

## VFO mit DAFC-Stabilisierung

### Prinzip

Es gibt zwei einfache Arten der Frequenzstabilisierung von frei laufenden LC-Oszillatoren. Eine Methode verwendet einen digitalen Frequenzzähler, der die VFO-Frequenz periodisch misst. Jede Änderung des gemessenen Signals mit dem momentanen Signal resultiert in einer automatischen Korrektur der VFO-Frequenz. Ein weiteres Verfahren verwendet einen digitalen Mischer, der die VFO-Frequenz mit einem hochfrequenten Referenzsignal (TCXO) auf einen niedrigen Wert heruntermischt und dort weiter verarbeitet **(1)**. Nachfolgend soll das Prinzip des ersten Verfahrens etwas näher beschrieben werden.

Die DAFC (Digital Automatic Frequency Control) nach **(2)**, **(3)** und **(4)** arbeitet im Prinzip wie ein einfacher Frequenzzähler, welcher in der letzten Stelle nur eine Auflösung von 40 Hz besitzt. Die 40Hz Auflösung entsteht dadurch, indem das Eingangssignal (VFO-Signalfrequenz) zunächst durch 4 geteilt und anschließend mit 10Hz abgetastet wird **(Bild 1)**. Aus der 10Hz-Taktfrequenz werden im Counter zusätzlich noch die Steuerimpulse (20uS), sowie die Speicherübernahme- und Rücksetzimpulse des Zählers erzeugt. Verwendet wird nur das letzte Bit des Frequenzzählers (LSB), welches entweder logisch "1" oder "0" sein kann.

Bei konstanter VFO-Frequenz schwankt der Ausgangszustand des 1-Bit-Zählers statistisch (über die Zeit) mit dem Bitfehler, d. h. im Mittel erscheinen die Zustände 1 und 0 gleich häufig. Leitet man das Ausgangssignal des Zählers an eine sog. Ladungspumpe, dann nimmt diese eine Spannung von +14V oder 0V an, im Mittel also exakt  $+14V/2 = +7V$  an **(Bild 3)**.

Das Ausgangssignal der Ladungspumpe steuert die Kapazität einer Varicap-Diode im Schwingkreis des VFO's **(Bild 2)**. Wenn sich das Spannungssignal der Ladungspumpe mit konstant +7Volt nicht ändert, verstimmt die Varicap-Diode auch nicht den VFO und die eingestellte Frequenz bleibt stabil auf ihrem Wert.

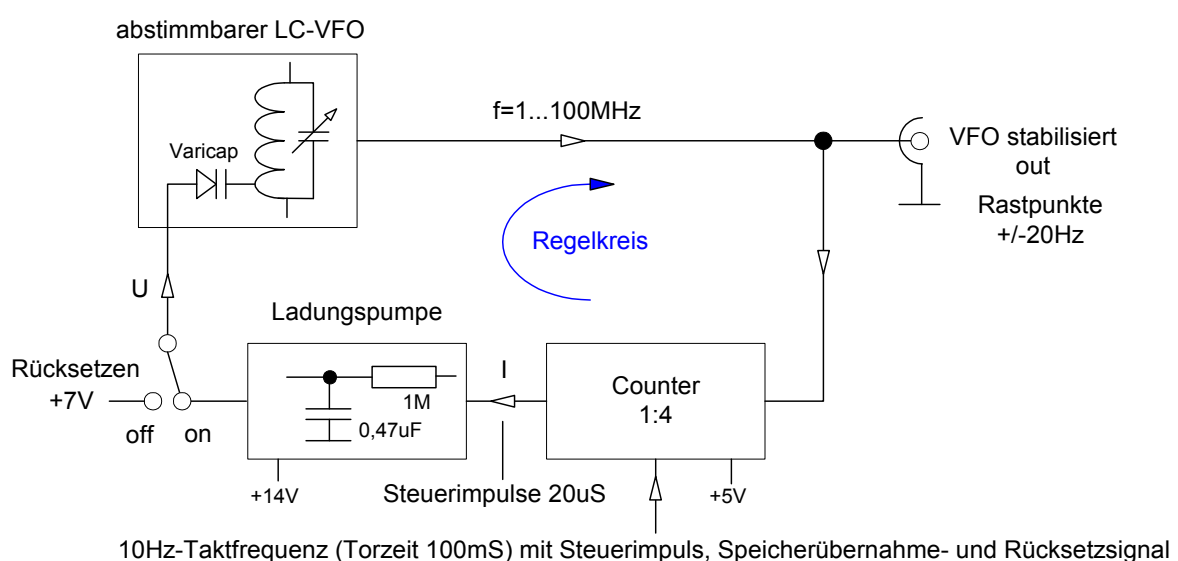
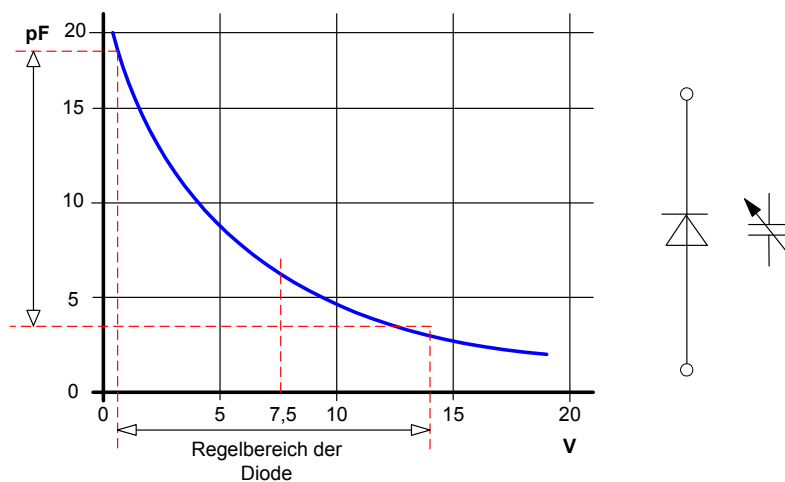


Bild 1: VFO mit DAFC, Prinzipschaltbild

### Drift ausregeln

Wenn die eingestellte Oszillatorfrequenz durch Temperaturänderung z.B. um einige Herz nach unten driftet, dann entstehen am Ausgang des Zähler mehr 1 als 0 Signale und das daraus resultierende Spannungsniveau der Ladungspumpe steigt langsam an. Die an der Ladungspumpe angeschlossene Varicap-Diode im Oszillator-Schwingkreis erhält eine etwas höhere Spannung als +7V, wodurch sich die Kapazität verkleinert und der VFO wieder in Richtung seiner ursprünglich eingestellten Frequenz zurück gezogen wird. Wenn dies erreicht wird, gibt der Zählerausgang wieder gleich viele 1 wie 0 Signale ab und der Regelvorgang ist abgeschlossen. Driftet die VFO-Frequenz nach oben, läuft der beschriebene Regelvorgang genau umgekehrt ab. Der Rastpunkt jeder Synchronisierung (genauer: Stabilisierung) beträgt somit +/-20Hz (40Hz-Punkte) entlang der Frequenzachse.



**Bild 2: Kennlinie der Varicap-Diode (Kapazitätsdiode)**

Wird bei eingeschalteter DAFC die Frequenzabstimmung (Drehkondensator) betätigt, so ist die Frequenzänderung viel größer als die Nachregelgeschwindigkeit und die Ladungspumpe gibt im steten Wechsel positive und negative Impulse ab. Sobald man aber den Abstimmknopf loslässt, wird der nächste Rastpunkt angelaufen und die Frequenz ist wieder stabil. Bei einem Frequenzwechsel muß die DAFC also nicht abgeschaltet werden! Nur bei Einschalten des Transceivers sollte die DAFC zunächst ausgeschaltet sein, damit sich die Ladungspumpe auf den Reset-Punkt +7Volt einstellen kann und sich der VFO von seiner "Einschaltdrift" etwas erholt. Nach kurzer Zeit kann die DAFC dann aktiviert werden und die gewählte Frequenz bleibt stabil.

### Wie schnell kann die DAFC die Oszillator-Drift ausregeln?

Die Steuerimpulse (1 oder 0) am Ausgang der Counters sind ca.  $t=20\mu\text{s}$  lang, mit einer Wiederholrate von 10Hz. Diese Impulse gehen auf eine hochohmige Ladungspumpe, bestehend aus einem RC-Glied mit  $R=1\text{M}\Omega$  und  $C=0,47\mu\text{F}$ .

Pro Impuls wird der Ladungspumpe ein Strom von

$$I = U/R = 7\text{V}/1\text{M} = 7\mu\text{A}$$

eingedrängt und die momentane Spannung der Ladungspumpe steigt oder fällt um den Betrag von

$$U = t/C \times I = 20\mu\text{s}/0,47\mu\text{F} \times 7\mu\text{A} = 0,3\text{mV}.$$

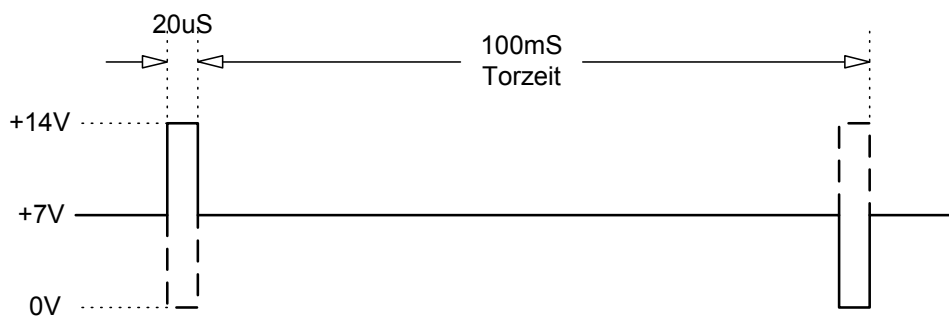
Die Nachstimmempfindlichkeit der Varicap-Diode im Oszillatorkreis sei 150mV/kHz. Demnach verursacht ein einziger 20uS-Impuls eine Frequenzverstimmung (Schrittgröße) von

$$0,3\text{mV}/150\text{mV} \times 1000\text{Hz} = 2\text{Hz}$$

Bei einer Counter-Torzeit von 10Hz ergibt sich somit eine Nachregelgeschwindigkeit von

$$2\text{Hz} \times 10 = \mathbf{20\text{Hz/Sek.}} \text{ bzw. } \mathbf{1,2\text{kHz/Min.}}$$

Diese Nachregelgeschwindigkeit wird in der Praxis aber nicht erreicht, da die Anzahl der positiven und negativen Impulse statistisch verteilt ist. Für 20Hz Regelstrecke werden 2..3 Sekunden benötigt.



**Bild 3: Counter-Ausgangssignal (LSB), 20uS-Steuerimpulse, logisch 1 oder 0, +14Volt oder 0Volt, mittlere Spannung = +7V**

### Betrieb

Damit die DAFC-Regelung richtig funktioniert, muß der VFO von Hause aus schon ausreichend frequenzstabil sein. Falls der VFO schneller driftet als es die Regelzeit vorgibt, dann versucht der VFO auf beliebige 40Hz-Punkt oberhalb oder unterhalb der gewählten Frequenz einzurasten und die Drift kann nicht mehr korrigiert werden. Demnach muß die maximale Drift des VFO's stets kleiner sein, als die Regelzeit zwischen zwei 40Hz-Punkten. Driftet der Oszillator trotz aller Maßnahmen aufgrund unzureichender Temperaturkompensation jedoch mit mehr als 500 Hz/Minute, dann sollte der Rastpunktabstand durch Änderung des Teilverhältnisses auf 80 Hz ( $f_e=1/8$ ) gebracht werden und die Schrittgröße auf 3...4 Hz/Impuls vergrößert werden.

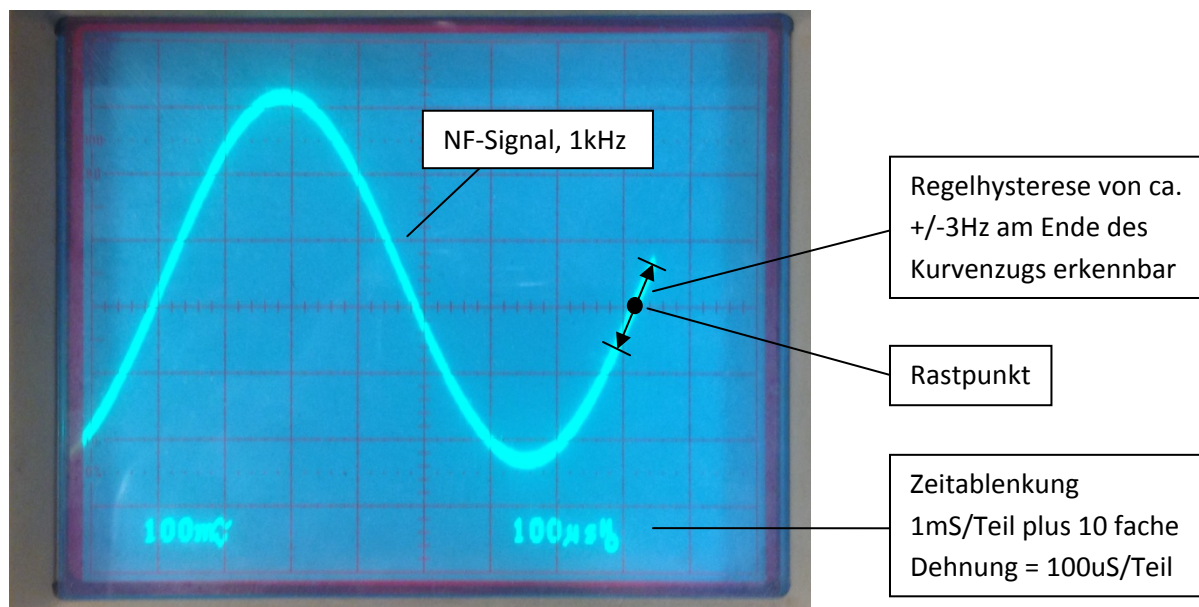
### Funktionskontrolle

Die Funktionskontrolle der DAFC erfolgt am Einfachsten auf der NF-Ebene mit Hilfe eine simplen Oszilloskops. Dazu wird ein quarzstabiles HF-Signal mit ca. -50 dBm Pegel in den SSB-Empfänger eingespeist, der Empfänger auf etwa 1kHz Überlagerungston abgeglichen und der Lautsprecher-ausgang mit dem Eingang eines analogen Scopes verbunden. Die Zeitablenkung des Scopes wird getriggert und so eingestellt, dass etwa 20 NF-Sinusdurchgänge (Zeitablenkung 1mS/Div einstellen) auf dem Bildschirm sichtbar werden. Anschließend wird die horizontale Ablenkung noch um Faktor 10 gedehnt (wichtig!) und das Sinussignal soweit nach links verschoben, bis das rechte Ende des Sinus-Signals auf dem Bildschirm erkennbar ist. (Bild 4)

Betrachtet man jetzt das Ende des Kurvenzuges, wird jetzt die Oszillatordrift durch ein langsames „Wandern“ des NF-Sinussignals in Richtung höherer oder niedriger Frequenz sofort erkennbar. Akustisch ist das Wandern des NF-Signals nicht hörbar (zumindest ich höre es nicht mehr...Hi). Sobald die DAFC eingeschaltet wird, kriecht das Sinussignal nur noch ein kleines Stück nach oben oder

unten, um beim nächstgelegenen Rastpunkt, max. +/-20Hz entfernt, stehen zu bleiben. Die Funktionalität der Regelung erkennt man nun daran, dass das NF-Signal langsam, über einem Fangbereich von etwa +/- 3 Hz um diesen Rastpunkt herum nachgezogen bzw. -geregelt wird. Das Ende des Kurvenzugs wandert ständig leicht nach oben und nach unten. Die Frequenzregelung geschieht kontinuierlich, der VFO „rastet“ quasi auf dieser Frequenz ein, und bleibt auf Stunden, Tage und Wochen frequenzstabil auf diesen Punkt stehen, lediglich abhängig von der Drift des Referenzoszillators.

Hinweis: Das quantitative Phasenrauschen des Oszillators läßt sich z.B. am schnellen „Jittern“ des Elektronenstrahls zum Ende des Kurvenzugs erkennen. Überhaupt lassen sich viele Eigenschaften des VFO's und Empfängers aus dem "NF-Signal" kontrollieren.



**Bild 4: Einfache Funktionskontrolle der DAFC im NF-Zeitbereich mit einem Oszilloskop**

### Fazit

Der Vorteil eines Oszillators (VFO) mit einer DAFC ist das geringe Oszillator-Phasenrauschen. Da die Frequenzregelung nur langsam erfolgt, wird das Seitenbandrauschen des Oszillators - im Gegensatz zur PLL-Regelung - nicht negativ beeinflusst.

Im eingerasteten Zustand, regelt die DAFC das driftende Oszillatorsignal stetig und relativ langsam über einen Frequenzbereich (Fangbereich) von ca. +/-3Hz. Die Frequenzgenauigkeit des VFO's hängt hierbei ausschließlich von der Stabilität des Referenzoszillators ab, der das 10Hz-Torsignal des Zählers erzeugt. Wird als Referenz ein TCXO mit  $1 \times 10^{-9}$ /Tag Genauigkeit verwendet, dann entspricht dies auch der Genauigkeit der DAFC.

Werner Schnorrenberg, DC4KU

13.10.2016

### **Literatur:**

- (1) PA0KSB, Klaas Spaargaren, Frequency Stabilisation of L-C Oscillators  
<http://pa0fri.home.xs4all.nl/Diversen/VFOstab/vfostab.htm>  
<http://www.qsl.net/py4bl/vfoesta.htm>  
<http://dl6gl.de/amateurfunk/historisches-clapp-vfo-mit-dafc>

- (2) DJ7VY, Michael Martin, Rauscharmer UKW-Oszillator mit Diodenabstimmung, digitaler Frequenzrastung  
UKW-Berichte 4/80
- (3) DC4KU, Rauscharmer VFO für großsignalfeste HF-Empfänger (Seite 10-15)  
[https://dc4ku.darc.de/Rauscharmer\\_VFO.pdf](https://dc4ku.darc.de/Rauscharmer_VFO.pdf)
- (4) DC4KU, Stabilisierung von LC-Oszillatoren mit DAFC  
[https://dc4ku.darc.de/Stabilisierung\\_VFO.pdf](https://dc4ku.darc.de/Stabilisierung_VFO.pdf)
- (5) DF4KV, Ulrich Strate, Einfache Frequenz-Rasteinrichtung  
cq-DL, 12/85, 659I  
<http://www.qsl.net/df4kv/dafc85.pdf>