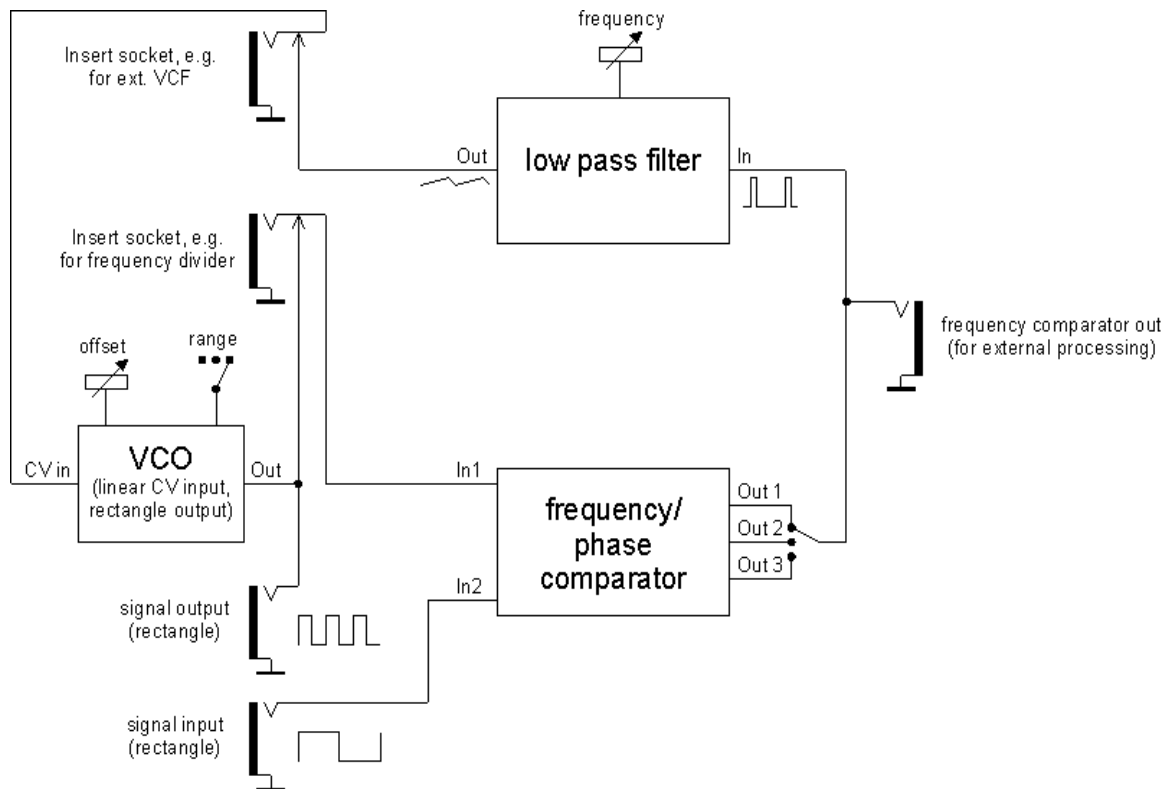
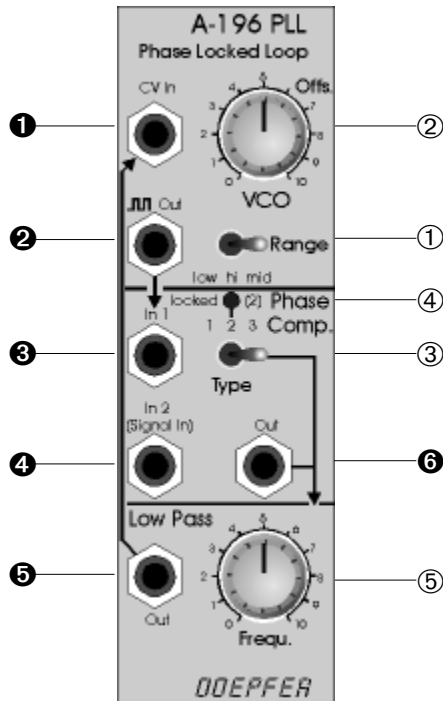


Abb. 1: Blockschaltbild des A-196

3. Übersicht



Bedienkomponenten:

- ① **Range :** Wahlschalter für Frequenzbereich
- ② **Offs. :** Regler für Frequenz-Offset
- ③ **Type :** Wahlschalter für Typ des Phasenkomparators
- ④ **LED :** Anzeige des “Einrastens” der PLL beim Phasenkomparator-Typ 2
- ⑤ **Frequ.:** Regler für Filterfrequenz des Tiefpassfilters

Ein- / Ausgänge:

- ① **CV In :** Steuerspannungs-Eingang des VCOs (intern verbunden mit ⑤)
- ② **Out :** Ausgang des VCOs mit Rechteck-Signal (intern verbunden mit ③)
- ③ **In 1 :** (interner) Signaleingang des PCs
- ④ **In 2 :** Signaleingang des PCs für externes Signal
- ⑤ **Out :** Ausgang des PCs (intern verbunden mit Eingang des Tiefpassfilters)
- ⑥ **Out :** Ausgang des Tiefpassfilters

4. Bedienelemente

① Range • ② Offs.

Den **Frequenzbereich** des internen VCOs wählen Sie mit dem **Schalter** ①.

Mit dem **Regler** ② stellen Sie den **Offset** der Frequenz, d.h. die **höchstmögliche Frequenz** im jeweiligen Bereich ein:

Range	Offset = 0	Offset = 5	Offset = 10
low	2 Hz - 50 Hz	2 Hz - 200 Hz	2 Hz - 1 kHz
mid	20 Hz - 500 Hz	20 Hz - 2 kHz	20 Hz - 10 kHz
high	200 Hz - 5 kHz	200 Hz - 20 kHz	100 Hz - 100 kHz

③ Type

Den **Typ des Phasenkomparators** wählen Sie mit diesem Schalter. Drei Typen stehen zur Verfügung:

- **PC 1** Exclusive-Oder-Gatter (Exor)
- **PC 2** RS-Flipflop
- **PC 3** komplexeres digitales Speichernetzwerk

Jeder der drei Komparatortypen hat seine speziellen Vor- und Nachteile. So "rastet" beispielsweise der PC mit Exor-Gatter (Typ 1) auch bei Harmonischen der Frequenzen (d.h. Frequenzvielfachen) ein, was jedoch für musikalische Anwendungen nicht unbedingt ein Nachteil sein muss, sondern gezielt genutzt werden kann.

④ LED

Diese LED zeigt an, wenn beim PC-Typ 2 die PLL "**eingerstet**" (engl. *locked*) ist, d.h. wenn die Frequenz des internen VCOs mit der externen Frequenz exakt übereinstimmt.

⑤ Frequ.

Mit diesem Regler bestimmen Sie die **Frequenz** des internen Tiefpassfilters.



Beachten Sie die in Kap. 2 beschriebenen Effekte bei der Einstellung der Filterfrequenz in Abhängigkeit des Frequenzbereiches, in dem die PLL arbeitet.

5. Ein- / Ausgänge

① CV In

Diese **Schaltbuchse** ist der Steuerspannungseingang für den VCO. Intern ist sie mit dem Ausgang des Tiefpassfilters verbunden.



Sie können den VCO des A-196 auch als **separaten Rechteck-VCO mit linearer Kennlinie** verwenden. Zur Steuerung / Modulation der VCO-Frequenz führen Sie an der Buchse ① eine entsprechende Steuerspannung zu.

② Out

An der Buchse ② greifen Sie das **Rechteck-Signal des VCOs** ab. Intern wird dieses Signal dem Phasenkomparator zugeführt.

③ In 1

Bei dieser **Schaltbuchse** handelt es sich um einen **Signal-Eingang** des Phasenkomparators. Intern ist dieser mit dem Ausgang des VCOs ② verbunden, sofern Sie hier kein anderes Signal zuführen.

④ In 2 (Signal In)

An diesem 2. Eingang des Phasenkomparators führen Sie das **externe Eingangssignal für die PLL** zu.

⑤ Out

Diese **Buchse** liefert entsprechend der Stellung von Schalter ④ das digitale Steuersignal des gewählten **Phasenkomparators**. Intern wird dieses dem Tiefpassfilter zugeführt. Dieses Ausgangssignal kann z.B. dazu verwendet werden, um in einem externen gleichspannungsgesteuerten Tiefpassfilter (z.B. der spannungsgesteuerte Slew-Limiter A-171) bearbeitet zu werden. Wechselspannungsgekoppelte Audio-Filter sind - mit Ausnahme spezieller Effekte - nicht geeignet, da die benötigten Frequenzen im Sub-Audio-Bereich liegen und die Signale gleichspannungsgekoppelt sein müssen.

⑥ Out

Hier liegt das **Ausgangssignal des Tiefpassfilters** liegt an. Die Buchse ist intern mit dem Steuerspannungs-Eingang des VCOs ① verbunden. Es gelten die gleichen Bemerkungen wie im vorhergehenden Absatz. Hier steht jedoch statt des direkten PC-Ausgangs ein bereits vorgefiltertes Signal zur Verfügung, um ggf. extern weiter bearbeitet zu werden.

6. Anwendungsbeispiele

Frequenz-Vervielfachung

Eine sehr wichtige Anwendung der PLL ist die **Frequenz-Vervielfachung**.

Hierzu wird der Ausgang des internen VCOs einem Frequenzteiler (z.B. A-163, A-160, A-161) zugeführt und dessen Ausgang mit dem Eingang ② des Phasenkomparators verbunden (s. Abb. 2). Hierdurch schwingt sich der interne VCO auf ein Vielfaches der Frequenz des extern zugeführten Signals ein. Für diese Anwendung ist PC2 am besten geeignet, da er nicht auf harmonische einrastet.

Wird z.B. der A-163 auf Teilerfaktor 5 eingestellt, so ergibt sich am Ausgang des internen VCOs die fünffache Frequenz des externen Signals.

Bei Verwendung des A-163 führt eine spannungsgesteuerte Frequenzteilung zu einer spannungsgesteuerten Frequenz-Vervielfachung; so können Sie per Steuerspannung am CV-Eingang des A-163 verschiedene Pseudo-Harmonische durchfahren ("Pseudo" wegen der Rechteck-Kurvenform).

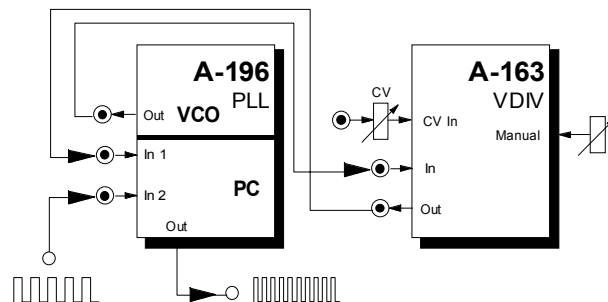


Abb. 2: Frequenz-Vervielfachung mit A-163

Grafischer VCO

Frequenz-Vervielfachung kann auch dazu benutzt werden, um das Clock-Signal für einen **grafischen VCO** zu erzeugen. Hierfür kann beispielsweise der A-155 verwendet werden - auch wenn er nur über Drehregler statt der üblicherweise bei grafischen VCOs verwendeten Schieberegler verfügt.

Hierzu wird der Clock-Eingang des A-155 mit einem in der PLL um den Faktor 8 multiplizierten Master-VCO-Signal angesteuert. Am Pre-Out des A-155 erscheint dann ein Audio-Signal, dessen Kurvenform mit den 8 Drehreglern eingestellt werden kann und dessen Frequenz identisch zu der des Master-VCOs ist.

Eine andere Anwendung ist die Erzeugung von Clock-Signalen für sog. "**Switched Capacitor Filter**" (Filter mit geschalteten Kondensatoren). Derartige Filter befinden sich zur Zeit in der Entwicklung.

Weiterhin sollten Sie das Modul A-196 auch als Experimentierfeld nutzen, wobei Sie die oben beschriebenen "Fehler" für die optimale PLL-Funktion bewusst nutzen.

So können Sie z.B. das VCO-Steuersignal gezielt mit einer Restwelligkeit (d.h. eigentlich zu schnell für eine optimale PLL-Funktion) oder mit einem sehr tief eingestellten Tiefpassfilter (d.h. eigentlich zu langsam für eine optimale PLL-Funktion) ansteuern.

Auch die oberen Frequenzgrenzen der drei VCO-Bereiche können Sie gezielt einsetzen ("Frequenz-Clipping").

Die 3 Phasenkomparatoren verhalten sich bei dem gleichen Patch meist sehr unterschiedlich, so dass hier sich ein weiteres Feld für Klangexperimente ergibt.

Weitere Anwendungen und Klangbeispiele finden Sie auf der Doepfer-Homepage www.doepfer.de auf der Infoseite des A-196.