

Entwicklung und Berechnung eines aktiven DCF77-Empfangsschwingkreises

DM8ANE

30. Juni 2026

Inhaltsverzeichnis

1	Theoretische Grundlagen und Dimensionierung	2
1.1	Berechnung der Luftspule (Wheeler-Formel)	2
1.2	Berechnung der Resonanzkapazität	2
1.3	Güte und Bandbreite	3
1.4	Berechnung der Empfangsspannung in München	3
2	Bauanleitung für die Luftspule	4
3	Aktiver Antennenverstärker (+5V Single Supply)	4
3.1	Schaltplan (Circuitikz)	4
3.2	Komponentenliste	4

1 Theoretische Grundlagen und Dimensionierung

Für den Empfang des Zeitzeichensenders DCF77 auf der Frequenz $f_0 = 77,5 \text{ kHz}$ wird ein hochselektiver Parallelschwingkreis dimensioniert. Als Induktivität dient eine einlagige, zylindrische Luftspule aus Kupferlackdraht (CuL).

1.1 Berechnung der Luftspule (Wheeler-Formel)

Die Induktivität einer einlagigen Luftspule lässt sich im metrischen System über folgende Näherungsformel berechnen:

$$L \approx \frac{N^2 \cdot D^2}{45D + 100l} \quad (1)$$

Dabei ist:

- L : Induktivität in Mikrohenry (μH)
- N : Windungszahl
- D : Effektiver Spulendurchmesser in mm (Mitte-Mitte Draht)
- l : Spulenlänge in mm

Gegeben ist ein nominaler Drahtdurchmesser von $d_{\text{Cu}} = 0,63 \text{ mm}$. Einschließlich der Lackisolierung ergibt sich ein Außendurchmesser von $d_{\text{außen}} \approx 0,68 \text{ mm}$. Als Wickelkörper wird ein Standard-PVC-Rohr mit einem Außendurchmesser von $D_{\text{core}} = 32 \text{ mm}$ gewählt.

Daraus resultiert der effektive Durchmesser D :

$$D = D_{\text{core}} + d_{\text{außen}} = 32 \text{ mm} + 0,68 \text{ mm} = 32,68 \text{ mm} \quad (2)$$

Da die Windungen dicht an dicht gewickelt werden, ist die Spulenlänge l direkt von der Windungszahl abhängig:

$$l = N \cdot d_{\text{außen}} \quad (3)$$

Setzt man die Zielinduktivität $L = 100 \mu\text{H}$ und die obigen Parameter ein, erhält man durch iterative Lösung:

$$\begin{aligned} N &= 64 \text{ Windungen} \\ l &= 64 \cdot 0,68 \text{ mm} = 43,52 \text{ mm} \end{aligned}$$

Das Verhältnis von Länge zu Durchmesser beträgt $l/D \approx 1,33$, was laut Medhurst eine hervorragende Spulengüte garantiert.

1.2 Berechnung der Resonanzkapazität

Nach der Thomsons Schwingungsformel bestimmt sich die erforderliche Kapazität C für die Resonanzfrequenz f_0 :

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}} \implies C = \frac{1}{4\pi^2 \cdot f_0^2 \cdot L} \quad (4)$$

Setzt man die Werte ein:

$$C = \frac{1}{4\pi^2 \cdot (77500 \text{ Hz})^2 \cdot 100 \cdot 10^{-6} \text{ H}} \approx 42,16 \text{ nF} \quad (5)$$

In der Praxis wird dieser Wert durch Parallelschaltung von Standardwerten (z. B. $39 \text{ nF} + 3,3 \text{ nF}$ Folienkondensatoren) realisiert.

1.3 Güte und Bandbreite

Bei 77,5 kHz wird für diese Geometrie ein effektiver Wechselstromwiderstand $R_{AC} \approx 0,40 \Omega$ ermittelt (unter Einbeziehung des Skin- und Proximity-Effekts). Die unbelastete Spulengüte Q beträgt:

$$Q = \frac{\omega_0 \cdot L}{R_{AC}} = \frac{2\pi \cdot 77500 \text{ Hz} \cdot 100 \cdot 10^{-6} \text{ H}}{0,40 \Omega} \approx 121,7 \quad (6)$$

Die resultierende 3-dB-Bandbreite B im Leerlauf beträgt:

$$B = \frac{f_0}{Q} = \frac{77500 \text{ Hz}}{121,7} \approx 637 \text{ Hz} \quad (7)$$

1.4 Berechnung der Empfangsspannung in München

Bei einer Entfernung von ca. 300 km zum Sender Mainflingen beträgt die elektrische Feldstärke der Bodenwelle in München im Freifeld ca. $E \approx 2,5 \text{ mV/m}$. Über den Feldwellenwiderstand $Z_0 \approx 377 \Omega$ ergibt sich die magnetische Feldstärke H :

$$H = \frac{E}{Z_0} \approx 6,63 \mu\text{A/m} \quad (8)$$

Die in die Spule induzierte Urspannung U_0 berechnet sich nach:

$$U_0 = 2\pi \cdot f_0 \cdot \mu_0 \cdot H \cdot N \cdot A \quad (9)$$

wobei $A = \pi \cdot (D/2)^2 \approx 8,39 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ die wirksame Querschnittsfläche ist.

$$U_0 = 2\pi \cdot 77500 \cdot (4\pi \cdot 10^{-7}) \cdot (6,63 \cdot 10^{-6}) \cdot 64 \cdot (8,39 \cdot 10^{-4}) \approx 0,218 \mu\text{V} \quad (10)$$

Durch den Resonanzgewinn des Parallelschwingkreises steigt die Spannung an den unbelasteten Klemmen auf:

$$U_{\text{Res}} = U_0 \cdot Q \approx 0,218 \mu\text{V} \cdot 121,7 \approx \mathbf{26,5 \mu\text{V}} \quad (11)$$

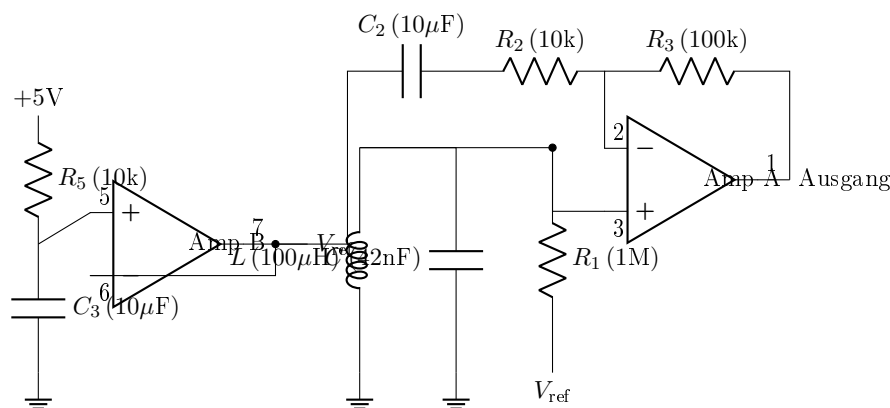
2 Bauanleitung für die Luftspule

1. **Vorbereitung des Wickelkörpers:** Schneiden Sie ein ca. 8–10 cm langes Stück von einem PVC-Rohr mit 32 mm Außendurchmesser ab. Bohren Sie an den beiden Enden der geplanten Wickelzone (Abstand exakt 43,5 mm) jeweils zwei kleine Löcher ($\varnothing$ 1,0–1,5 mm) nebeneinander in die Rohrwandung. Diese dienen als mechanische Zugentlastung.
2. **Wickelvorgang:** Fädeln Sie den Anfang des 0,63 mm Kupferlackdrahts durch das erste Lochpaar, sodass ca. 10 cm als Anschlussleitung überstehen. Wickeln Sie nun unter gleichmäßigem, strammem Zug exakt **64 Windungen** dicht an dicht (einlagig) auf das Rohr.
3. **Fixierung:** Sichern Sie das Drahtende nach der 64. Windung im zweiten Lochpaar.
4. **Kontaktierung:** Entfernen Sie den Isolierlack an den Drahtenden mechanisch (z. B. mit feinem Schleifpapier) auf einer Länge von ca. 1 cm, bis das blanke Kupfer sichtbar ist, und verzinnen Sie die Enden.

3 Aktiver Antennenverstärker (+5V Single Supply)

Um die geringe Signalspannung ohne Belastung des Schwingkreises zu puffern, wird ein JFET-Operationsverstärker vom Typ **TL072** eingesetzt. Die Schaltung arbeitet mit einer einzigen Versorgungsspannung von +5 V. Die erste Hälfte (Amp A) dient als Verstärker ($v \approx 11$), während die zweite Hälfte (Amp B) eine stabile virtuelle Masse auf $V_{CC}/2 = 2,5$ V erzeugt.

3.1 Schaltplan (Circuitikz)



3.2 Komponentenliste

- **IC1:** TL072 (Dual-JFET-OpAmp) oder MCP602 (Rail-to-Rail für bessere 5V-Performance)
- **R1:** 1 M Ω , **R2, R4, R5:** 10 k Ω , **R3:** 100 k Ω (Metallfilm 1%)
- **C:** $\approx$ 42,2 nF (Schwingkreiskondensator, z. B. Styroflex oder FKP)
- **C2, C3:** 10 μ F Elektrolytkondensator oder Tantal
- **C4:** 100 nF Keramik direkt an Pin 8 (V_{CC}) und Pin 4 (GND) zur Abblockung.