



# **CS-8 Series**

**Bedienungsanleitung  
Omega-Phi II**



Bedienungsanleitung von Carsten Schippmann  
Grafikdesign CS-8 Series: Carsten Schippmann  
Elektronik- und Produktentwicklung: Carsten Schippmann

Englische Übersetzung von Carsten Schippmann

Kontakt:

Schippmann electronic musical instruments  
Dipl.-Ing. Carsten Schippmann  
Wartburgstr. 8  
D-10823 Berlin

Web: [www.schippmann-music.com](http://www.schippmann-music.com)  
Email: [info@schippmann-music.com](mailto:info@schippmann-music.com)

Die Firma *Schippmann electronic musical instruments* ist ständig an Verbesserungen und Weiterentwicklungen ihrer Produkte interessiert. Deshalb behalten wir uns vor, technische Änderungen, die der Verbesserung des Produktes dienen, jederzeit auch ohne Ankündigung vorzunehmen. Das Erscheinungsbild des Gerätes kann ebenfalls davon betroffen sein und daher von den Abbildungen dieser Anleitung abweichen.

Jegliche Vervielfältigung, auch auszugsweise, in jeder Form und für jeden Zweck, bedarf der schriftlichen Genehmigung von *Schippmann electronic musical instruments*.

© 2016, Schippmann electronic musical instruments, Irrtümer vorbehalten.

## VORWORT

Zunächst einmal herzlichen Glückwunsch zum Erwerb dieses 3 HE Synthesizer-Rackmoduls. Die vorliegende Bedienungsanleitung ist kurz gefasst und richtet sich an Benutzer mit gewissen Vorkenntnissen.

Der verbesserte **Thru-Zero<sup>2</sup>**  $\omega - \frac{\delta\varphi}{\delta t}$  **high performance VCO Omega-Phi II** der CS-8 Serie ist ein sogenannter *Thru-zero* Oszillator zum Quadrat.

*Verbessert wurde vor allem die Genauigkeit rund um die mathematische Abbildung der linearen (Thru-zero)-Frequenzmodulation. Dazu wurden diverse Schaltkreise ausgetauscht, verbessert und hinzugefügt.*

Oszillatoren dieser Gattung sind in der Lage negative Steuerspannungen zu verarbeiten, was zu einer Umkehrung ihres Phasenverlaufes führt.

Mit diesem technischen Unterschied ergeben sich für **Thru-zero** Oszillatoren sehr bedeutsame Eigenschaften. Im Vergleich zu gewöhnlichen Oszillatoren bleiben die harmonischen Verhältnisse unabhängig von der Modulationstiefe unverändert, weshalb mit solchen analogen Oszillatoren (sofern sie auch die technischen Qualitäten mitbringen) echte FM-Synthese möglich ist.

Ein ultimatives Feature des **Omega-Phi II**, darüberhinaus, ist eine echte **Phasenmodulationseinheit**. Sie ist dem Kern-VCO nachgeschaltet und der Frequenzmodulation in ihrer besonderen Klangästhetik sehr ähnlich. Durch die Nachschaltung ergeben sich zahlreiche und mächtige Möglichkeiten der Klangsynthese. Beispielsweise lassen sich mit der Phasenmodulation typische FM-Klänge erzeugen (Phi-Sektions-Ausgänge), während an den Omega-Sektions-Ausgängen zeitgleich unberührte Oszillatorwellenformen für z.B. subtraktive Klangsynthesen zur Verfügung stehen. Es lassen sich auch Modulationskaskaden generieren, indem ein erster Modulator FM-Synthese erzeugt und ein weiterer dieses Ergebnis, das auch an den Phasenmodulationsausgängen vorliegt, noch einmal phasenmoduliert. Die Möglichkeiten sprengen den Rahmen dieser Anleitung.

Daneben gibt es zahlreiche **Synchronisationsmöglichkeiten**, interessante Zwischenzustände (zwischen "Thru zero" und "normal"), für jede der beiden Omega- und Phi-Sektionen eine um eine Oktave tiefer schwingende

Subfrequenz und neben PWM ein ebenfalls mächtiges Sägezahn-Wave-shaping mit 1-2 Oktaven-herauf-Effekt. Außerdem stellt dieser Oszillator ein absolut superrundes Sinus bereit.

Die Frequenzbereiche lassen sich mit einem 4-pol Dreh- und einem Kippschalter flott und zielgenau über sieben Oktaven anwählen und von dort aus nochmal  $\pm$  eine Oktave, sowie  $\pm$  100 Cent stufenlos verstimmen. Der realisierbare Frequenzbereich liegt von alle paar Hundert Sekunden ein Knack bis zig Kilohertz.

Der Oszillator verfügt dank absoluter High-Tech-Komponenten über eine sehr hohe Oktavreinheit, beste Temperaturstabilität und wegen seines extrem geringen Phasenrauschens (Jitter) über einen überragend reinen Sound und ungeheuer druckvolles Potential.

Die Entwicklung und Fertigung bis hin zum Versand findet ausschließlich in Deutschland statt. Und nun viel Spaß!

Made in Germany

<b>1. GARANTIE</b> .....	5
<b>1.1 Garantieleistung</b> .....	5
<b>1.2 Garantieberechtigung</b> .....	5
<b>1.3 Übertragbarkeit der Garantieleistung</b> .....	5
<b>1.4 Schadensersatzansprüche</b> .....	5
<b>2. NORMKONFORMITÄT</b> .....	6
<b>3. ENTSORGUNG</b> .....	6
<b>4. SICHERHEITSHINWEISE</b> .....	7
<b>5. REINIGUNG</b> .....	8
<b>6. VORBEREITUNGEN</b> .....	8
<b>6.1 Auspacken</b> .....	8
<b>6.2 Aufstellen</b> .....	9
<b>7. MODULELEMENTE</b> .....	9
<b>7.1 Modulvorderseite</b> .....	9
<b>7.2 Modurrückseite</b> .....	13
<b>7.3 Inbetriebnahme</b> .....	15
<b>8.1. Struktur</b> .....	16
<b>8.2. Der e-Funktionsgenerator</b> .....	17
<b>8.3. Der VCO-Kern und seine Wellenformen</b> .....	18
<b>8.4. Die lineare Frequenzmodulation FM</b> .....	20
<b>8.4.1. Der FM VCA</b> .....	24
<b>8.5. Die Synchronisationssektion</b> .....	25
<b>8.6. Die Phasenmodulation PM</b> .....	27
<b>8.6.1. Der PM VCA</b> .....	30
<b>9. THEORETISCHE BETRACHTUNGEN</b> .....	31
<b>9.1. Frequenzmodulation FM</b> .....	31
<b>9.2. Phasenmodulation PM</b> .....	32
<b>10. TECHNISCHE DATEN UND GRENZWERTE</b> .....	36
<b>10.1 Technische Daten (allgemein)</b> .....	36
<b>10.2 Signale und Grenzwerte</b> .....	36

## 1. GARANTIE

### 1.1 Garantieleistung

*Schippmann electronic musical instruments* gewährt für elektronische und mechanische Bauteile des Produkts nach Maßgabe der hier beschriebenen Bedingungen, eine Garantie von 2 Jahren. Treten innerhalb dieser Garantiefrist berechtigte Mängel auf, so werden diese wahlweise durch Ersatz oder Reparatur des Gerätes behoben. Es gelten grundsätzlich die allgemeinen Geschäftsbedingungen der Firma *Schippmann electronic musical instruments*.

### 1.2 Garantieberechtigung

*Schippmann electronic musical instruments* behält sich vor, die Ausführung der Reparatur oder den Ersatz des Gerätes von der Garantieberechtigung abhängig zu machen. Hierzu ist es unter anderem notwendig, den Kaufbeleg (Händlerrechnung) beizufügen. Die endgültige Entscheidung über den Garantiesanspruch trifft ausschließlich *Schippmann electronic musical instruments*. Tritt ein berechtigter Garantiefall ein, wird das Produkt innerhalb von 30 Tagen nach Wareneingang bei *Schippmann electronic musical instruments* repariert oder ersetzt. Bei festgestellten mechanischen Beschädigungen und/oder Fremdeingriffen verfällt jegliche Garantieberechtigung. Produkte ohne Garantiesanspruch werden kostenpflichtig repariert. Die Kosten für Verpackung und Lieferung werden gesondert in Rechnung gestellt und per Nachnahme erhoben. Bei berechtigten Garantiesprüchen wird das Produkt innerhalb Deutschlands portofrei zugesandt. **Außerhalb Deutschlands erfolgt die Zusendung zu Lasten des Käufers.**

### 1.3 Übertragbarkeit der Garantieleistung

Die Garantie wird ausschließlich für den ursprünglichen Käufer geleistet und ist nicht übertragbar. Außer *Schippmann electronic musical instruments* ist kein Dritter (Händler, etc.) berechtigt, Garantieleistungen zuzusichern oder auszuführen. Andere als die vorgenannten Garantieleistungen werden nicht gewährt.

### 1.4 Schadensersatzansprüche

Schadensersatzansprüche jeglicher Art, insbesondere aufgrund von Folgeschäden sind ausgeschlossen. Die Haftung von *Schippmann electronic musical instruments* beschränkt sich in allen Fällen auf den Warenwert des Produktes. Alle Leistungen und Lieferungen erfolgen ausschließlich aufgrund der Allgemeinen Geschäftsbedingungen von *Schippmann electronic musical instruments*.

**Hinweis:** Die Bedienelemente, insbesondere die Potentiometer, vor allem Regler wie **Tune** oder **Index** sind **keine Controller!!** sondern nur Stellregler. Für verschlissene oder korrodierte Potentiometer, Buchsen und Schalter können wir keine Garantieleistungen übernehmen.

## 2. NORMKONFORMITÄT

Dieses Gerät wurde in Übereinstimmung mit der für Europa gültigen Norm **DIN EN 60065** (Sicherheitsanforderungen für Audio-, Video- und ähnliche elektronische Geräte) konstruiert.

Weiterhin wurde das Gerät in Übereinstimmung mit den Normen **EN 55103-1** (Störaussendung für AV-Geräte) und **EN 55103-2** (Störfestigkeit) konstruiert. Aufgrund seines rein analogen Aufbaus strahlt es keine Energie im Rundfunk-Frequenzbereich aus. Es ist äußerst störfest gegenüber äußeren Einflüssen, wie abgestrahlte Hochfrequenz (Handy, Phasenanschnittsteuerungen (Dimmer), Gasentladungslampen, etc.) oder leitungsgeführten Störungen, z.B. aus dem Stromnetz oder in Signalleitungen eingekoppelte Störungen.

## 3. ENTSORGUNG

Das Gerät wird in Übereinstimmung mit der Richtlinie des Europäischen Parlamentes und des Rates RoHS-konform gefertigt und ist somit frei von Blei, Quecksilber, Cadmium und sechswertigem Chrom.

**!! Dennoch handelt es sich bei der Entsorgung dieses Produktes um Sondermüll und darf nicht durch die gewöhnliche Mülltonne für Hausabfälle entsorgt werden!!**



**Zur Entsorgung wenden Sie sich bitte an Ihren Händler oder an Schippmann electronic musical instruments.**

#### **4.SICHERHEITSHINWEISE**

##### **BEVOR SIE DAS GERÄT BENUTZEN, LESEN SIE BITTE DIE GESAMTE BEDIENUNGSANLEITUNG.**

- BEACHTEN SIE BITTE, DAS KEINE KABEL GEKNICKT WERDEN.
- KABEL SOLLTEN NICHT IN REICHWEITE VON KINDERN ODER HAUSTIEREN VERLEGT WERDEN.
- TRETEN SIE NICHT AUF DAS GEHÄUSE DES GERÄTES, STELLEN SIE KEINE SCHWEREN GEGENSTÄNDE AUF DAS GERÄT.
- BEVOR SIE DAS GERÄT AN EINER ANDEREN STELLE AUFSTELLEN, ZIEHEN SIE BITTE DEN NETZSTECKER IHRER STROMVERSORGUNG AUS DER STECKDOSE UND ENTFERNEN SIE ALLE KABELVERBINDUNGEN.
- WENN SIE BLITZSCHLAG IN IHRER UMGEBUNG ERWARTEN, ZIEHEN SIE BITTE DEN NETZSTECKER IHRER STROMVERSORGUNG AUS DER STECKDOSE.
- DAS GERÄT DARF NUR VON AUTORISIERTEM FACHPERSONAL REPARIERT ODER MODIFIZIERT WERDEN. VERSUCHEN SIE NICHT, DIE INTERNEN SCHALTUNGEN ZU VERÄNDERN.
- STELLEN SIE KEINE OFFENEN BRANDQUELEN AUF DAS GERÄT.
- DAS GERÄT DARF NICHT TROPF-ODER SPRITZWASSER AUSGESETZT WERDEN.
- SOLLTE DIE MÖGLICHKEIT BESTEHEN; DASS DOCH WASSER IN DAS GERÄT EINGEDRUNGEN SEIN KÖNNTE, STELLEN SIE SICHER, DASS DAS GERÄT VOR BENUTZUNG WIEDER VOLLKOMMEN TROCKEN IST.
- FÜR KINDER GILT: EIN ERWACHSENER SOLLTE DIE EINHALTUNG ALLER SICHERHEITSRATSCHLÄGE GEWÄHRLEISTEN.
- SCHÜTZEN SIE DAS GERÄT VOR MECHANISCHEN BELASTUNGEN ODER SCHLÄGEN (NICHT FALLEN LASSEN!).
- BENUTZEN SIE DAS GERÄT NICHT AN EINER STECKDOSE MIT ZU VIELEN ANDEREN ANGESCHLOSSENEN ELEKTRISCHEN GERÄTEN. DAS GILT BESONDERS BEI DER VERWENDUNG VON VERLÄNGERUNGSKABELN.
- DIE GESAMTE LEISTUNG ALLER AN EINER STECKDOSE ANGESCHLOSSENEN GERÄTE DARF NIEMALS DIE ELEKTRISCHE

BELASTBARKEIT DES VERLÄNGERUNGSKABELS ÜBERSCHREITEN.  
ÜBERBELASTUNGEN KÖNNEN ZU BRÄNDEN FÜHREN.

- **VERMEIDEN SIE HOHE KRAFTEINWIRKUNG AUF DIE ANSCHLUSSBUCHSEN UND DIE BEDIENUNGSELEMENTE**
- **SCHÜTZEN SIE IHRE LAUTSPRECHER VOR ZU HOHEN LAUTSTÄRKEN; DAS CS-8 PHS-28 MODUL KANN SOWOHL EXTREM TIEFE ALS AUCH SEHR HOHE (ULTRASCHALL) FREQUENZEN ERZEUGEN. BEIDES KANN ZERSTÖRERISCH SEIN!**

## 5. REINIGUNG

- BEVOR SIE DAS GERÄT REINIGEN, ZIEHEN SIE BITTE DEN NETZSTECKER AUS DER STECKDOSE ODER TRENNEN DAS MODUL VON SEINER STROMVERSORGUNG DURCH ABZIEHEN DES FLACHBANDKABELS.
- VERWENDEN SIE ZUR REINIGUNG EIN TROCKENES ODER LEICHT ANGEFEUCHTETES TUCH ODER DRUCKLUFT. VERWENDEN SIE NIEMALS LÖSUNGSMITTEL (TERPENTIN, NITROVERDÜNNER, ACETON), AUFDRUCKE UND LACKSCHICHTEN LÖSEN SICH DARIN UNVERZÜGLICH AUF!! VERMEIDEN SIE AUCH ALKOHOLE (ISOPROSPANOL), BENZIN, SPIRITUS UND ANDERE REINIGER!

## 6. VORBEREITUNGEN

### 6.1 Auspacken

Im Versandkarton sollten Sie folgendes vorfinden:

- 1 x CS-8 Series VCO Omega-Phi 3HE Rackmodul
- 1 x Flachbandkabel (20 cm Länge mit zwei 16 poligen IDC-Steckern)
- 4 x M3 Schrauben
- 4 x Polypropylen Unterlegscheiben
- diese Anleitung

Falls der Inhalt der Verpackung unvollständig sein sollte, kontaktieren Sie bitte Ihren Händler oder *Schippmann electronic musical instruments*. Falls das Gerät Transportschäden aufweisen sollte, kontaktieren Sie bitte unbedingt und

unverzöglich das zuständige Versandunternehmen! Wir geben Ihnen dabei gerne Hilfestellung.

## **6.2 Aufstellen**

Platzieren Sie das Gerät auf einer ebenen, sauberen und ausreichend großen, stabilen und tragfähigen Fläche oder einem geeigneten Gerätestander. Das Gerät benötigt für den vorgesehenen Einbau ein 3 HE (Höheneinheiten) Rack-Gehäuse mit einer  $\pm 12$  V Stromversorgung. Der HDH6/VDL6 ist mit diskreten, analogen Bauelementen realisiert, weshalb die Umgebungstemperatur naturgemäß immer einen endlichen Einfluss auf alle Parameter hat. Wenn sie stabile Verhältnisse wollen, vermeiden Sie den Betrieb des Gerätes oberhalb von Geräten, die viel Wärme abstrahlen (z.B. Endstufen), ebenso wie starke Bestrahlung durch heiße Lichtquellen (direkte Sonneneinstrahlung, heiße Punktstrahler, etc.).

## **7. MODULELEMENTE**

### **7.1 Modulvorderseite**

Abb. 1 zeigt das Frontpanel mit einer Durchnummerierung aller Bedienelemente und Buchsen.

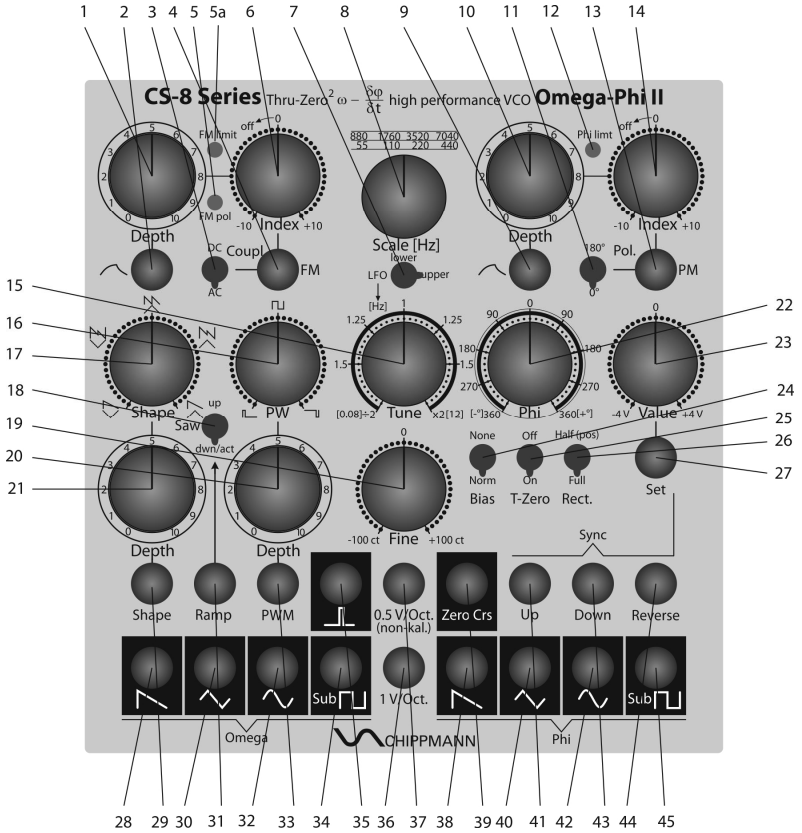


Abb. 1 Omega-Phi II Frontseite

1. **Depth** Potentiometer – schwächt das Modulationssignal für **FM** an *Buchse 2* zwischen 0 und 1 ab
2. **Modulationseingang** (Hüllkurvensymbol) Buchse (Eingang) – führt das anliegende Signal über *Pot. 1* zum Steuereingang des FM-Index-VCA's
3. **Coupling** 2-pos. Kippschalter – wählt für das FM-Modulationssignal an *Buchse 4* die Kopplung AC (Wechselspannung) oder DC (Gleichspannung) aus
4. **FM** Buchse (Eingang) – führt das anliegende Signal zum Signaleingang des FM-Index-VCA's
5. **FM pol** 2-farb-LED – zeigt den momentanen Arbeitsbereich des Kern-VCO's an; "grün" -> positiver Frequenzbereich, "rot" -> negativer Frequenzbereich
- 5a. **FM limit** 2-farb-LED – zeigt das Erreichen des maximalen Frequenzmodulationsindex' an; "grün" -> positive Spannungswerte, "rot" -> negative Spannungswerte
6. **Index** Potentiometer – regelt am Steuereingang des FM-Index-VCA's die Modulationstiefe des FM-Signals an *Buchse 4*
7. **Scale** 3-pos. Kippschalter – bestimmt die Grundfrequenz (ohne äußere Steuerspannungen) des VCO's
8. **Scale** 4-pol Drehschalter – bestimmt die Grundfrequenz des VCO's
9. **Modulationseingang** (Hüllkurvensymbol) Buchse (Eingang) – führt das anliegende Signal über *Pot. 10* zum Steuereingang des PM-Index-VCA's
10. **Depth** Potentiometer – schwächt das Modulationssignal für **PM** an *Buchse 9* zwischen 0 und 1 ab
11. **Polarity** 2-pos. Kippschalter – wählt für das PM-Modulationssignal an *Buchse 13* die Polarität aus (phasenrichtig oder invers)
12. **Phi limit** 2-farb-LED – zeigt das Erreichen des maximalen Modulationsindex' an; "grün" -> positiver Phasenrand, "rot" -> negativer Phasenrand
13. **PM** Buchse (Eingang) – führt das anliegende Signal zum Signaleingang des PM-Index-VCA's
14. **Index** Potentiometer – regelt am Steuereingang des PM-Index-VCA's die Modulationstiefe des PM-Signals an *Buchse 13*
15. **Tune** Potentiometer – verstimmt die Tonhöhe ausgehend von "Scale" um  $\pm 1$  Oktave
16. **PW** Potentiometer – stellt das Tastverhältnis des Rechtecksignals an *Buchse 35* ein
17. **Shape** Potentiometer – versetzt den Sägezahnverlauf an *Buchse 28* bezüglich des Dreiecksignals (*Buchse 30*) an seinen Eck-(Umkehr)punkten

18. **Saw** 2-pos. Kippschalter – steigendes oder fallendes Sägezahn und aktiviert gleichzeitig *Buchse 31* (Stellung "dwn/act")
19. **Fine** Potentiometer – verstimmt die Tonhöhe ausgehend von "Scale" um  $\pm 100$  Cent (1 Halbton in temperierter Stimmung)
20. **Depth** Potentiometer – wirkt auf das Tastverhältnis; schwächt das Modulationssignal für PWM an *Buchse 33* zwischen 0 und 1 ab
21. **Depth** Potentiometer – wirkt auf die Sägezahnversetzung, schwächt das Modulationssignal für Shape an *Buchse 29* zwischen 0 und 1 ab
22. **Phi** Potentiometer – stellt die Phasenlage aller Phi-Ausgänge (*Buchsen 38, 40, 42, 45*) gegenüber den Omega-Ausgängen (*Buchsen 28, 30, 32, 34, 35*) zwischen  $\pm 360^\circ$  ein
23. **Value** Potentiometer – setzt denjenigen Spannungswert fest, den das Dreieckssignals bei einem Sync-Ereignis an *Buchse 27* sprunghaft einnimmt
24. **Bias** 2-pos. Kippschalter – schaltet intern am Linear-FM-Eingang eine Grundfrequenz ein ("Norm") oder aus ("None", Oszillator schwingt nicht mehr ohne Spannung am FM-Eingang)
25. **T-Zero** 2-pos. Kippschalter – schaltet die Thru-zero Fähigkeit (Verlaufsumkehr) ein ("On") oder aus ("Off")
26. **Rectifier** 2-pos. Kippschalter – bestimmt die Art der Spannungsgleichrichtung am FM-Lineareingang, Fullwave ("Full") oder Halfwave für positive Spannungen ("Half (pos)") - dies ist eine Funktion, die im Zuge der hier angewandten Thru-zero Architektur abfällt
27. **Set** Buchse (Eingang) – Synchronisationseingang setzt bei Überschreiten eines Schwellwertes (ca. +3 V) das Dreieckssignal auf den mit "*Value*" (23) eingestellten Wert (hard sync)
28. **Saw (Symbol)** Buchse (Ausgang) – Sägezahnausgang des Kernoszillators (Omega), 4 - 8 Vpp
29. **Shape** Buchse (Eingang) – CV-Eingang, abgeschwächt durch *Pot 17*, verändert die Sägezahn form
30. **Triangle (Symbol)** Buchse (Ausgang) – Dreiecksausgang des Kernoszillators (Omega), 8 Vpp
31. **Ramp** Buchse (Digital-Eingang) – nur aktiv in Stellung "dwn/act" des Schalters "18", 0 V = Sägezahn steigend,  $>+3$  V (oder offener Eingang) = Sägezahn fallend
32. **Sinus (Symbol)** Buchse (Ausgang) – Sinusausgang des Kernoszillators (Omega), 8 Vpp
33. **PWM** Buchse (Eingang) – CV-Eingang, abgeschwächt durch *Pot 20*, verändert das Tastverhältnis an *Buchse 35*

34. **Sub Rectangle (Symbol)** Buchse (Ausgang) – 50%-Rechteckausgang um eine Oktave vermindert zum Kernoszillator (Omega), 10 Vpp
35. **Pulse (Symbol)** Buchse (Ausgang) – Rechteckausgang mit variablem Tastverhältnis des Kernoszillator (Omega), 10 Vpp
36. **1V/Oct.** Buchse (Eingang) – CV-Eingang zur kalibrierten exponentiellen Steuerung der Oszillatorfrequenz (Omega & Phi) mit einer Empfindlichkeit von einer Oktave pro Volt
37. **0.5V/Oct. (non-cal.)** Buchse (Eingang) – CV-Eingang zur nicht-kalibrierten exponentiellen Steuerung der Oszillatorfrequenz (Omega & Phi) mit einer Empfindlichkeit von ca. zwei Oktaven pro Volt
38. **Saw (Symbol)** Buchse (Ausgang) – Sägezahn ausgang des Phasenteils (Phi), 8 Vpp
39. **Zero Crs** Buchse (Ausgang) – Ausgang des Nulldurchgangsdetektors des FM-Lineareinganges - +5 V -> positive Gesamtsteuerspannung, 0 V -> negative Gesamtsteuerspannung
40. **Triangle (Symbol)** Buchse (Ausgang) – Dreieckausgang des Phasenteils (Phi), 8 Vpp
41. **Up** Buchse (Eingang) – Synchronisationseingang versetzt bei Überschreiten eines Schwellwertes (ca. +3 V) das Dreiecksignal stets in die ansteigende Verlaufsrichtung (soft sync)
42. **Sinus (Symbol)** Buchse (Ausgang) – Sinusausgang des Phasenteils (Phi), 8 Vpp
43. **Down** Buchse (Eingang) – Synchronisationseingang versetzt bei Überschreiten eines Schwellwertes (ca. +3 V) das Dreiecksignal stets in die fallende Verlaufsrichtung (soft sync)
44. **Reverse** Buchse (Eingang) – Synchronisationseingang versetzt bei Überschreiten eines Schwellwertes (ca. +3 V) das Dreiecksignal stets in die entgegengesetzte Verlaufsrichtung (soft sync)
45. **Sub Rectangle (Symbol)** Buchse (Ausgang) – 50%-Rechteckausgang um eine Oktave vermindert zum Phasenteil (Phi), 10 Vpp

## 7.2 Modulrückseite

Abb. 2 zeigt die Modulrückseite mit Durchnummerierung der Elemente.

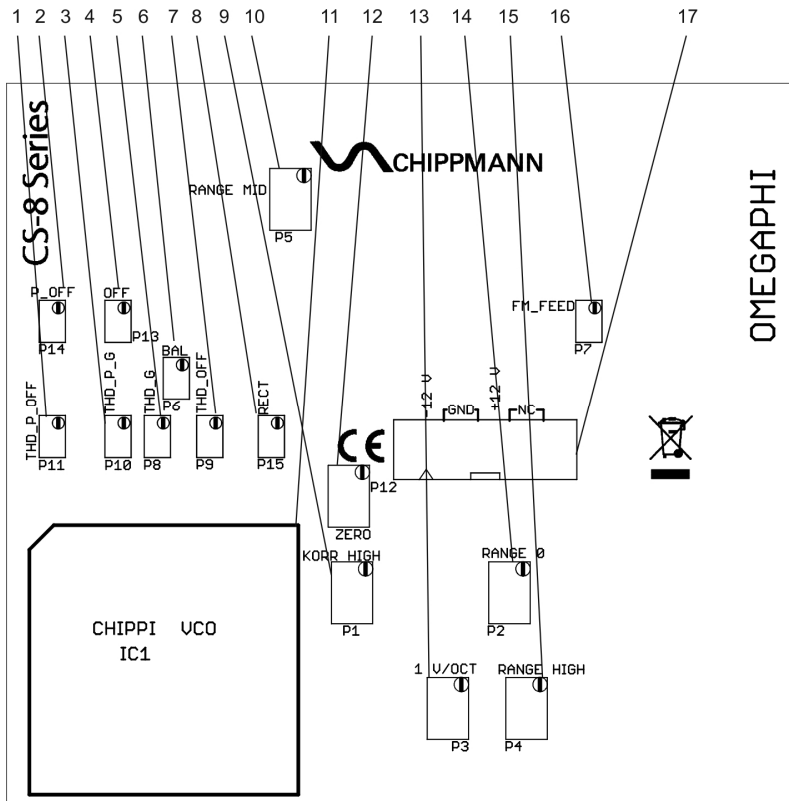


Abb. 2 Modulrückseite

1. **THD OFF P** 12-Gang-Trimmer **P11** – THD-Kalibrierung des Sinus' des Phi-Outputs
2. **P\_OFF** 12-Gang-Trimmer **P14** – Gleichspannungsoffset des Sinus' des Phi-Outputs
3. **THD G P** 12-Gang-Trimmer **P10** – THD-Kalibrierung des Sinus' des Phi-Outputs
4. **OFF** 12-Gang-Trimmer **P13** – Gleichspannungsoffset des Sinus' des Omega-Outputs



5. **THD G** 12-Gang-Trimmer **P8** – THD-Kalibrierung des Sinus' des Omega-Outputs
6. **BAL** 12-Gang-Trimmer **P6** – Kalibrierung der Dreiecksymmetrie des Oszillatorkerns
7. **THD OFF** 12-Gang-Trimmer **P9** – THD-Kalibrierung des Sinus' des Omega-Outputs
8. **RECT** 12-Gang-Trimmer **P15** – Kalibrierung des Thru-zero Gleichrichters
9. **KORR HIGH** 25-Gang-Trimmer **P1** – Kalibrierung des Verstärkungsfehlers des e-Funktionsgenerators bei 7.04 kHz
10. **RANGE MID** 25-Gang-Trimmer **P5** – Kalibrierung des Kammerton A (440 Hz)
11. **IC1** - aufgestecktes Oszillatormodul
12. **ZERO** 25-Gang-Trimmer **P12** – Kalibrierung auf 0 Hz bei Bias = "None" & Exp. Frequenz = 20 kHz
13. **1 V / OCT** 25-Gang-Trimmer **P3** – Kalibrierung der Scale am e-Funktionseingang *Buchse 36* auf 1 Volt/Oktave
14. **RANGE 0** 25-Gang-Trimmer **P2** – Kalibrierung der untersten Grundfrequenz (55 Hz)
15. **RANGE HIGH** 25-Gang-Trimmer **P4** – Kalibrierung der obersten Frequenz (7040 Hz, upper row)
16. **FM Feed** 12-Gang-Trimmer **P7** – Feed-through-Kalibrierung des Frequenzmodulations-VCA's
17. **16 Pin Stromversorgungs-Stiftwanne**

### 7.3 Inbetriebnahme

Die Pinbelegung in der Stiftwanne (**17**) in Draufsicht gemäß Abb.2 wird wie folgt gezählt: von unten nach oben, von links nach rechts. Pin 1 ist also links unten, Pin 2 über Pin 1, ..., Pin 15 rechts unten, Pin 16 rechts oben.

Pin 1, 2 = -12 V (Dreieckmarkierung)

Pin 3-8 = GND (Masse, Bezugspotential, 0 V), auch außen auf allen Buchsen

Pin 9, 10 = +12 V

Pin 11-16 = nicht belegt

Einer der beiden IDC-Stecker am jeweiligen Ende des beiliegenden Flachbandkabels wird mit der mittigen Führungsnase nach unten gemäß der

Abb.2 in die Stiftwanne gesteckt. Die rote Markierung des Flachkabels liegt dann gemäß der Abb. 2 links an der Dreiecksmarkierung.

## 8. MODULBESCHREIBUNG

### 8.1. Struktur

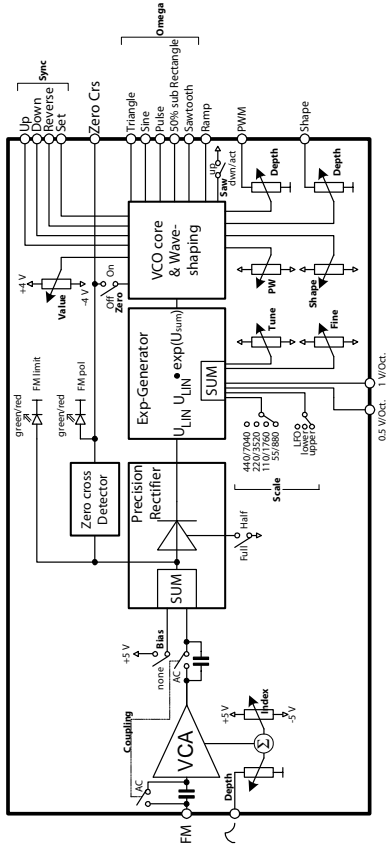


Abb. 3a Strukturbild des Oszillatorkerns

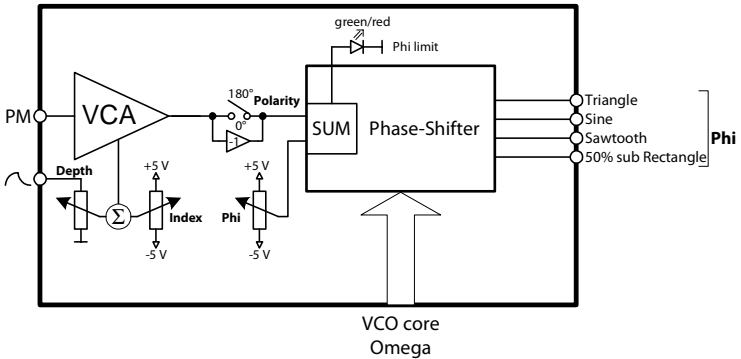


Abb. 3b Strukturbild des Phasenschiebers

Die Abb. 3a und 3b zeigen die vollständige Struktur des Oszillators. Es werden nun Stück für Stück alle Teile daraus beschrieben und ggfls. mit Hilfe weiterer Grafiken veranschaulicht.

## 8.2. Der e-Funktionsgenerator

Ein e-Funktionsgenerator (Exp-Generator in Abb. 3a) ist praktisch jedem Musik-VCO zu eigen. Es gibt einen linearen Spannungseingang, bei dem die Oszillatorfrequenz in Hertz/Volt skaliert ist und einen exponentiell wirkenden Spannungseingang, dessen Funktion man in Oktaven/Volt oder Dekaden/Volt angeben kann. Allgemein erhält man für die letztendliche Steuerspannung  $U_C$  den mathematischen Ausdruck:  $U_C = U_{lin} \cdot e^{\alpha U_{sum}}$ , wobei  $\alpha$  ein exponentieller Skalierungsfaktor ist und  $U_{sum}$  die Gesamtspannung am exponentiellen Eingang (im folgenden e-Eingang genannt). Und diese setzt sich wie folgt zusammen.

**Scale-Schalter:** Mit dem 3-Positionen Kippschalter (*upper, lower, LFO*) bestimmt man den Wählbereich des 4-fach-Drehschalters. In der Position "lower" werden also in Oktavschritten die Frequenzen der unteren Wertezeile 55 Hz, 110 Hz, 220 Hz und 440 Hz vom VCO-Kern ausgegeben. In der Stellung "upper" sind es diejenigen in der oberen Zeile, 880 Hz, 1760 Hz, 3520 Hz und 7040 Hz. In der Stellung "LFO" wird die Frequenz bei der "55 Hz"-Stellung des Drehschalters und bei Linksanschlag des Tune-Reglers etwa 0.08 Hz betragen.

**Tune:** Dieser Regler soll normaler Weise in der Mitte stehen, er verschiebt (von dort aus links/rechts) in den Stellungen "upper" und "lower" die eingestellten Frequenzen noch einmal um  $\pm 1$  Oktave (ein bisschen mehr). In der Stellung "LFO" bekommt er jedoch einen wesentlich größeren Einflußbereich verpasst. In der "55 Hz"-Stellung regelt er von links nach rechts die Frequenz von etwa 0.08 Hz bis 12 Hz, das ist ein Multiplikator von 150 und entspricht etwa 7.2 Oktaven. Der Drehschalter oktaviert aber nachwievor diesen Frequenzbereich. In Stellung "440 Hz" regelt "Tune" dann also von etwa 0.64 Hz bis ungefähr 100Hz. Feine Sache soweit.

**Fine:** Dieser Regler ist für feinste Frequenzkorrekturen und zum Einstellen definierter Schwebungen gedacht. Er steht normaler Weise in der Mitte und verschiebt die bis hierher eingestellte Frequenz noch einmal um  $\pm 100$  Cent (ein bisschen mehr). 100 Cent entsprechen einem Halbton in der wohl temperierten Stimmung.

**1 V/Oct**-Buchse: Eine von außen an diese Buchse angelegte Spannung erhöht (oder verringert) die nun bis hierher eingestellte Oszillatorfrequenz mit einer Empfindlichkeit von einer Oktave (x2) pro +Volt, bzw. ( $\div 2$ ) pro -Volt (negative Spannungen). Dieser Eingang ist kalibriert.

**0.5 V/Oct**-Buchse: Eine von außen an diese Buchse angelegte Spannung erhöht (oder verringert) die nun bis hierher eingestellte Oszillatorfrequenz mit einer Empfindlichkeit von zwei Oktaven (x4) pro +Volt, bzw. ( $\div 4$ ) pro -Volt (negative Spannungen). Dieser Eingang ist **nicht** kalibriert, d.h. diese Werte gelten nur ungefähr mit ein paar Prozent Abweichung und von Oszillator zu Oszillator verschieden.

Jede einzelne dieser Einflußgrößen auf den Summeneingang des e-Funktionsgenerators verhält sich also multiplikativ nicht additiv!

### 8.3. Der VCO-Kern und seine Wellenformen

Der VCO gibt seine wie oben beschrieben eingestellten Frequenzen nun in verschiedenen Wellenformen aus, die da wären Sinus, Dreieck, Sägezahn, variables Rechteck und 50% Rechteck mit stets **halber** Frequenz. Abb. 4 stellt diese Funktionen und ihre phasenmäßigen Bezüge zueinander als z.B. Ausgangsspannung über die Zeit abgetragen dar.

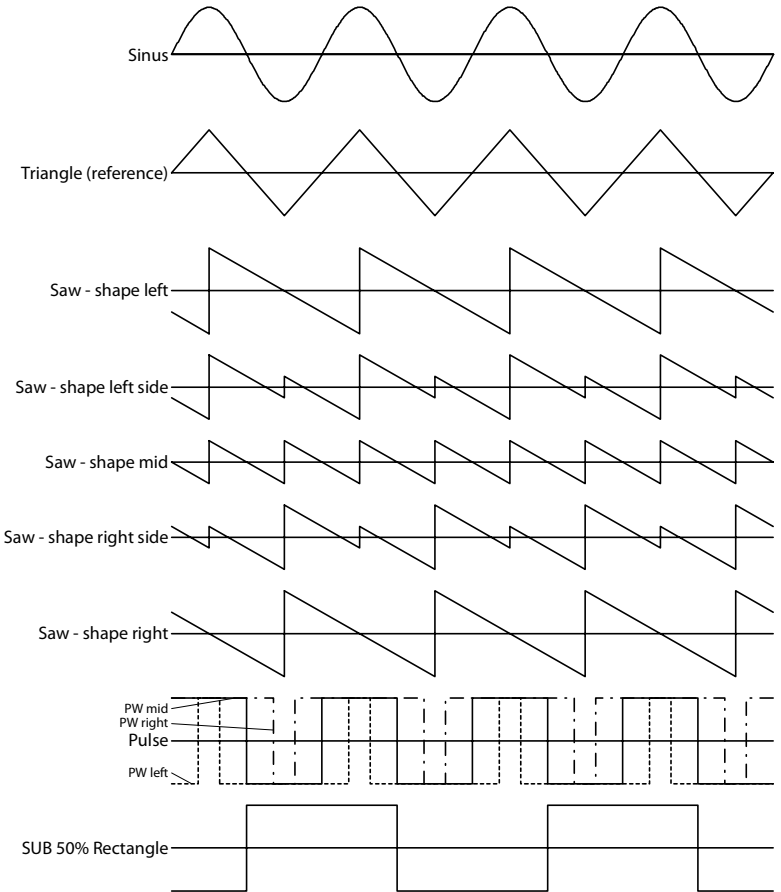


Abb. 4 Die Wellenformen des VCO-Kern (Omega-Ausgänge)

Die Dreieckfunktion ist die Referenzwelle auf die sich ohne Ausnahme alle anderen Wellenformen beziehen.

**PW/PWM/Depth:** Mit dem *PW*-Regler kann, wie in der Grafik dargestellt das Tastverhältnis von 0% (Linksanschlag) bis 100% (Rechtsanschlag) eingestellt werden. Bei *Depth*-Regler auf Rechtsanschlag genügt ein Spannungshub von 2 V an der Buchse *PWM* für ein vollständiges Durchfahren dieses Parameters.

**Shape/Shape/Depth:** Mit dem *Shape*-Regler wird das Sägezahn beim Durchfahren von links nach rechts an einer weiteren Stelle gebrochen. Die Grafik illustriert anschaulich wie. In Mittelstellung erhält man ein Sägezahn mit doppelter Frequenz und halber Amplitude (4 V<sub>peak-to-peak</sub> anstatt 8 V<sub>pp</sub>). Sowohl am Linksanschlag wie auch am Rechtsanschlag hat man ein volles Sägezahn jedoch um 180°, einem halben Dreieckwellenzug, verschoben (das ist nicht dasselbe wie invertieren!). Bei *Depth*-Regler auf Rechtsanschlag genügt ein Spannungshub von 5 V an der Buchse *Shape* für ein vollständiges Durchfahren dieses Parameters.

**Ramp-Buchse/Saw-Schalter:** Mit dem *Saw*-Schalter kann das Sägezahn steigend (Stellung "up") oder fallend (Stellung "dwn/act") geschaltet werden. In der Stellung "dwn/act" ist die Buchse *Ramp* aktiviert. Eine Spannung von >+3 V oder Anschluß offen gelassen bedeutet "fallend" und 0V "steigend". Da diese Funktion einer Multiplikation mit  $\pm 1$  gleichkommt, hat man damit einen halb analog/halb digitalen **Ringmodulator**!

#### 8.4. Die lineare Frequenzmodulation FM

In der obigen Abb. 3a führt der  $U_{\text{Lin}}$ -Eingang des e-Funktionsgenerators, der auch die Signale für das lineare FM bekommt, zum Ausgang eines Präzisionsgleichrichters (**Precision Rectifier**).

Zur Veranschaulichung der FM und deren Wellenformverläufe folgt nun eine Erläuterung anhand von Grafiken. Abb. 5a (oben) zeigt ein unmoduliertes Sinus (Carrier) des Oszillators, darunter sieht man den Gleichrichterausgang (Modulator); diese Kurve moduliert also jetzt am  $U_{\text{Lin}}$ -Eingang des e-Funktionsgenerators den Carrier. Der Modulator mit gleicher Frequenz wie der Carrier ist um 90° verschoben (Cosinus). Das FM-Ergebnis ist auch von den Phasenlagen von Carrier und Modulator zueinander abhängig. Die Modulationsamplitude wurde so gewählt, dass der Minimalwert des Gleichrichters gerade Null wird. Der FM-Modulationsindex ist damit 1. D.h., der Einfluß des Modulators ist genau so groß wie der Bias (in der Graphik normiert auf den Wert 1). Der Bias läßt sich mit dem Schalter

**Bias:** ein- (Stellung "Norm") oder ausschalten (Stellung "None"). Ist der Bias abgeschaltet schwingt der Oszillator ohne eine Spannung am FM-Eingang (positiv oder negativ) nicht mehr, ganz gleich wie hoch die Frequenzen mit Scale eingestellt sind. Die Stellung "Norm" ist also wichtig, damit der Oszillator auch wie ein normaler Oszillator arbeiten kann. In der "None"-Stellung läuft der Oszillator mit der Modulationsfrequenz harmonisch mit.

Die untere Kurve zeigt das Modulationsergebnis. Man sieht, dass sie an denjenigen Stellen (gestrichelte vertikale Linien), bei denen der Gleichrichter Null wird, für einen Moment nicht mehr voranschreitet, weil die Oszillatorfrequenz jetzt für den Moment Null ist. Bis genau hierhin kommt man auch mit jedem anderen Oszillator mit FM-Lineareingang.

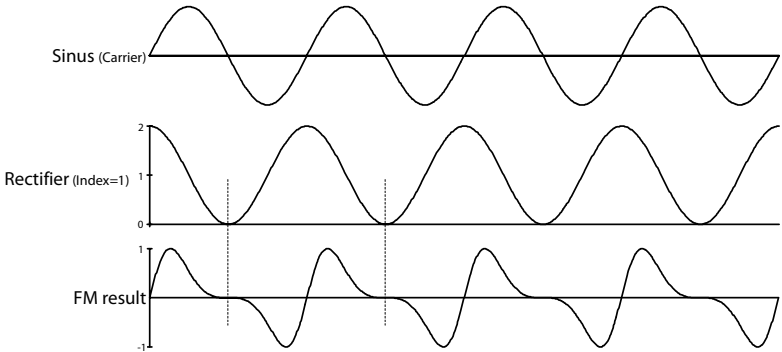


Abb. 5a FM mit Index=1

Die Abb. 5b zeigt nun unter den selben Voraussetzungen wie eben für Carrier und Modulator die Ergebnisse für den Modulationsindex =2. D.h., die Modulationsamplitude ist doppelt so groß wie der Bias-Wert. Für die Modulatorwelle werden jetzt die Werte +3 (normierte Grafik) und -1 erreicht. Weil der Oszillator aber -1, also negative Spannungen am  $U_{Lin}$ -Eingang nicht "verstehen", macht der **Full-wave-Rectifier** zunächst wieder +3 und +1 daraus (oberer Graph). Der Oszillator wird aber für die korrekte Signalverarbeitung vom **Zero-cross-Detector** (s. Abb. 3a) mit der Vorzeicheninformation versorgt. Mit jedem Vorzeichenwechsel wird der Oszillator seine Laufrichtung umkehren. Das gilt übrigens auch für Sägezahnwellen; sie fallen oder steigen

je nach Vorzeichen. Ein negatives Vorzeichen bedeutet, dass die Phase rückwärts läuft.

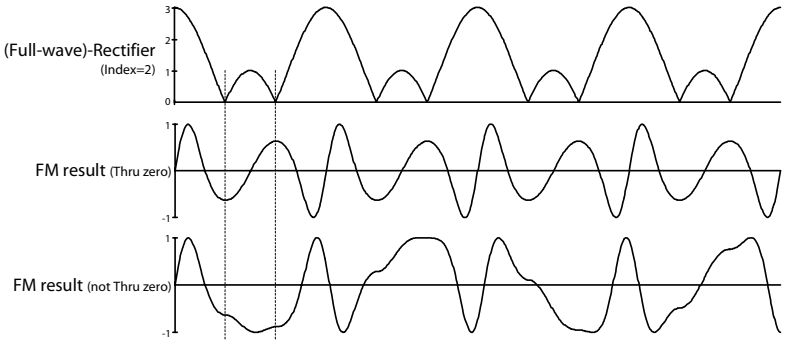


Abb. 5b FM mit Index=2

Der mittlere Graph zeigt das FM-Ergebnis bei Thru-zero Technik, während der beim unteren Graphen der Oszillator die Gleichrichtung noch bekommt aber keine Vorzeicheninformation mehr, d.h. es wird ausschließlich positiv interpretiert. Es fällt sofort auf, dass dieses Ergebnis nicht mehr periodisch und damit auch nicht harmonisch ist. Das kommt, weil sich, sobald die Gleichrichtung einsetzt, der Mittelwert des Modulationssignals, welcher sonst der Bias ist, zu positiven Werten verschiebt, was zu einer Erhöhung der Grundfrequenz führt. Erhöht man den Index kontinuierlich, wird man für einzelne punktuelle Indizes immer und immer wieder auf harmonische Ergebnisse treffen. Ferner sieht man, dass nur im Thru-Zero Betrieb der Oszillator seine Richtung wechselt noch bevor er das untere Minimum bzw. obere Maximum erreicht hat. Für das Ein- und Ausschalten des Thru Zero Betriebs gibt es den

**T-Zero-Schalter:** Thru-zero Betrieb in Stellung "On" und nicht in Stellung "Off". D.h., hier wird die Information des **Zero-cross-Detectors** ein oder ausgeschaltet. Sein Zustand wird mit der

**FM pol LED:** angezeigt. *Grün* für positive Spannungen am Rectifier-Eingang (das kann auch noch für negative FM-Eingangswerte sein, wenn der Bias dazu geschaltet ist!) und *rot* für negative Werte.



**Zero Crs**-Buchse: Außerdem liegt das Signal des **Zero-cross-Detectors** an jener Buchse an. 0 V für negativ, +5 V für positiv. Dieses Signal eignet sich gut für andersartige Synchronisationen! Die Buchse ist auch aktiv, wenn der Zero-Schalter auf "off" steht.

**FM limit LED:** Der Oszillator kann mit einer 45 mal höheren Frequenz gegenüber dem Bias moduliert werden. Das bedeutet gemäß Definition Kap. 9 ein Modulationsindex von 44. Das funktioniert auch noch bei einer eingestellten Grundfrequenz (Scale) von 7040 Hz. Der Oszillator schwingt dann mit ca. 317 kHz, was auch seine Grenze ist. Die LED leuchtet sofort *grün* wenn die maximale Modulationstiefe durch positive Modulationsspannungen erreicht ist und *rot* bei Erreichen der maximalen Modulationstiefe durch negative Modulationsspannungen an der FM-Buchse (VCA Eingang). Die Frequenz, mit der der Oszillator bei einem bestimmten Index schwingt, hängt also von seiner Grundfrequenz ab, nämlich mit der (Index+1) - fachen Grundfrequenz. Z.B. wird mit Index = 44, Grundfrequenz = 55 Hz die Oszillatorfrequenz =  $45 \times 55 \text{ Hz} = 2475 \text{ Hz}$ .

Abb. 5c zeigt noch den Fall, wenn der Gleichrichter im Halb-Betrieb arbeitet.

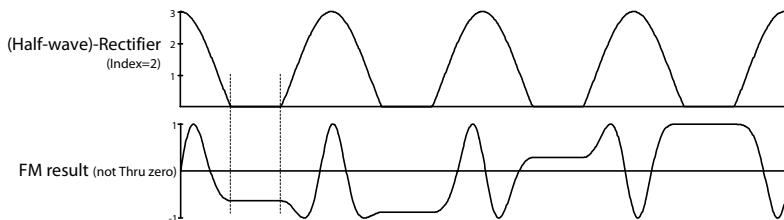


Abb. 5c FM mit Index=2 und Halbwellen-Gleichrichtung

Das ist der Betrieb eines jeden gewöhnlichen Oszillators. Werden die Spannungen am  $U_{Lin}$ -Eingang Null oder kleiner, passiert einfach nichts mehr; der Oszillator bleibt stehen. Und auch hier wird das Ergebnis wegen der Änderung des Mittelwertes wie oben disharmonisch.

**Rect-Schalter:** Mit diesem Schalter kann der Gleichrichter in eine der zwei hier beschriebenen Betriebsarten versetzt werden. In Stellung "Full" arbeitet er wie in Abb. 5b und in Stellung "Half" wie in Abb. 5c.

#### 8.4.1. Der FM VCA

Die obige Abb. 3a zeigt, dass dem Gleichrichter zum einen der Bias und zum anderen ein externes Modulationssignal zugeführt werden. Das Modulationssignal wird an die

**FM-Buchse:** angelegt. Sie führt direkt und unvermindert zu einem VCA-Eingang (*Buchse 4*). Der VCA arbeitet linear bis maximal  $\pm 15$  V und geht dann rasch in die Übersteuerung.

**Index/Depth-Regler:** Der *Depth*-Regler schwächt das Modulationssignal an der *Buchse 2* (Hüllkurvensymbol) zwischen 0 und 1 ab. Dieses Signal wird zum Wert des *Index*-Reglers addiert. Wenn an *Depth* nichts anliegt oder dieser Regler links steht wird zunächst mit *Index* von der Mittelstellung aus (noch kein Einfluß) die Modulationstiefe nach rechts drehend erhöht. Von der Mitte aus nach links gedreht wird erstmal nichts weiter passieren. An *Depth* können aber positive wie negative Spannungen anliegen, die entweder den Index-Wert weiter erhöhen oder verringern. Durch drehen des *Index*-Reglers nach links können nun hohe Modulationswerte am *Depth*-Regler abgeschnitten werden. Bei Modulationsspannungen von  $\pm 4$  V bzw. 8 Vpp am FM-Eingang (*Buchse 4*) wird mit dem *Index*-Regler 6 bei Rechtsanschlag oder (gleichbedeutend) mit einer Spannung von +5 V an *Buchse 2* (*Depth*-Regler auf Rechtsanschlag) der maximale Modulationsindex von 50 erreicht.

**Coupling-Schalter:** Dieser Schalter bestimmt die Kopplung des FM-Signals (*Buchse 2*). In der Stellung "AC" (Kondensatorkopplung) werden nur Wechselspannungen ab ca. 10 Hz verarbeitet. Diese Art der Kopplung ist grundsätzlich zu empfehlen, wenn Gleichspannungsanteile aus dem Modulationssignal und dem VCA-Ausgang, die unvermeidlich eine Verstimmung der Oszillatorgrundfrequenz und damit Disharmonien bewirken, vollständig herausgefiltert werden sollen. In der Stellung "DC" sind auch dauerhaft anliegende Gleichspannungen möglich.

**Anmerkung:** Die 50%-Sub-Rechtecke der Omega- und der Phi-Sektion werden bei Einschalten des Gerätes in Phase sein, nach FM oder PM können sie

anschließend auch gegenphasig ( $180^\circ$  zueinander verschoben) sein. Das ist nicht zu verhindern. Die Wahrscheinlichkeiten liegen bei 50/50.

## 8.5. Die Synchronisationssektion

Die Wirkungsweise der verschiedenen Synchronisationen soll exemplarisch anhand der Dreieck- und Sägezahnfunktion gezeigt werden. Jede der insgesamt vier Sync-Eingangsbuchsen benötigt zum Auslösen seiner Funktion eine positive Spannung von mindestens +3 Volt. Da die Eingänge mit einem oberen und unteren Schwellwert versehen sind, spielt es keine Rolle, ob das Sync-Signal einen Sprung macht oder sich ganz langsam auf den oberen (auslösenden) Schwellwert (+3 V) zu bewegt, d.h. jede beliebige Wellenform, die sich mindesten zwischen den Werten 0 V und +3 V bewegt, kann die Synchronisation auslösen. Ist der obere (auslösende) Schwellwert einmal überschritten, muss für ein erneutes Auslösen zuvor der untere Schwellwert (+1 V) erst unterschritten werden (Hysterese). In den folgenden Abbildungen werden der Einfachheit halber die Syncs als Sprungfunktionen dargestellt. Die Bezeichnungen "Up", "Down" und "Reverse" beziehen sich immer auf die Verlaufsrichtung der Dreieckfunktion. Weil das Sägezahn aus dem Dreieck abgeleitet wird, ergeben sich dort andere Zustände; mit den Sync-Funktionen kann hier nicht die Verlaufsrichtung umgekehrt werden. Das geht nur entweder im Thru Zero Betrieb bei negativen FM-Spannungen oder mit der Ramp/Saw-Funktion (s. oben).

**Sync Up/Down**-Buchsen: Abb. 6a zeigt, dass "Up" und "Down" nur den Signalverlauf ändern, wenn die jeweilige Auslösung gerade dann stattfindet, wenn das Dreiecksignal den zur geforderten Sync-Richtung entgegengesetzten Verlauf hat. Wenn also z.B. "Up" ausgelöst wird, während das Dreieck sowieso gerade im Steigen begriffen ist, wird auch nix weiteres passieren als dass es weiter steigt.

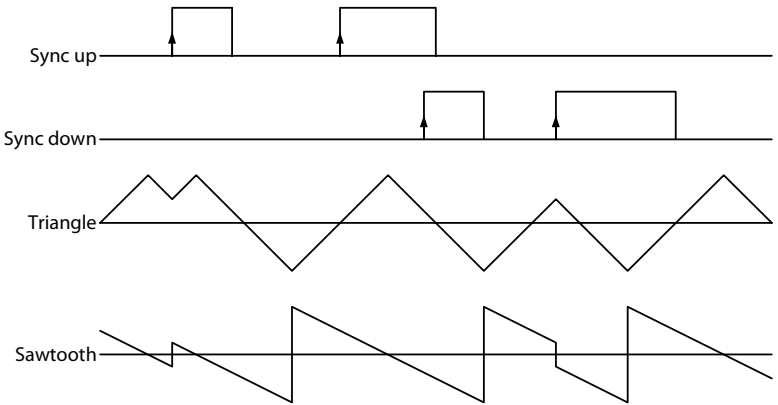


Abb. 6a Synchronisation Up und Down

**Sync Reverse/Set**-Buchsen: "Reverse" bedeutet, dass die aktuelle Verlaufsrichtung beim Sync-Ereignis stets in die entgegengesetzte Richtung gelenkt wird. Die "Set"-Funktion ist vom sogenannten Hardsync her bekannt. Ein Ereignis an der *Set*-Buchse setzt das Dreieck unmittelbar auf einen Wert, der mit dem

**Value**-Regler: eingestellt worden ist. Er kann auf alle Werte, die das Dreieck annehmen kann ( $\pm 4$  V) gesetzt werden. Die aktuelle Verlaufsrichtung des Dreiecks wird jedoch beibehalten. Wird es also z.B. kurz vor Erreichen seines unteren Minimalwertes auf Null gesetzt, wird es seinen Weg erneut nach unten fortsetzen. Man kann aber die *Set*-Funktion mit den anderen Syncs kombinieren, wenn man einen stets definierten *Set-Value* und Verlauf haben will. Das wäre dann der klassische Hardsync. Abb. 6b illustriert das für den Wert 0 des *Value*-Reglers.

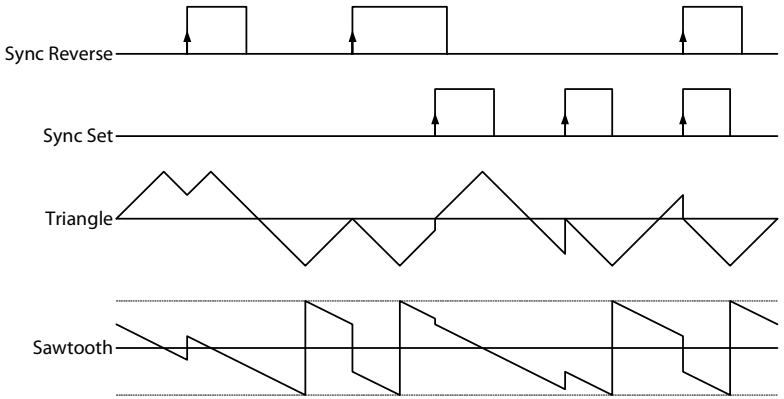


Abb. 6b Synchronisation Reverse und Set

## 8.6. Die Phasenmodulation PM

Der in obiger Abb. 3b dargestellte Phasenschieber (Phase-Shifter) ist dem VCO-Kern nachgeschaltet. Alles, was hier passiert hat **keine** Rückwirkung auf den Kern. Die Phasenmodulation ist im Klangergebnis und den entstehenden Spektren der Frequenzmodulation sehr ähnlich. Dennoch gibt es deutliche Unterschiede. Zunächst die Ähnlichkeiten bzw. sogar Identitäten. Betrachtet man ausschließlich Sinusfunktionen und ein Modulationssystem bestehend aus Carrier und Modulator, dann gibt es theoretisch nichts, das man nicht sowohl mit FM als auch mit PM generieren könnte. Was in Abb. 5a oben dargestellt ist geht, wie Abb. 7a zeigt, auch mit PM. Nur die Phasenlage des Modulators, um auf dieselbe Wellenform wie bei der FM zu kommen, ist jetzt Sinus anstatt Cosinus. Man sieht die Ergebnisse für die FM-Modulationsindizes 1 und 6.

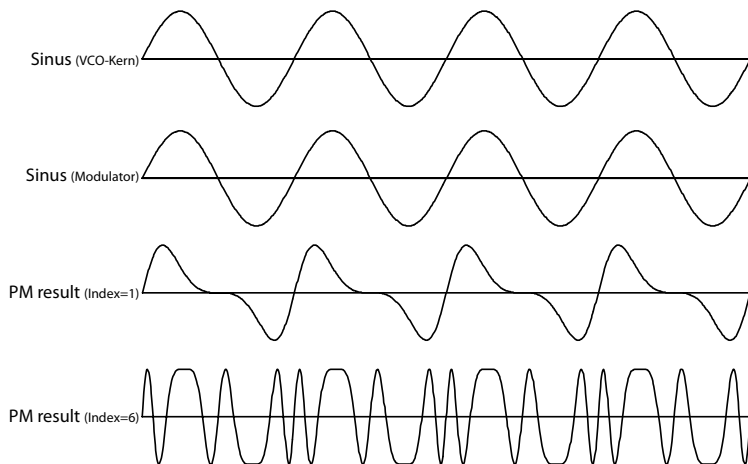


Abb. 7a PM mit Index 1 und 6

Eine Begrenzung des Phasenschiebers liegt in seinem Phasenraum; das sei die maximal mögliche Phasenverschiebung. Er beträgt  $\pm 360^\circ$  ( $\pm 2\pi$  im Bogenmaß).

**Phi**-Ausgangsbuchsen: Die Phasenlage der Wellenformen Sägezahn, Dreieck und Sinus können bezogen auf den VCO-Kern (Omega-Ausgänge) also um maximal  $\Phi = \pm 360^\circ$  ( $\pm 2\pi$  im Bogenmaß) verschoben werden. Das 50% Rechteck mit **halber** Frequenz wird demgemäß nur um  $\pm 180^\circ$  ( $\pm \pi$  im Bogenmaß) gegenüber dem des VCO Kerns verschoben.

**Phi**-Regler: Mit ihm wird diese Phasenlage  $\Phi$  fest eingestellt. Die Phasenlage an sich hat für die jeweiligen Wellenformen keine klanglichen Auswirkungen. Nur **Änderungen** der Phasenlage bewirken eine Verschiebung der Frequenz am Ausgang des Phasenmodulators.

Diese Tatsache ist einer der großen Unterschiede zur Frequenzmodulation. Denn das bedeutet auch, dass sich der Modulationsindex mit steigender Modulationsfrequenz immerfort erhöht, ohne Begrenzung. Er ist also **nicht** wie bei FM konstant. Abb. 7b zeigt für die doppelte Modulationsfrequenz im Verhältnis zum Carrier die PM-Ergebnisse, ohne aber die Modulationsamplitude, wie es bei FM nötig wäre, verdoppelt zu haben.

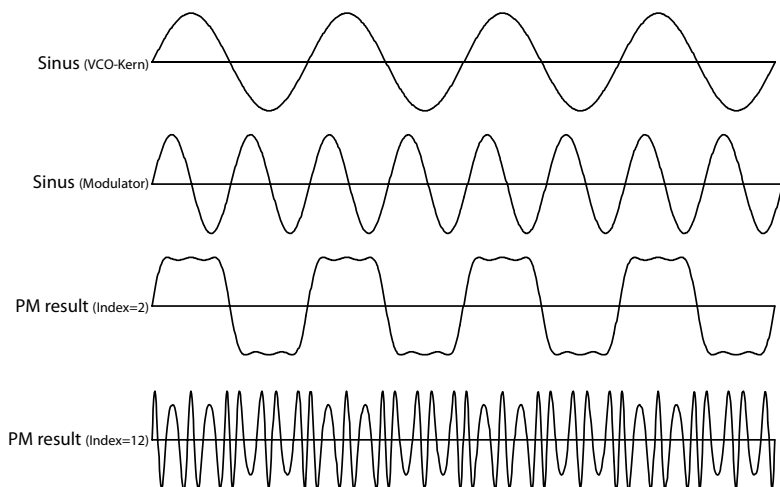


Abb. 7b PM mit doppeltem Index durch Frequenzverdopplung (Modulator)

Demzufolge könnte man annehmen, dass die Phasenmodulation die "härtere" Modulationsform ist. Das trifft für mein Gehör jedoch nur eingeschränkt zu. Einerseits greifen höhere Frequenzen gegenüber der FM viel stärker in das Spektrum ein andererseits ist für eine Frequenzänderung bei FM nur eine konstante, unveränderliche Spannung nötig, während bei der PM dafür eine ständige Änderung der Phase nötig ist. Und es ist diese Eigenschaft, die die PM für mein Gehör wieder "zahmer" klingen lässt. Was man wiederum mit FM nicht machen kann, sind Wertesprünge durch Modulation hervorzurufen; ein unendlich kurzer und zugleich unendlich hoher Spannungspuls wäre nötig, um das Oszillatorsignal sprunghaft um einen bestimmten Wert zu ändern und es dann weiterlaufen zu lassen. Bei der Phasenmodulation reicht dafür ein Sprungsignal am PM-Eingang, dann springt auch die Phase.

Weil es die Phasen**änderungen** sind, die hörbar werden, lassen sich z.B. mit niedrigen Sägezahnfrequenzen, deren Amplitude so eingestellt ist, dass genau  $360^\circ$  oder  $720^\circ$  durchfahren werden, konstante Frequenzverschiebungen erzeugen. Wird z.B. die Phase mit einem steigendem Sägezahn von 1 Hz, also wieder und wieder um  $360^\circ$  verschoben, so erhöht sich die Frequenz am Ausgang des Phasenmodulators um 1 Hz, bei  $720^\circ$  um 2 Hz. Überlagert man

nun die beiden Sägezähne von Omega und Phi, erhält man eine satte Schwebung als hätte man zwei Oszillatoren.

### 8.6.1. Der PM VCA

Die obige Abb. 3b zeigt, dass dem Kontrolleingang des Phasenschiebers zum einen der Wert des *Phi*-Reglers und zum anderen der Ausgang des PM-VCA's zugeführt wird. Das Phasenmodulationssignal wird, genau wie bei FM hier an die

**PM-Buchse 13:** angelegt. Sie führt direkt und unvermindert zum VCA-Eingang. Der VCA arbeitet linear bis maximal  $\pm 15$  V und geht dann rasch in die Übersteuerung.

**Index/Depth-Regler:** Der *Depth*-Regler schwächt das Modulationssignal an der *Buchse 9* (Hüllkurvensymbol) zwischen 0 und 1 ab. Dieses Signal wird zum Wert des *Index*-Reglers addiert. Wenn an *Depth* nichts anliegt oder dieser Regler links steht wird zunächst mit *Index* von der Mittelstellung aus (kein Einfluß) die Modulationstiefe nach rechts drehend erhöht. Von der Mitte aus nach links gedreht wird erstmal nichts weiter passieren. An *Depth* können aber positive wie negative Spannungen anliegen, die entweder den Index-Wert weiter erhöhen oder verringern. Durch drehen des *Index*-Reglers nach links können nun hohe Modulationswerte am *Depth*-Regler abgeschnitten werden. Bei Modulationsspannungen von  $\pm 3$  V bzw. 6 Vpp am PM-Eingang (*Buchse 13*) wird mit dem *Index*-Regler *14* bei Rechtsanschlag oder (gleichbedeutend) mit einer Spannung von +5 V an *Buchse 9* (*Depth*-Regler *10* auf Rechtsanschlag) der maximale Phasenhub von  $720^\circ$  erreicht.

**PM limit LED:** Die LED beginnt langsam und etwas früher *grün* zu leuchten bevor die maximale positive Phasenverschiebung von  $+360^\circ$  erreicht wird und wird *rot* bei Annäherung an die minimale Phasenverschiebung von  $-360^\circ$ . Dabei wirken der Phi-Regler und die Modulationsspannung am PM-Eingang additiv, da beides die absolute Phasenlage beeinflusst.

Eine Gleichspannungsentkopplung ist für die PM nicht nötig, da Offsets nur die Phasenlage versetzen, was, wie oben erläutert, nichts macht. Die Polarität ist aber, wie oben am Sägezahnbeispiel erläutert, dennoch von Bedeutung. Darum gibt es den



**Polarity**-Schalter: Mit ihm kann das Modulationssignal am PM-Eingang invertiert werden (Stellung "180°") oder nicht (Stellung "0°").

## 9. THEORETISCHE BETRACHTUNGEN

Um den mathematischen Apparat, der hinter diesen Modulationsarten steckt, irgendwie entfernt zu verstehen ist etwas höhere Mathematik absolute Voraussetzung. Der kurz gefasste Abschnitt richtet sich also an totale Experten, dennoch sind die Ergebnisse allgemein verständlich formuliert.

### 9.1. Frequenzmodulation FM

Allgemein kann die Frequenzmodulation einer Sinusfunktion als Carrier wie folgt ausgedrückt werden.

$$FM(t) = A_0 \cdot \sin \left( \int_0^t [\omega_0 + m_{FM} \cdot \omega_0 \cdot M(\tau)] d\tau \right) \quad \text{Gl. 1}$$

$FM(t)$  ist das Modulationsergebnis,  $A_0$  seine Amplitude,  $\omega_0$  ist die Grundkreisfrequenz (oder Winkelfrequenz) des Oszillators. Diese ist  $2\pi f_0$ , mit  $f_0$  der Oszillatorgrundfrequenz. Sie wird durch den **Bias** und der Scale gegeben.  **$M(t)$**  sei das auf  $\pm 1$  normierte Modulationssignal und der Multiplikator  **$m_{FM}$**  zunächst nur eine Zahl  $\geq 0$ , die die Frequenzmodulationstiefe bestimmt. Da die bloße Angabe einer festen Frequenz schon einen festen Ablauf der Phase impliziert, muss, wenn diese Frequenz nun zeitlich veränderlich sein soll, diese integriert werden, um den aktuellen Phasenzustand zu erhalten, anstatt einfach zu schreiben  $\omega_0 \cdot t$ . Der Ausdruck in der eckigen Klammer stellt nun so eine zeitveränderliche Frequenz dar und ist über die Zeit zu integrieren. Das Ergebnis, die runde Klammer, ist also der zeitliche *Phasenverlauf* von  **$FM(t)$** . Zeitveränderliche Frequenz ganz allgemein bedeutet, um wie viel Grad pro Sekunde eine Phase voranschreitet, stehen bleibt oder auch rückwärts läuft. Und damit ist das Ergebnis auch nicht länger sinusförmig.

Nimmt man für  $M(t)=\sin(\omega_m t + \varphi_F)$  eine Sinusfunktion, wie oben in den ganzen Beispielen, mit  $\omega_m$  als die Modulationskreisfrequenz und  $\varphi_F$  als irgendeine konstante Phase, dann wird

$$FM(t) = A_0 \cdot \sin \left( \int_0^t [\omega_0 + m_{FM} \cdot \omega_0 \cdot \sin(\omega_m \tau + \varphi_F)] d\tau \right) \quad Gl. 2$$

und das Integral berechnet ergibt

$$FM(t) = A_0 \cdot \sin \left( \omega_0 t - m_{FM} \cdot \frac{\omega_0}{\omega_m} \cdot [\cos(\omega_m t + \varphi_F) - \cos(\varphi_F)] \right) \quad Gl. 3$$

Der Ausdruck in der äußeren runden Klammer ist nun die zeitabhängige Phase des Carrier bzw. FM(t).

## 9.2. Phasenmodulation PM

Die Phasenmodulation schreibt sich:

$$PM(t) = A_0 \cdot \sin(\omega_0 t + m_{PM} \cdot \Phi \cdot M(t) + \varphi_C) \quad Gl. 4$$

Weil M(t) jetzt direkt auf die Phase des Carrier Einfluß nimmt und nicht auf seine Frequenz, gibt es auch kein Integral mehr.  $\Phi (= 2\pi)$  ist der halbe Wert des oben erwähnten Phasenraums des Phase-shifters. Der Multiplikator  $m_{PM}$  sei zunächst auch nur wieder eine Zahl  $\geq 0$ , die hier die Phasenmodulationstiefe bestimmt. Wieder mit  $M(t) = \sin(\omega_m t + \varphi_P)$  wird

$$PM(t) = A_0 \cdot \sin\{\omega_0 t + m_{PM} \cdot \Phi \cdot \sin(\omega_m t + \varphi_P) + \varphi_C\} \quad Gl. 5$$

$\varphi_F$ ,  $\varphi_P$ ,  $\varphi_C$  können jeweils so gewählt werden, dass die Ausdrücke für FM(t) und PM(t) formal gleich werden. Wählt man in unserem Beispiel  $\varphi_F = \frac{\pi}{2}$  (90°) und  $\varphi_P = \varphi_C = 0$  dann werden aus Gl.3 und Gl.5

$$FM(t) = A_0 \cdot \sin \left( \omega_0 t + m_{FM} \cdot \frac{\omega_0}{\omega_m} \cdot \sin(\omega_m t) \right) \quad Gl. 3a$$

$$PM(t) = A_0 \cdot \sin(\omega_0 t + m_{PM} \cdot \Phi \cdot \sin(\omega_m t)) \quad Gl. 5a$$

Mit  $m_{PM} \cdot \Phi := m_{FM} \cdot \frac{\omega_0}{\omega_m}$  werden Gl.3a und Gl.5a identisch.

$m_{FM} \cdot \frac{\omega_0}{\omega_m}$  in Gl.3a kann auch als Phasenmodulationsindex von FM(t) bezeichnet werden, weil dieser Wert angibt, um wieviel Grad die Phase des Carrier durch den Modulator hin-und hergeschoben wird. Und man sieht, dass dieser umgekehrt proportional zur Modulatorfrequenz ist, wird also zu kleiner werdenden Frequenzen hin größer und geht bei  $\omega_m \rightarrow 0$  gegen unendlich.

Dann wird  $\lim_{\omega_m \rightarrow 0} \left( m_{FM} \cdot \frac{\omega_0}{\omega_m} \cdot \sin(\omega_m t) \right) = m_{FM} \cdot \omega_0 \cdot t$ , was gerade einer Frequenzverschiebung mit dem Index  $m_{FM}$  durch eine konstante DC Gleichspannung entspricht. Der Phasenraum muss dafür die Unendlichkeit bereithalten.

Umgekehrt kann man jetzt auch den Frequenzmodulationsindex der PM berechnen. Denn durch das Bewegen der Phase ändert sich zwangsläufig auch die Frequenz. Dazu muss der Ausdruck in der runden Klammer von Gl.4, also die zeitabhängige *Phase*

$$\phi(t) = \omega_0 t + m_{PM} \cdot \Phi \cdot M(t) + \varphi_C \quad \text{Gl. 6}$$

nach der Zeit abgeleitet werden (Differentiation, umgekehrte Weg der Integration).  $\omega_{PM}(t)$  sei diese momentane zeitveränderliche Frequenz von PM(t).

$$\omega_{PM}(t) = \frac{d\phi(t)}{dt} = \omega_0 + m_{PM} \cdot \Phi \cdot \frac{dM(t)}{dt} \quad \text{Gl. 7}$$

Und gemäß der obigen Beispiele wird mit  $M(t) = \sin(\omega_m t + \varphi_P)$

$$\omega_{PM}(t) = \omega_0 + m_{PM} \cdot \Phi \cdot \omega_m \cdot \cos(\omega_m t + \varphi_P) \quad \text{Gl. 7a}$$

Für die momentane zeitveränderliche Frequenz  $\omega_{FM}(t)$  von FM(t) braucht man nur den Term in der eckigen Klammer aus Gl.1 hinzuschreiben und gemäß unserer Beispiele wieder für  $M(t) = \sin(\omega_m t + \varphi_F)$  zu wählen

$$\omega_{FM}(t) = \omega_0 + m_{FM} \cdot \omega_0 \cdot \sin(\omega_m t + \varphi_F) \quad \text{Gl. 8}$$

Ersetzt man die Modulatorfunktionen Cosinus und Sinus aus Gl.7a und Gl.8 durch den Betrag ihrer Maximalwerte  $\pm 1$  und bildet zwischen  $\omega_{FM}(t)$  bzw.

$\omega_{PM}(t)$  und  $\omega_0$  die Differenz und normiert diese auf die Grundfrequenz  $\omega_0$ , ergeben sich schließlich die Frequenzmodulationsindizes  **$FI_{PM}$**  bzw.  **$FI_{FM}$** .

Zusammenfassend erhält man für die PM und für die FM jeweils einen Frequenzmodulations- ( $FI$ ) und einen Phasenmodulationsindex ( $PI$ ).  $PI$  kann direkt aus Gl.3a und Gl.5a entnommen werden.

Phasenmodulation:

$$PI_{PM} = m_{PM} \cdot \Phi, \quad 0 \leq m_{PM} \leq 1 \quad \text{Gl. 5.1}$$

$$FI_{PM} = \frac{\omega_{PM,max}}{\omega_0} - 1 = m_{PM} \cdot \Phi \cdot \frac{\omega_m}{\omega_0}, \quad 0 \leq m_{PM} \leq 1 \quad \text{Gl. 7.1}$$

Frequenzmodulation:

$$PI_{FM} = m_{FM} \cdot \frac{\omega_0}{\omega_m}, \quad 0 \leq m_{FM} \leq 50 \quad \text{Gl. 3.1}$$

$$FI_{FM} = \frac{\omega_{FM,max}}{\omega_0} - 1 = m_{FM}, \quad 0 \leq m_{FM} \leq 50 \quad \text{Gl. 8.1}$$

Wie man sieht wächst  **$FI_{PM}$**  proportional mit der Modulationsfrequenz  $\omega_m$ , während  **$FI_{FM}$**  frequenzunabhängig konstant ist. Dagegen sinkt  **$PI_{FM}$**  umgekehrt proportional mit der Modulationsfrequenz, während  **$PI_{PM}$**  frequenzunabhängig konstant ist.

Interessant ist, dass typische spektrale Eigenschaften, wie z.B. Auslöschungen bestimmter Frequenzen erhalten bleiben, solange nur der Phasenmodulationsindex ( $PI$ ) konstant gehalten wird, und zwar unabhängig von der Modulationsfrequenz! Für die PM ist dieser Umstand gemäß **Gl.5.1** naturgemäß gegeben, während dazu gemäß **Gl.3.1** bei der FM  **$m_{FM}$**  stets an  $\omega_m$  angepasst werden muss.

Es ist der Phasenraum, der mit der Modulation durchlaufen wird, der für die spektralen Eigenschaften verantwortlich ist. Auch nach meinem Hörempfinden erscheint die PM leichter und natürlicher als die FM, bei der man immer den Effekt einer Tiefpassfilterung zu höheren Frequenzen (Integral in **Gl.1**) hört. Genau dieser Umstand führt letztlich auch zu einer weicheren Klangästhetik der FM. Bei der PM gewinnen gegenüber der FM höhere Modulationsfrequenzen und auch Oberwellen im Modulationssignal mehr an

Einfluß, was einer Hochpassfilterung ähnelt. Demgegenüber werden also bei der FM langsame Änderungen (z.B. auch von Gleichspannungsmittelwerten) stärker hörbar (sehr großer Phasenraum). Daher wird man die FM aufgrund des menschlichen Hörempfindens (Psychoakustik) überwiegend als die dynamischere und stärkere Modulationsform wahrnehmen. Zum Glück aber für uns alle bietet dieser Oszillator beide Modulationsformen an.

**Mathe konkret:** Der halbe Phasenraum  $\Phi$  dieses Oszillators ist  $2\pi$ . Um hier mit der PM auf denselben oder größeren Frequenzmodulationsindex FI zukommen wie er hier mit der FM möglich ist, muss gemäß **Gl.7.1** und **Gl.8.1** gelten

$$m_{PM} \cdot \Phi \cdot \frac{\omega_m}{\omega_0} = m_{PM} \cdot 6,28 \cdot \frac{\omega_m}{\omega_0} \geq m_{FM}$$

Bei diesem Oszillator ist maximal  $m_{PM} = 1$  und  $m_{FM} = 50$ . Um diesen FI auch für die PM zu erreichen, muss  $\frac{\omega_m}{\omega_0} \geq 8$  sein. D.h., die Phasenmodulationsfrequenz muss also mindestens 8 mal (3 Oktaven) größer sein als die Oszillatorgrundfrequenz. Zu noch größeren Verhältnissen  $\frac{\omega_m}{\omega_0}$  hin wird  $F_{IPM} F_{IFM}$  sogar überwiegen.

Und umgekehrt kann man gemäß **Gl.5.1** und **Gl.3.1** finden, dass gelten muss

$$m_{PM} \cdot \Phi \leq m_{FM} \cdot \frac{\omega_0}{\omega_m}$$

um zu ermitteln bis zu welcher Frequenz die FM den möglichen Phasenraum der PM durchlaufen oder überbieten kann. Umgeformt und wieder alle Zahlen für diesen Oszillator eingesetzt erhält man dann  $\frac{\omega_m}{\omega_0} \leq 8$ . Solange also die Frequenzmodulationsfrequenz höchstens 8 mal größer ist als die Oszillatorgrundfrequenz, wird der Phasenraum der FM genauso groß oder größer sein als derjenige der hier mit der PM möglich ist. Das ist die Kehrseite derselben Medaille!

Man könnte wohl noch unendlich vieles beleuchten, aber man kommt sehr bald nur noch mit computergestützten numerischen Verfahren weiter.

## 10. TECHNISCHE DATEN UND GRENZWERTE

### 10.1 Technische Daten (allgemein)

Eingangs- und Ausgangsbuchsen:	Monoklinke 3.5 mm
Eingangsbuchsen haben einen Schaltkontakt nach Masse (0 V)	
Betriebsspannung:	-12 V / +12 V (Verpolschutz)
Stromaufnahme:	typ. 120 mA (für jede Teilversorgung $\pm 12$ V)
zulässige Umgebungstemperatur:	0 °C – +55 °C
Nettogewicht (nur Modul):	ca. 280 g
maximale Außenabmessungen (B x H x T):	24 TE (121,6 mm) x 128.5 mm x 33 mm
Einbautiefe (hinter der Fronplatte)	<30 mm

### 10.2 Signale und Grenzwerte

Maximale Eingangsspannung an allen Eingangs-Buchsen ():	$\pm 15$ V
Oszillatorfrequenz (Omega):	0.001 Hz - 300 kHz
Oszillatorfrequenz (Phi) -3db:	30 kHz