



LC型アンテナチューナ計算機の設計思想と実装

インピーダンス整合の理論から実践的ツールへ

アンテナ整合、その計算を自動化・可視化する

L-matchネットワークを用いてアンテナのインピーダンスを 50Ω 系に整合するために必要な、インダクタ(L)とキャパシタ(C)の値を計算するツールです。

その設計は、以下の3つの柱に基づいています。

1. 高精度な計算

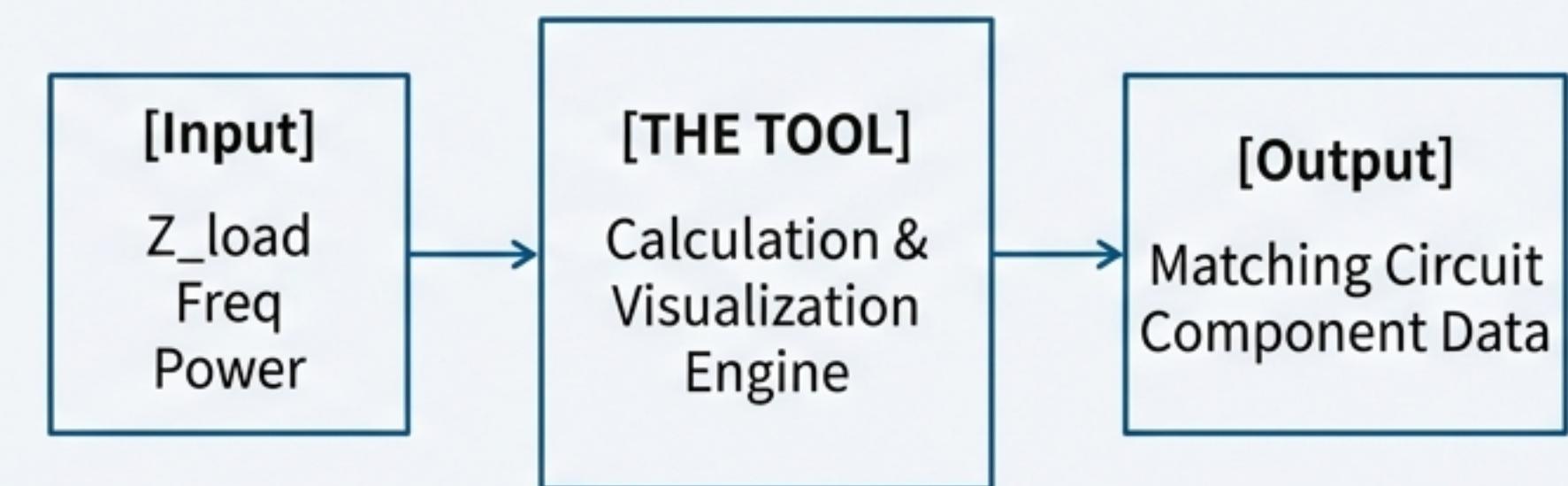
基本となるRF公式に基づき、必要なL/C値を正確に決定します。

2. 動的な回路図生成

与えられた整合問題に対し、最適な回路トポロジーを自動的に可視化します。

3. 部品耐圧の考慮

実際に回路を製作できるよう、部品選定に不可欠な電圧・電流データを提供します。



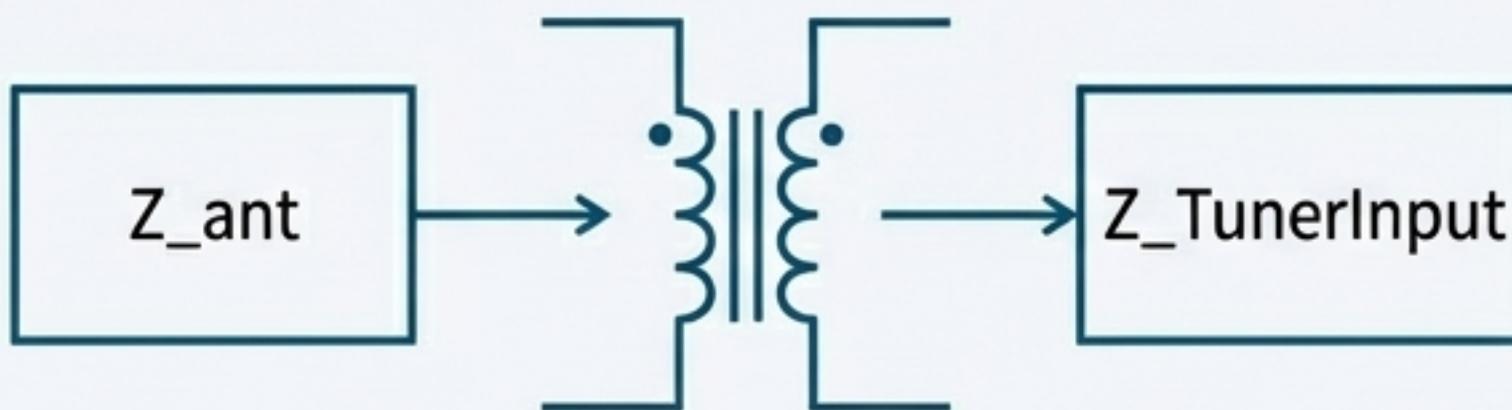
直感的でパワフルな入力インターフェース



整合範囲を拡張するキーデバイス：インピーダンス変換トランス

オプションのトランスは、インピーダンスの事前変換器として機能します。これにより、L-matchネットワークが単独では対応困難な、 50Ω から大きく離れた負荷も整合範囲に収めることができます。

- 降圧 (Ant側が高い): $r_{seen} = r_{load_in} / tx_ratio$ 。
アンテナインピーダンスが高い場合に使用します。
- 昇圧 (Ant側が低い): $r_{seen} = r_{load_in} * tx_ratio$ 。
アンテナインピーダンスが低い場合に使用します。

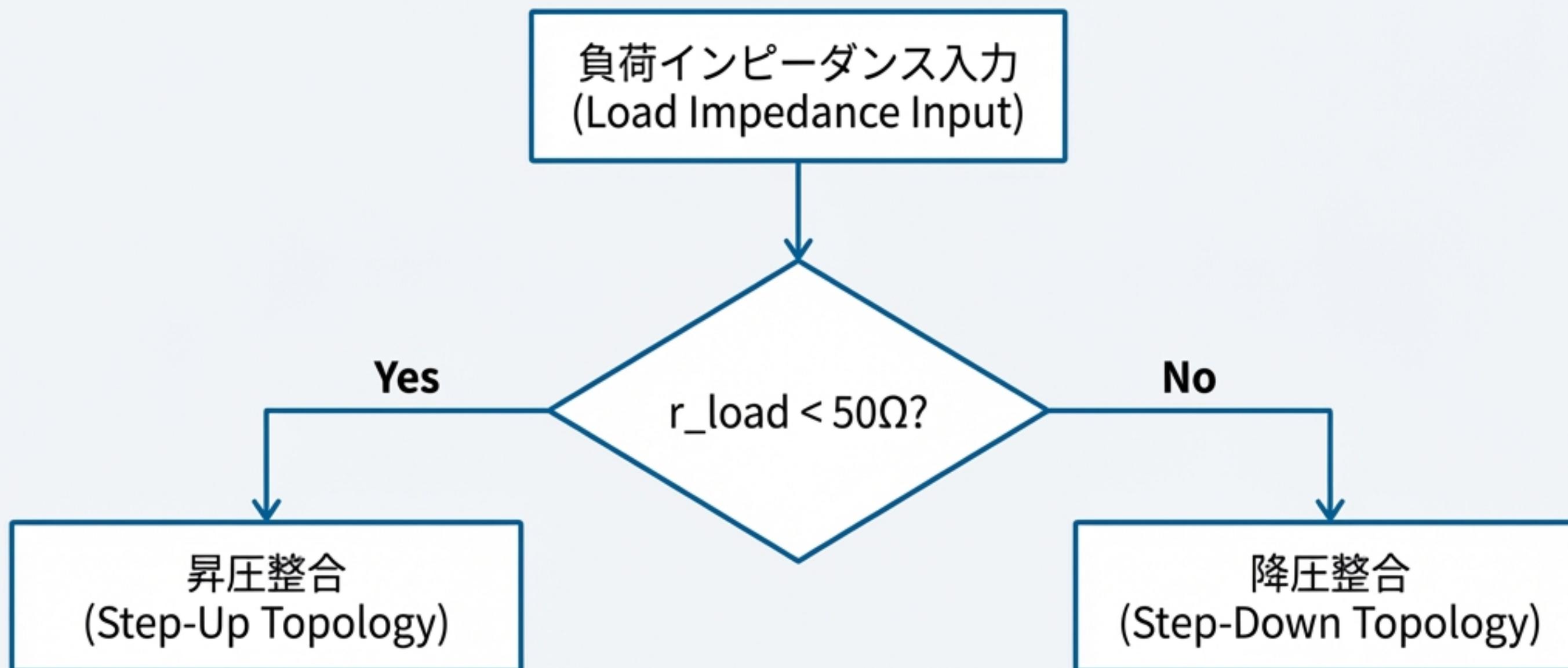


```
if tx_mode == "降圧 (Ant側が高い)":  
    r_seen = r_load_in / tx_ratio  
    x_seen = x_load_in / tx_ratio  
elif tx_mode == "昇圧 (Ant側が低い)":  
    r_seen = r_load_in * tx_ratio  
    x_seen = x_load_in * tx_ratio
```

チューナ負荷:
 $25.0 + j(0.0) \Omega$

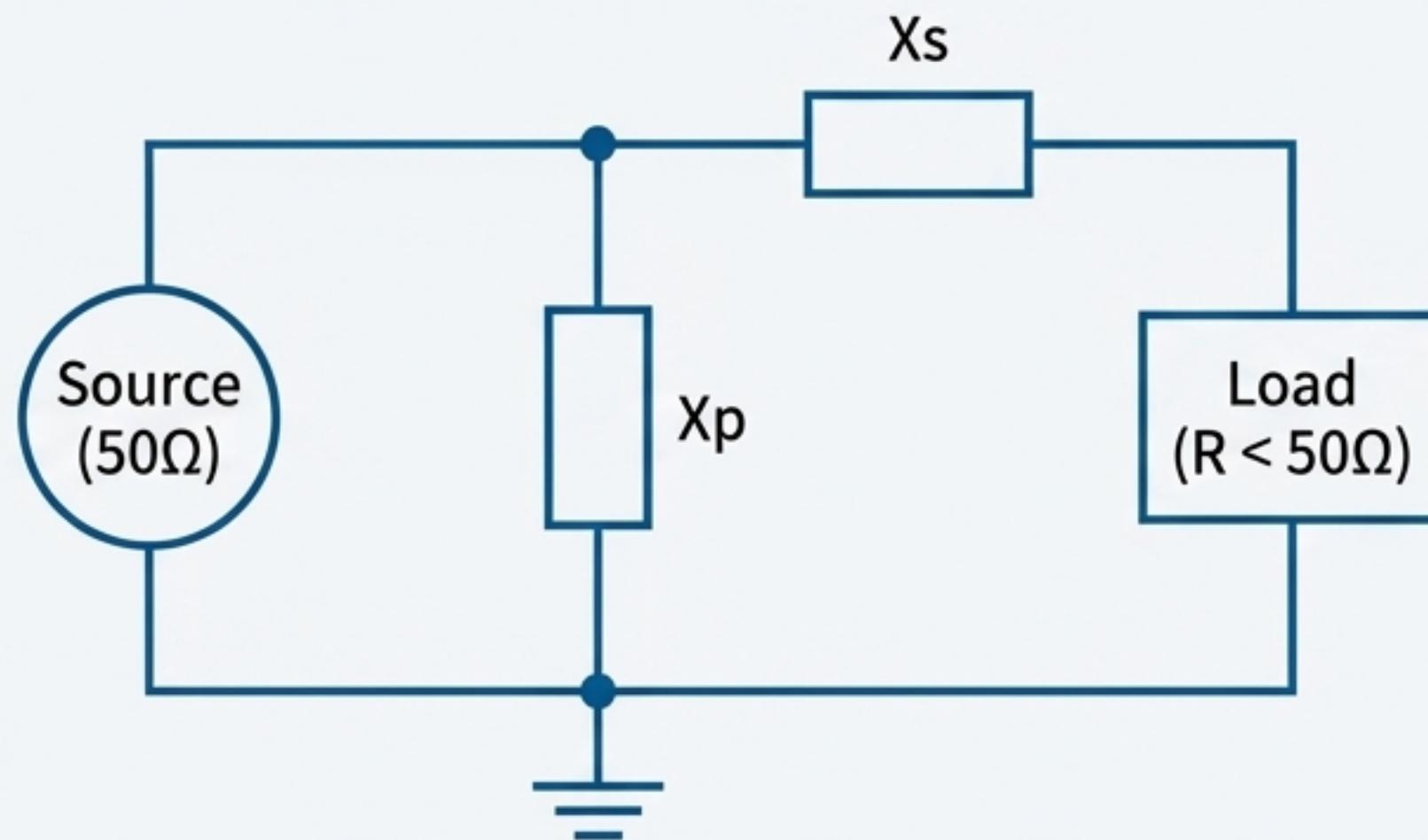
整合計算の核心：負荷に応じた最適トポロジーの選択

L-matchネットワークには、主要な2つの形式が存在します。どちらの回路を選択するかは、負荷抵抗(r_{load})が基準インピーダンス(50Ω)より大きいか小さいかという、ただ一つの条件によって決定されます。この判断が、回路構造全体を規定します。



Case 1: 低インピーダンスから 50Ω へ (昇圧整合)

$r_{load} < z_0$ の場合、ツールは「shunt-first」トポロジー（並列素子（源側） - 直列素子（負荷側））を選択します。この構成に必要な直列リアクタンス (X_s) と並列リアクタンス (X_p) が計算されます。

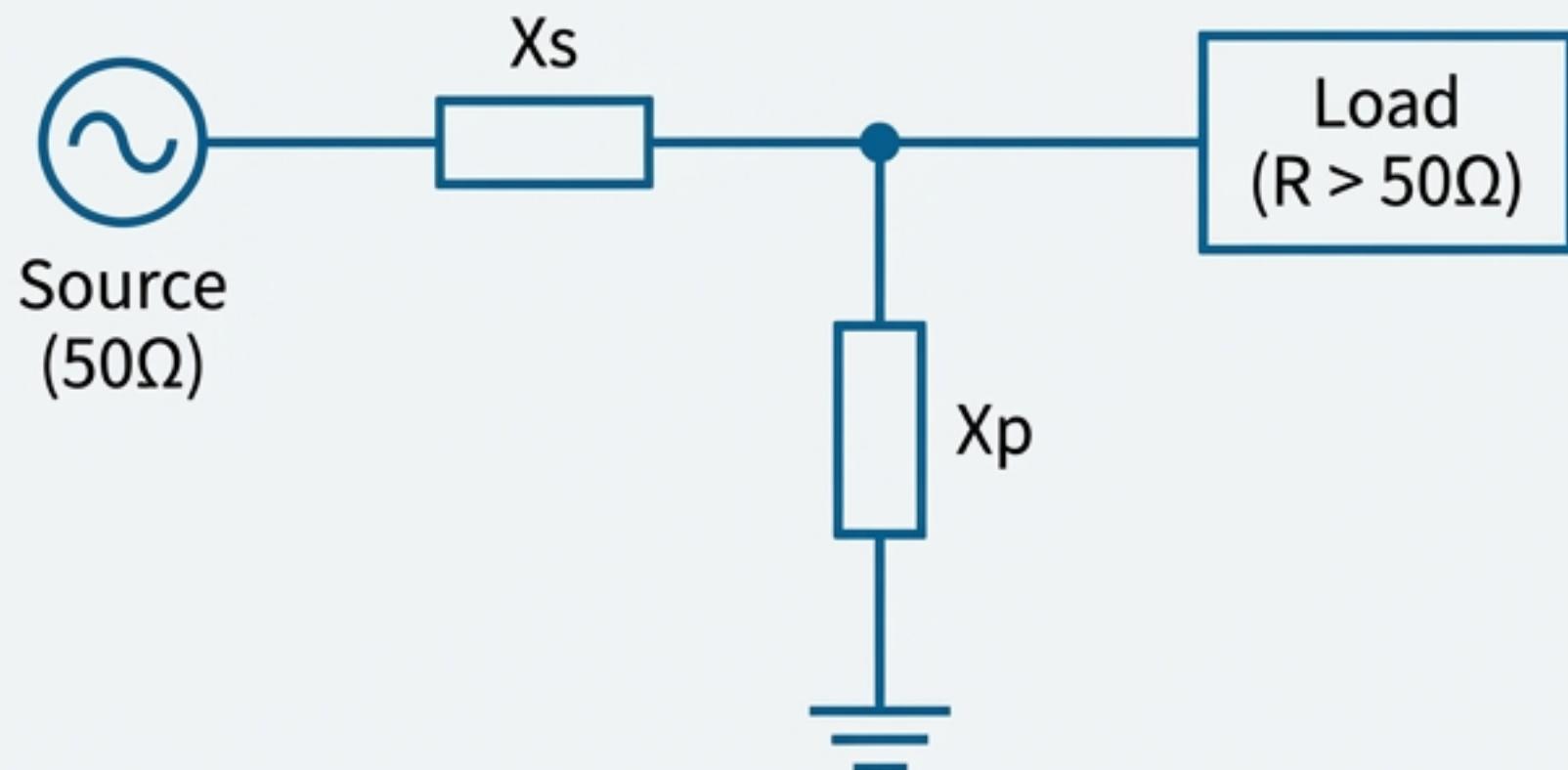


```
if r_load < z0:  
    Q_match = np.sqrt((z0 / r_load) - 1)  
    Xs = Q_match * r_load - x_load  
  
    # ... (intermediate lines)  
  
    Xp = -1.0 / Bp
```

$$Q_{match} = \sqrt{(z_0 / r_{load}) - 1}$$
$$X_s = Q_{match} * r_{load} - x_{load}$$
$$X_p = -1.0 / B_p$$

Case 2: 高インピーダンスから50Ωへ（降圧整合）

$r_{load} > z_0$ の場合、ツールは「series-first」トポロジー（直列素子（源側） - 並列素子（負荷側））を選択します。この計算では、アドミタンス（G, B）を用いてリアクタンス（ X_s, X_p ）を求めます。



```
else: # r_load > z0
    G_load = r_load / (r_load**2 + x_load**2)
    B_load = -x_load / (r_load**2 + x_load**2)

    B_total = np.sqrt((G_load / 50.0) - G_load**2)
    Xs = B_total / (G_load**2 + B_total**2)

    B_add = B_total - B_load
    Xp = -1.0 / B_add
```

$$B_{total} = \sqrt{(G_{load} / 50.0) - G_{load}^2}$$

$$X_s = B_{total} / (G_{load}^2 + B_{total}^2)$$

$$X_p = -1.0 / B_{add}$$

リアクタンスから実部品へ：LとCの最終決定

計算された抽象的なリアクタンス値 (X_s, X_p) を、具体的な電子部品に変換します。この決定は、リアクタンスの符号にのみ基づきます。

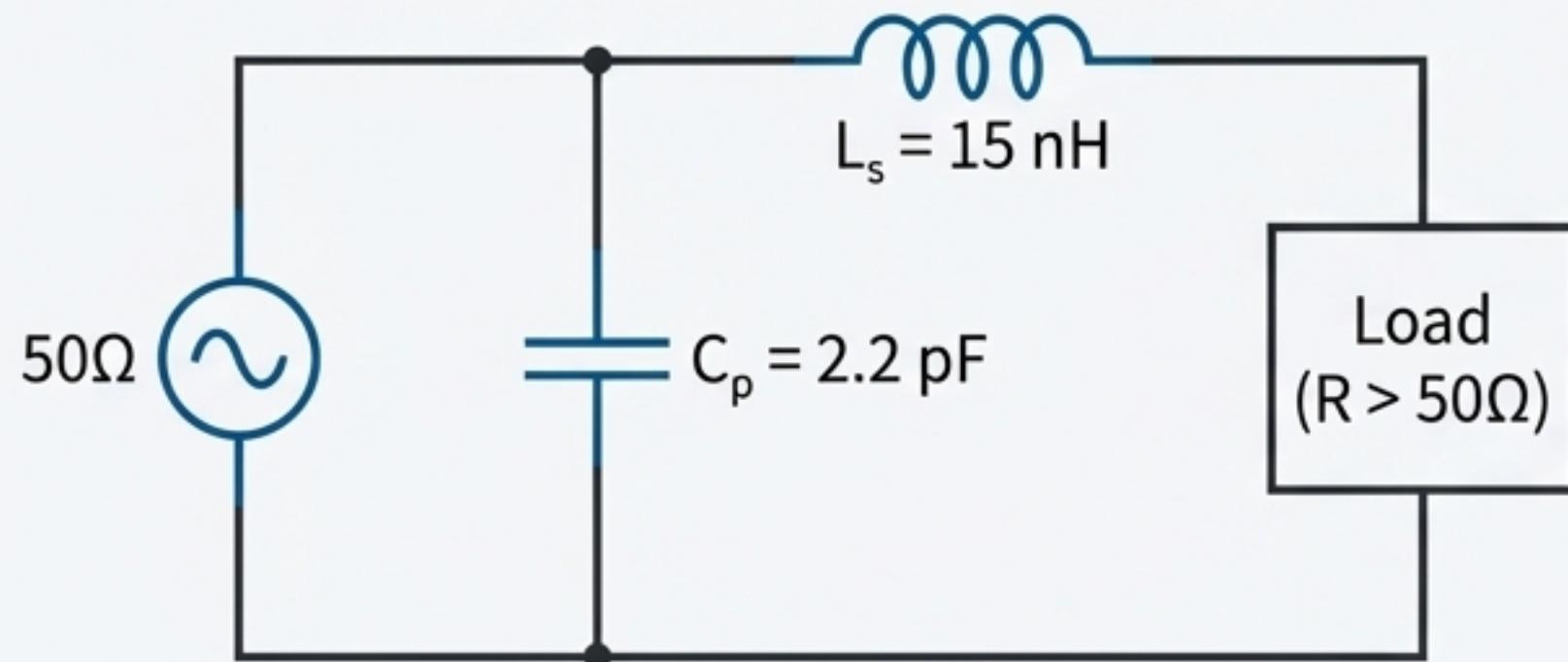
リアクタンスの符号 (Sign of Reactance)	対応する部品 (Component)
正 (Positive, $X > 0$)	インダクタ (L) $L (\mu\text{H}) = \frac{X_{\text{val}}}{\omega} * 1\text{e}6$
負 (Negative, $X < 0$)	キャパシタ (C) $C (\text{pF}) = \frac{1}{\omega * X_{\text{val}} } * 1\text{e}12$

```
def get_comp_data(X_val):  
    omega = 2 * np.pi * freq_mhz * 1e6  
  
    if X_val > 0:  
        # Positive Reactance -> Inductor  
        return "L", X_val / omega * 1e6 # uH  
    else:  
        # Negative Reactance -> Capacitor  
        return "C", 1 / (omega * abs(X_val))  
            * 1e12 # pF
```

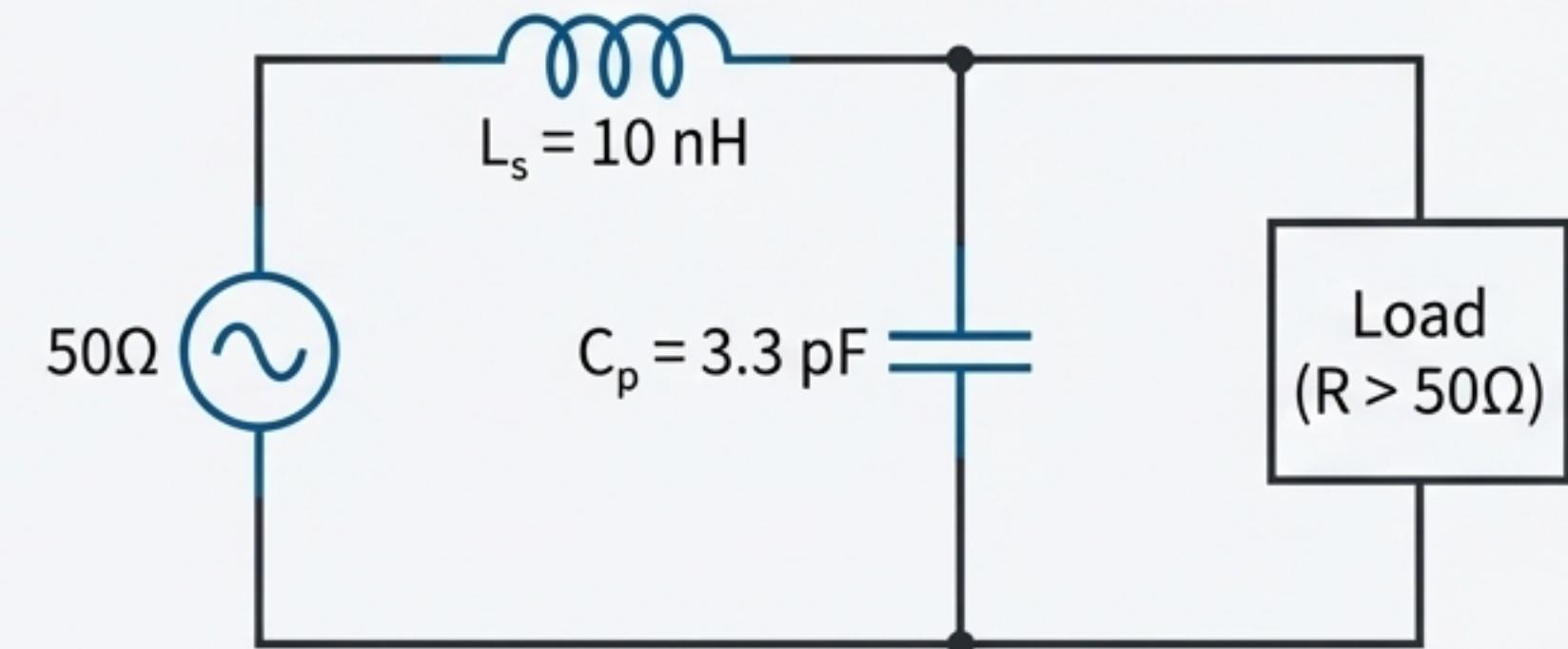
動的な回路図生成：計算結果を瞬時にビジュアル化

`generate_circuit_svg` 関数は、事前に用意された画像を使うのではなく、計算結果 (`topology_code`, `series_comp`, `shunt_comp`) に基づいて、その場で正しい回路図をSVG形式でプログラム的に描画します。これにより、数値結果とビジュアルが常に完璧に一致します。

昇圧整合 (Step-Up) / `shunt_first`



降圧整合 (Step-Down) / `series_first`



ケーススタディ：25Ωのアンテナを40.68MHzで整合する

入力

Frequency: 40.68 MHz

Power: 1000 W

Load Impedance: $25 + j0 \Omega$

Transformer: None (1:1)

論理パス

Since R_{load} (25Ω) < Z_0 (50Ω)
the calculator executes the
Step-Up (shunt_first) logic.

計算結果

Shunt Component

Type: C (Capacitor)

78.2 pF

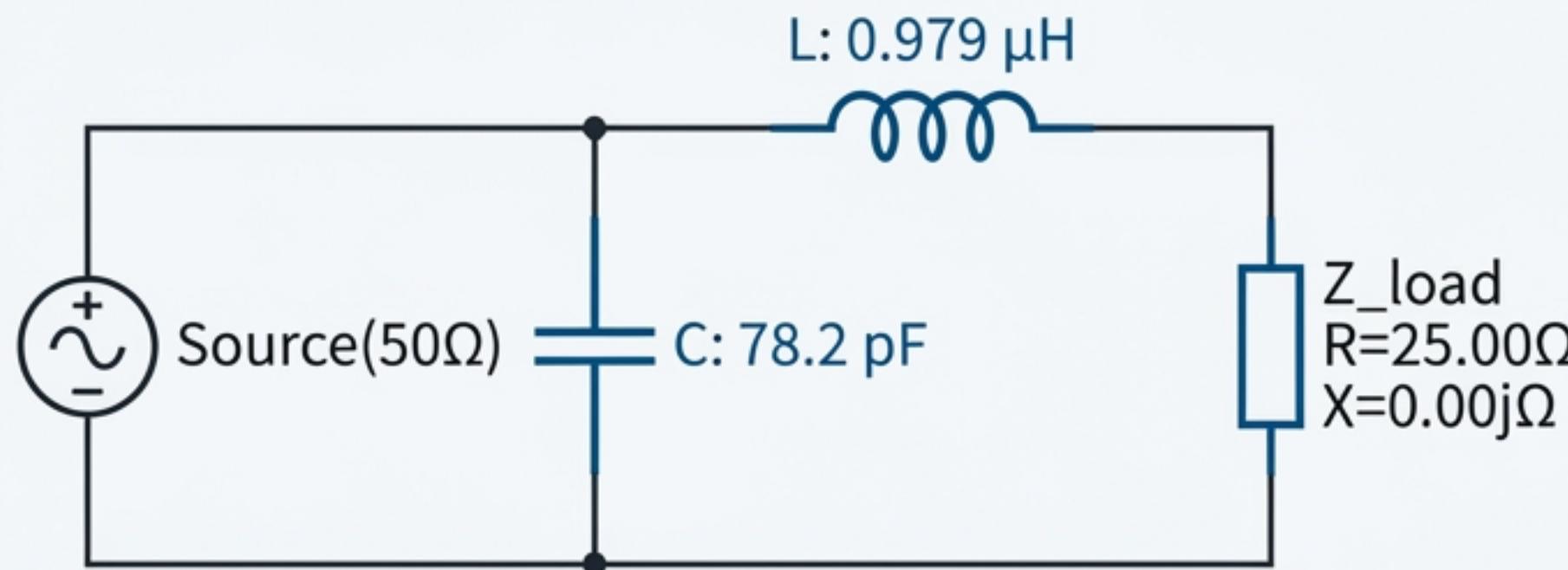
Series Component

Type: L (Inductor)

0.979 μH

生成された回路図とインピーダンス遷移の可視化

ツールは数値だけでなく、回路図とインピーダンスの変換経路を数学的に示すことで、結果を包括的に提示します。



インピーダンス遷移

$$Z_{TunerInput} = 25.0 + j(0.0) \Omega$$



$$Z_{Source} = 50.0 + j(0.0) \Omega$$

実用性の鍵：部品にかかる電圧と電流の計算

正しいL/C値の選定は、設計の半分に過ぎません。特に1000Wのような高電力では、部品が耐えうる電圧・電流を把握することが、回路の信頼性を確保する上で不可欠です。本ツールはこれらの重要指標を計算し、部品の焼損を防ぎます。

⚡ キャパシタ (C)

キャパシタンス: 78.1 pF

電圧 (Peak): **316 V**
RMS: 223.6V

電流 (RMS): **2.00 A**
Peak: 2.83A

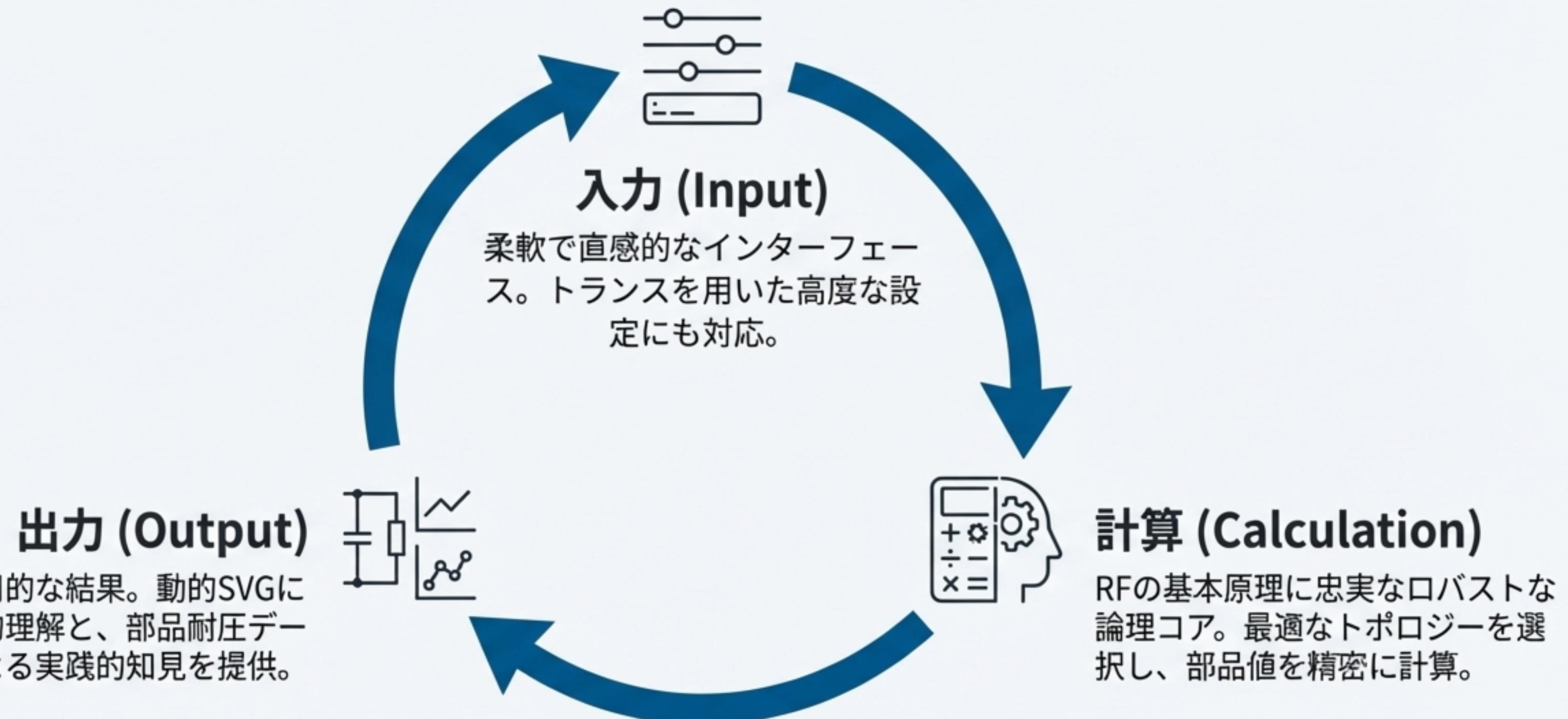
◎ インダクタ (L)

インダクタンス: 0.979 μH

電圧 (Peak): **316 V**
RMS: 223.6V

電流 (RMS): **6.32 A**
Peak: 8.94A

統合された設計：入力から、計算、可視化、そして実践へ



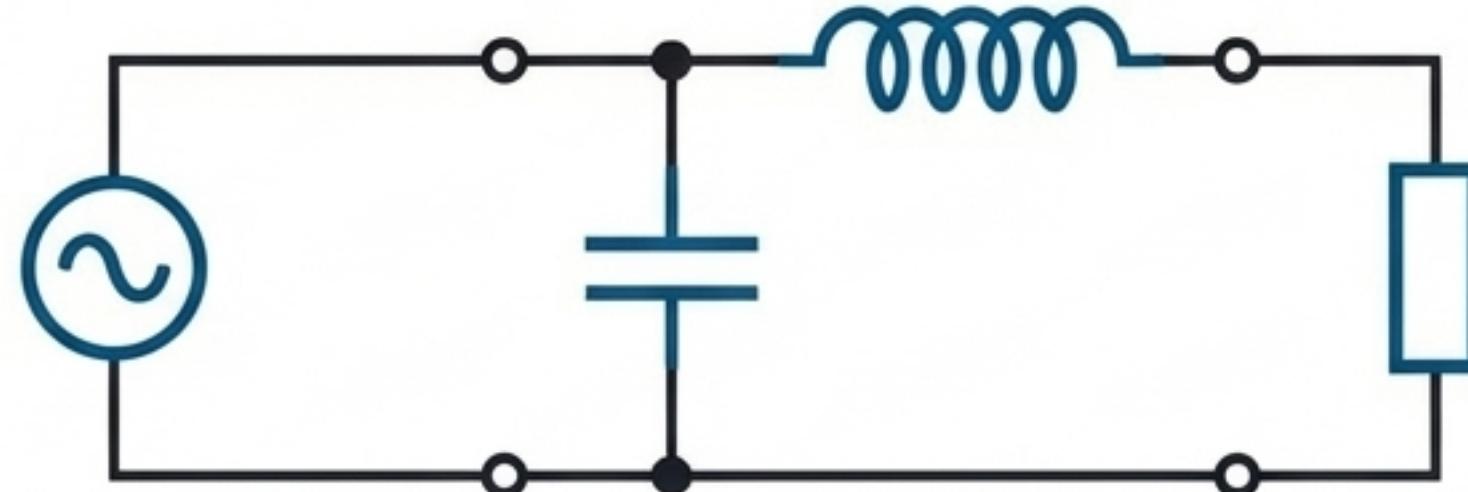
理論と実践を繋ぐエンジニアリングツール

単なる計算機ではなく、エンジニアやホビイストが理論的な整合問題から、信頼性の高いハードウェアソリューションへと自信を持って移行するための設計支援ツールです。設計を加速し、エラーを防ぎ、理解を深めます。

周波数
40.68 MHz

入力電力
1000 W

負荷インピーダンス
25 Ω



計算結果

⚡ キャパシタ (C)

キャパシタンス: 78.1 pF

電圧 (Peak): **316 V**
RMS: 223.6V

電流 (RMS): **2.00 A**
Peak: 2.83A

◎ インダクタ (L)

インダクタンス: 0.979 μH

電圧 (Peak): **316 V**
RMS: 223.6V

電流 (RMS): **6.32 A**
Peak: 8.94A