

# Ein neues Verfahren zur Frequenzauflbereitung in Autotelefonanlagen

## 1 Einführung

Am Beispiel der neuentwickelten beweglichen Sprechfunkanlage BSA 31 für das öbL-Netz B der Deutschen Bundespost soll die Realisierung der Frequenzauflbereitung für eine Autotelefonanlage beschrieben werden.

Die Spezifikationen einer Frequenzauflbereitung werden durch die Anforderungen an das Funkgerät bestimmt, beispielsweise

- Betriebsspannung,
- Temperaturbereich,
- Frequenzstabilität, spektrale Reinheit der Oszillatorsignale,
- und von den Systemparametern des Funknetzes, in dem die Anlage arbeitet, zum Beispiel Frequenzbereich, Kanalzahl, Kanalraster, Duplexabstand.

Diese Forderungen kann eine mit Phasenregelkreisen (phase-locked loop, PLL) aufgebaute Frequenzauflbereitung optimal erfüllen.

Das Grundprinzip einer PLL-Frequenzsynthese ist im Bild 1 dargestellt. Die Frequenz  $f_0$  eines spannungsgesteuerten Oszillators (voltage controlled oscillator, VCO) wird digital auf eine bestimmte Vergleichsfrequenz (meist Kanalrasterfrequenz) heruntergeteilt und der Phasenvergleichsstufe Ph zugeführt, welche sie mit einer hochstabilen Referenzfrequenz vergleicht. Die sich bei Phasenabweichungen ergebende Regelspannung steuert den Oszillator nach, der damit die gleiche Frequenzstabilität wie die Referenz bekommt. Durch Ändern des Teilverhältnisses kann eine andere Frequenz im VCO erzeugt werden. Dieses Prinzip ist schon länger bekannt, aber erst die Einführung hochintegrierter Schaltungen in der Digitaltechnik hat die Anwendung begünstigt.

Gegenüber früheren Frequenzauflbereitungen, bei denen die Kanalfrequenz durch Mischen von Quarzoszillatorfrequenzen, Vervielfachen und Selektieren gewonnen wurden, ist das PLL-Prinzip billiger und flexibler. Die Materialkosten sind beim digitalen Synthesizer geringer, weil nur ein bis zwei Schwingquarze gebraucht werden und preisgünstige digitale ICs

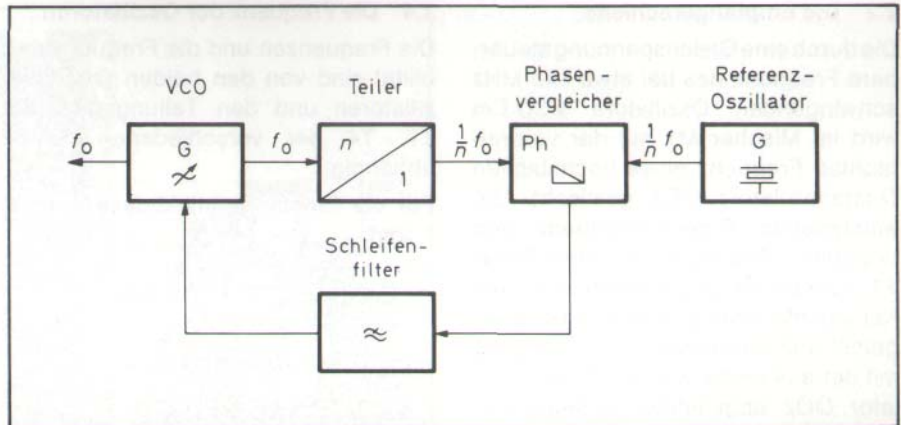


Bild 1. Grundprinzip eines PLL-Frequenzsynthesizers, Übersicht.

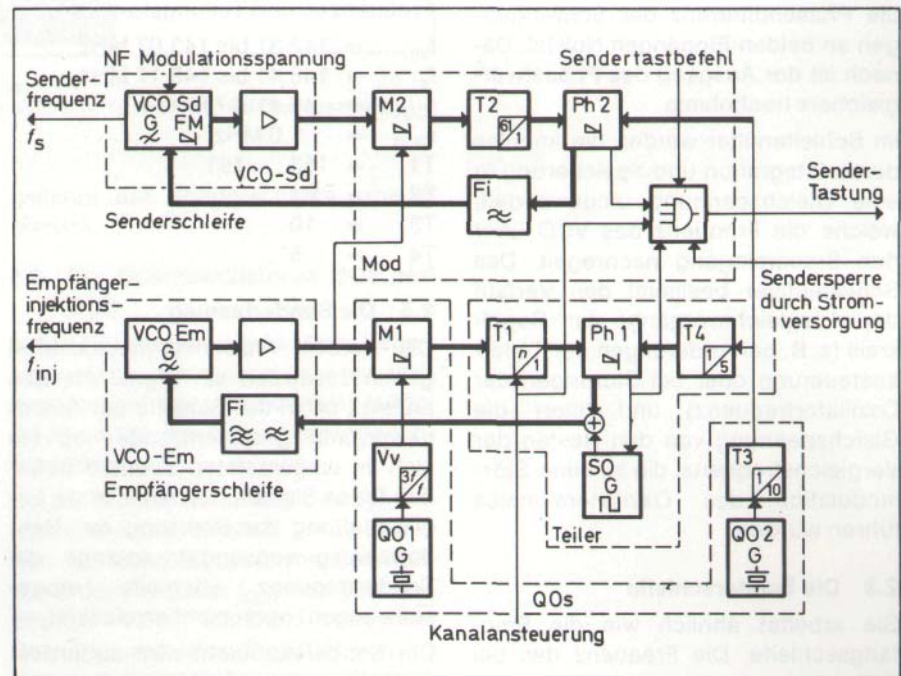


Bild 2. Prinzipschaltbild der Frequenzauflbereitung der Beweglichen Sprechfunkanlage BSA 31.  
gestrichelt umrandet: Aufteilung der Funktionen auf die Leiterplatten;  
dick ausgezogen: Empfängerschleife und Senderschleife.

verwendet werden können. Außerdem entfallen die Abgleicharbeiten, und mit wenig Aufwand lässt sich ein Synthesizer den Erfordernissen verschiedener Funknetze anpassen. Der digitale Synthesizer ist somit die wirtschaftlichste Lösung für eine Vielkanalfrequenzauflbereitung.

## 2 Der Synthesizer der Sprechfunkanlage BSA 31

### 2.1 Prinzip

Bild 2 zeigt das Funktionsprinzip des

Synthesizers. Da wegen des Duplexbetriebes der Fahrzeugfunkanlage zwei Frequenzen mit konstanter Differenz benötigt werden, sind zur Erzeugung der Injektionsfrequenz für den Empfängermischer ( $f_{inj}$ ) und der Senderfrequenz ( $f_s$ ) zwei getrennte Phasenregelkreise notwendig: die Empfängerschleife, in der die Kanalsteuerung verarbeitet wird und die Senderschleife, in welcher die Senderfrequenz moduliert und auf konstanten Abstand zur Empfängereinjektionsfrequenz geregelt wird.

## 2.2 Die Empfängerschleife

Die durch eine Gleichspannung steuerbare Frequenz des bei etwa 143 MHz schwingenden Oszillators VCO Em wird im Mischer M1 mit der verdreifachten Frequenz eines hochstabilen Quarzoszillators QO1 gemischt. Die entstehende Differenzfrequenz von ungefähr 3,5 MHz wird in einem Teiler T1, dessen Teilungsfaktoren über die Kanalsteuerung umschaltbar sind, geteilt und im Phasenvergleich Ph1 mit der aus einem zweiten Quarzoszillator QO2 abgeleiteten Referenzfrequenz von 20 kHz verglichen.

Der Phasenvergleich gibt solange positive oder negative Impulse ab, bis die Phasendifferenz der Schwingungen an beiden Eingängen Null ist. Danach ist der Ausgang des Phasenvergleichers hochohmig. Im Schleifenfilter werden die Impulse durch Integration und Speicherung in eine Gleichspannung umgewandelt, welche die Frequenz des VCO über den Steuereingang nachregelt. Das Schleifenfilter bestimmt den Verlauf der Ausgleichsvorgänge im Regelkreis (z. B. bei Änderungen der Teileransteuerung oder bei Störungen der Oszillatorfrequenz) und filtert die Gleichspannung von den Resten der Vergleichsfrequenz, die zu einer Störmodulation des Oszillatorsignales führen würden.

## 2.3 Die Senderschleife

Sie arbeitet ähnlich wie die Empfangerschleife. Die Frequenz des bei 149 MHz schwingenden Oszillators VCO Sd wird im Mischer M2 mit der Empfängerinjektionsfrequenz gemischt. Die Differenzschwingung wird vom Teiler T2 durch einen fest eingestellten Teilungsfaktor geteilt und in der Phasenvergleichsstufe Ph2 mit einer weiteren Referenzfrequenz (100 kHz) verglichen. Die entstehende Ausgangsspannung regelt über das Schleifenfilter die Frequenz des Oszillators VCO Sd nach.

Die Grenzfrequenz des Schleifenfilters ist so gewählt, daß die niedrigste Modulations-Niederfrequenz, die dem Oszillator über einen zweiten Steuereingang zugeführt wird, noch nicht zu einem Regelvorgang in der Schleife führt. Die Niederfrequenz bewirkt somit eine Frequenzmodulation des Sendersignals.

## 2.4 Die Frequenz der Oszillatoren

Die Frequenzen und die Frequenzstabilität sind von den beiden Quarzoszillatoren und den Teilungsfaktoren T1.. T4 der verschiedenen Teiler abhängig. Für die

Empfängerinjektionsfrequenz  $f_{inj}$  gilt

$$f_{inj} = \frac{f_{QO2}}{T3 \cdot T4} \cdot T1 + 3 f_{QO1}$$

und für die Senderfrequenz  $f_s$

$$f_s = \frac{f_{QO2}}{T3} \cdot T2 + f_{inj}$$

Für das öbL-Netz B gelten folgende Frequenzen und Teilungsfaktoren:

$f_{inj}$	= 142,31 bis 143,07 MHz
$f_s$	= 148,41 bis 149,17 MHz
$f_{QO1}$	= 46,41667 MHz
$f_{QO2}$	= 1,0 MHz
T1	= 153 ... 191
T2	= 61
T3	= 10
T4	= 5

## 2.5 Die Sendertastung

Die beiden Phasenvergleichsstufen geben zusätzlich ein Signal ab, das anzeigt, ob in der Schleife ein Ausregelvorgang geschieht, oder ob sie sich im eingerasteten Zustand befindet. Diese Signale werden in einer Logikschaltung zur Sperrung der Sendertastung verwendet, solange die Senderfrequenz (Schleife eingeschungen) noch nicht erreicht ist. Der Sendertastbefehl wird außerdem unterbrochen, wenn der Rufkanal (Kanal 19) angesteuert wird oder wenn an der Senderendstufe aus der Kfz-Batterie Über- oder Unterspannung anliegen. Dadurch wird vermieden, daß Sendeenergie abgestrahlt werden kann, wenn die Frequenz eine unzulässige Toleranz hat (ein „verbotener“ Kanal geschaltet wird).

## 2.6 Der Suchoszillator

Die Frequenz des Oszillators VCO Em kann unter bestimmten Umständen über die Grenze des Arbeitsbereiches des einstellbaren Teilers T1 hinaus verstimmt werden. Ein Suchoszillator SO, der auf die Nachregelspannung wirkt, wird immer dann eingeschaltet, wenn der Phasenvergleich Ph1 der Empfängerschleife den Zustand „Schleife nicht gerastet“ länger als

100ms signalisiert. Der Oszillator VCO Em wird dadurch kurzzeitig zu niedrigen Frequenzen hin verstimmt und so wieder in den Arbeitsbereich des Teilers gezogen.

## 2.7 Flexibilität

Der Synthesizer kann leicht an die Erfordernisse anderer Funknetze angepaßt werden.

Der Frequenzbereich ist durch die Frequenz des Quarzoszillators  $f_{QO1}$  und den Abgleich der beiden Oszillatoren VCO Em und VCO Sd festgelegt.

Die Kanalzahl hängt von der Ansteuerung des Teilers T1 ab, er kann bis zu 100 Kanalbefehle verarbeiten. Das Kanalaraster ist durch den Teiler T4, der Duplexabstand durch den Teiler T2 bestimmt.

Ein Umprogrammieren der Teiler ist ohne Schwierigkeiten möglich.

## 3 Aufbau

### 3.1 Allgemeines

Die Schaltungen der Frequenzaufbereitung sind auf fünf steckbaren Leiterplatten untergebracht (Bild 3). Die Aufteilung der Funktionsblöcke auf die Leiterplatten ist im Bild 2 gestrichelt eingezeichnet.

Um gegenseitige Störungen zu verhindern sind die Baugruppen untereinander durch Trennwände und zum übrigen Funkgerät durch ein geschlossenes Metallgehäuse abgeschirmt.

Bei den digitalen Schaltungen werden, um den Leistungsverbrauch gering zu halten, ingetrierte Schaltungen in CMOS-Technologie verwendet. Nur der Teiler T2, ist wegen der hohen Arbeitsfrequenz aus TTL-Schaltungen zusammengesetzt.

### 3.2 Die Oszillatoren VCO Em und VCO Sd

Die Schaltungen dieser Oszillatoren sind einander ähnlich. Der Nachsteuereingang führt jeweils an eine Kapazitäts-Diode im frequenzbestimmenden Schwingkreis des Oszillators. Der Oszillator VCO Sd hat eine zweite Kapazitäts-Diode, die der Frequenzmodulation dient und mit der Modulations-Niederfrequenzspannung verbunden ist.

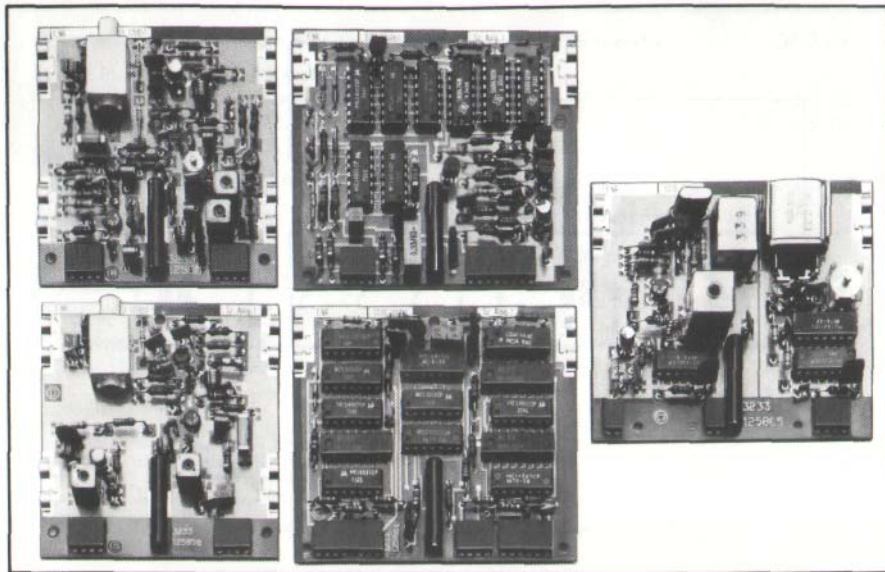


Bild 3. Die Leiterplatten der Frequenzaufbereitung.  
 Obere Reihe: VCO Sd, Modulator. Untere Reihe: VCO Em, Teiler. Rechts: Quarzoszillator.

Rauscharme Feldeffekttransistoren in der Oszillatorschaltung, Schwingkreise hoher Güte und niederohmige Ansteuerung der Nachstuereingänge ergeben das geforderte geringe Seitenbandrauschen des Oszillatorsignals.

Besonderer Wert wurde hier auch auf die mechanische Stabilität der Schaltungen gelegt, um Mikrofonie-Erscheinungen so niedrig wie möglich zu halten.

### 3.3 Der Teiler T1

Der einstellbare Teiler ist so programmiert, daß die im Frequenzplan des öbL-Netzes B von der Bundespost festgelegte Kanalnummer mit der erforderlichen Kanalsteuerung des Teilers übereinstimmt. Die Ansteuerung geschieht im BCD-Code jeweils für die Zehner- und Einerstelle des Kanalbefehls.

### 3.4 Die Phasenvergleichler Ph1 und Ph2 und der Suchoszillator SO

In der Empfängerschleife dient eine Integrierte Schaltung als kombinierter Phasen- und Frequenzvergleichler. Diese Art der Schaltung vergrößert den Fangbereich des Phasenregelkreises bei nicht eingerastetem Oszillator VCO Em. Der in dem Baustein zusätzlich noch vorhandene abschaltbare Rechteckgenerator wird als Suchoszillator SO verwendet. Der aus Einzelgattern aufgebaute Phasenver-

gleichler der Senderschleife arbeitet ähnlich.

### 3.5 Die Quarzoszillatoren QO1 und QO2

Beide Oszillatoren sind auf der Leiterplatte QOs untergebracht, aber vollkommen getrennt voneinander aufgebaut, um gegenseitige Störungen zu vermeiden.

Da die Frequenzstabilität des Synthesizers, wie aus Abschnitt 2.4 zu erkennen ist, hauptsächlich von der Konstanz der Frequenz  $f_{QO1}$  des Quarzoszillators QO1 abhängt, muß der Schwingquarz eine Stabilität von  $\pm 5$  ppm im gesamten Temperaturbereich von  $-20$  bis  $+60$  °C einhalten.

Die Frequenz des Schwingquarzes des Oszillators QO2 hat eine relative Genauigkeit von  $\pm 10$  ppm im Arbeitstemperaturbereich. Wegen der niedrigen Frequenz wird hier ein CMOS-Gatter in der Schwingschaltung verwendet.

## 4 Zusammenfassung

Mit digitalen Integrierten Schaltungen und durch Anwendung von Phasenregelkreisen war es möglich, eine hochwertige und stabile Frequenzaufbereitung zu bauen, bei der die Kanalzahl die Kosten nur wenig beeinflusst, die außerdem leicht variierbar ist und dadurch für Geräte der unterschiedlichsten Funknetze verwendet werden kann.