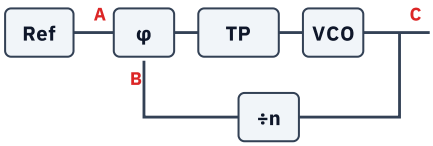
Frequenzsynthese: PLL, DDS und Vervielfacher

PLL eingerastet: f_A = f_B, f_C = n · f_A · DDS: Akkumulator → Sinustabelle → D/A → Tiefpass · Vervielfacher: verzerren + filtern

PLL



Mindestens: Phasenvergleicher, Tiefpass (Schleifenfilter), VCO. Teiler optional. **Eingerastet:** Frequenz an A = B, C = n · A. Kanalraster = Referenzfrequenz (12,5 kHz Raster → A = 12,5 kHz). Genauigkeit und Stabilität: Referenzquarz.

`12–14 MHz, 12,5 kHz: n = 960 … 1 120`

DDS

Taktgenerator → Phasenakkumulator (Adresszähler) → Sinustabelle → Register → D/A-Umsetzer → Tiefpass. Je Takt wird K addiert, Überlauf = 360°.

`f_aus = K · f_Takt / 2^N`

K verdoppelt → Frequenz verdoppelt (jeder zweite Tabellenwert). 32 Bit, 125 MHz: Schritt 0,029 Hz, K für 7,074 MHz = 243 060 789. Vorteile: feinste Schritte, Wechsel ohne Einschwingen. Grenzen: < f_Takt/2, Nebenlinien.

Frequenzvervielfacher

Nichtlineare Stufe (Klasse C, Diode) erzeugt Oberwellen, **Bandpass/Schwingkreis** wählt 2 f oder 3 f. Nur ganzzahlige Faktoren, gut **abschirmen**. Ketten: Faktoren multiplizieren.

3,51 · 2 · 2	14,04 MHz
21,36 / (2 · 3)	3,56 MHz
145,2 / (2 · 3 · 2)	12,1 MHz
12 · 2 · 2 · 3 · 3	24, 48, 144, 432
96 MHz · 3 (BF 224)	288 MHz

Störung auf 144 MHz bei 12 → 432 MHz: Nur ×2 ×2 ×3 ×3 hat eine Stufe auf 144 MHz.

Quellen: f_aus = n · f_ref; f_aus = K · f_Takt / 2^N; Idee nach 50ohm.de (DDS, PLL, Vervielfacher). Angaben ohne Gewähr.

Online mit Übungen: amateurfunk-oe.at/lernmaterial/frequenzsynthese/

Stand November 2026

ÜBUNGSBOGEN

Quiz: Frequenzsynthese

Name: _____

Kreuzen Sie jeweils die richtige Antwort an. Die Lösungen stehen unten auf der Seite.

Ergebnis: ____ / 12

1. Taktgenerator, Adresszähler, Sinustabelle, Register, D/A-Umsetzer: Welche Schaltung ist das?

- ☐ **A** Einen variablen Oszillator (VFO).
- ☐ **B** Einen spannungsgesteuerten Oszillator (VCO).
- ☐ **C** Eine Phasenregelschleife (PLL).
- ☐ **D** Eine direkte digitale Synthese (DDS).

2. Welche Baugruppen braucht eine PLL mindestens?

- ☐ **A** Frequenzteiler, Tiefpass und Phasenvergleicher.
- ☐ **B** Frequenzteiler, Hochpass und Phasenvergleicher.
- ☐ **C** VCO, Tiefpass und Phasenvergleicher.
- ☐ **D** VCO, Hochpass und Phasenvergleicher.

3. Was gilt in der eingerasteten PLL für die Punkte A und B am Phasenvergleicher?

- ☐ **A** Die Frequenzen an A und B sind gleich.
- ☐ **B** Die Frequenz an A ist höher als an B.
- ☐ **C** Die Frequenzen an A und am VCO sind gleich.
- ☐ **D** Die Frequenz an B ist höher als am VCO.

4. Wovon hängen Genauigkeit und Stabilität eines PLL-Synthesizers ab?

- ☐ **A** Vom Phasenvergleicher.
- ☐ **B** Vom programmierbaren Frequenzteiler.
- ☐ **C** Vom spannungsgesteuerten Oszillator.
- ☐ **D** Vom Quarz-Referenzoszillator.

5. Kanalraster 12,5 kHz: Welche Frequenz liegt am Referenzeingang A der PLL?

- ☐ **A** 25 kHz
- ☐ **B** 6,25 kHz
- ☐ **C** 1,25 kHz
- ☐ **D** 12,5 kHz

6. Referenz 12,5 kHz, Ausgang 12 bis 14 MHz: Welchen Bereich muss n abdecken?

- ☐ **A** 857 bis 960
- ☐ **B** 960 bis 1 120
- ☐ **C** 300 bis 857
- ☐ **D** 300 bis 1 120

7. Wie ändert sich die DDS-Frequenz, wenn das Phaseninkrement K verdoppelt wird?

- ☐ **A** Sie bleibt gleich, nur die Amplitude steigt.
- ☐ **B** Sie verdoppelt sich.
- ☐ **C** Sie vervierfacht sich.
- ☐ **D** Sie halbiert sich.

8. VFO 3,51 MHz, dann drei Verdoppler. Frequenz nach dem zweiten Verdoppler?

- ☐ **A** 14,04 MHz
- ☐ **B** 28,08 MHz
- ☐ **C** 7,02 MHz
- ☐ **D** 21,06 MHz

9. Quarz, dann ×2, ×3, ×2. Die Endstufe arbeitet auf 145,200 MHz. Quarzfrequenz?

- ☐ **A** 12,1 MHz
- ☐ **B** 36,3 MHz
- ☐ **C** 24,2 MHz
- ☐ **D** 18,15 MHz

10. Nach welchem Prinzip arbeitet ein analoger Frequenzvervielfacher?

- ☐ **A** Phasenschieber und Mischer.
- ☐ **B** Ringmischer und Hochpass.
- ☐ **C** Verzerren und die Oberwelle ausfiltern.
- ☐ **D** ±90°-Phasenschieber und Addierer.

11. Worauf ist bei einem Vervielfacher im Sender besonders zu achten?

- ☐ **A** Ein Hochpass am Ausgang genügt.
- ☐ **B** Besonders starke Kühlung.
- ☐ **C** Betrieb im linearen Kennlinienbereich.
- ☐ **D** Gute Abschirmung gegen unerwünschte Abstrahlung.

12. 12-MHz-Quarz, Ausgang 432 MHz, Störung auf 144 MHz. Welche Kette?

- ☐ **A** × 2 × 3 × 3 × 2
- ☐ **B** × 3 × 2 × 3 × 2
- ☐ **C** × 2 × 2 × 3 × 3
- ☐ **D** × 3 × 3 × 2 × 2

LÖSUNGEN

1 D · Phasenakkumulator liest eine Sinustabelle aus.
2 C · Der Teiler ist optional.
3 A · C = n · A.
4 D · Der VCO wird nur nachgeregelt.
5 D · n ± 1 verschiebt um die Referenzfrequenz.
6 B · 12 MHz / 12,5 kHz = 960, 14 MHz / 12,5 kHz = 1 120.
7 B · Jeder zweite Tabellenwert.
8 A · 3,51 · 2 · 2 = 14,04 MHz.
9 A · Gesamtfaktor 12: 145,2 / 12 = 12,1 MHz.
10 C · Oberwelle mit Filter auswählen.
11 D · Viele Oberwellen.
12 C · 12 → 24 → 48 → 144 → 432.

Quellen: f_aus = n · f_ref; f_aus = K · f_Takt / 2^N; Idee nach 50ohm.de (DDS, PLL, Vervielfacher). Angaben ohne Gewähr.
Online mit Übungen: amateurfunk-oe.at/lernmaterial/frequenzsynthese/

Stand November 2026