

Міністерство освіти України
Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут”
Кафедра ТОЕ

Розрахунково-графічна робота
“Розрахунок однофазного кола синусоїдного струму”
Варіант № 905

Виконав: _____

Перевірив: _____

Київ 2006

Умова завдання

В електричному колі діє джерело синусоїдної ЄРС:

Необхідно:

1. ДЛЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО КОЛА БЕЗ ВЗАЄМНОЇ ІНДУКЦІЇ:

- 1.1. Розрахувати струми віток символічним методом скласти баланс активних і реактивних потужностей кола;
- 1.2. Побудувати діаграму струмів і топографічну діаграму напруг, показати кут зсуву фаз;
- 1.3. Приймаючи активний опір R_2 за нульовий і вважаючи реактивний опір цієї вітки невідомий, розрахувати його за умови резонансу струмів;
- 1.4. Розрахувати струму для резонансного стану кола;
- 1.5. Перевірити правильність розрахунків за балансом потужностей;
- 1.6. Розрахувати (знайти нулі і полюси) і побудувати частотну характеристику вхідного опору частини кола, розміщеної справа від перерізу А-А. Для одержання реактивного двополюсника активні опори закоротити.

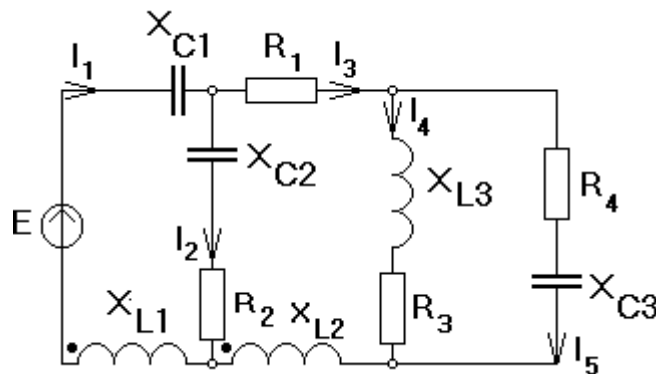
2. ПРИ НАЯВНОСТІ МАГНІТНОГО ЗВ'ЯЗКУ МІЖ ІНДУКТИВНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ L_1 ТА L_2 (ОДНОЙМЕННІ ПОЧАТКИ ПОЗНАЧЕНІ НА СХЕМІ ТОЧКАМИ):

- 2.1. Перетворивши схему до двох незалежних контурів, розрахувати струми у всіх вітках схеми методом контурних струмів;
- 2.2. Перевірити правильність розрахунків за балансом потужностей, визначити активну і реактивну потужності магнітного зв'язку;
- 2.3. Побудувати сумісну векторну діаграму струмів і топографічну діаграму напруг (на діаграмі показати напруги взаємної індукції).

3. ВІДКИНУВШИ ВІТКУ МІЖ ЗАТИСКАЧАМИ 2-2", ВИКОНАТИ ЕКВІВАЛЕНТУВАННЯ ВЗАЄМОІНДУКТИВНИХ ЗВ'ЯЗКІВ ВІТОК. ОДЕРЖАНУ СХЕМУ РОЗГЛЯДАТИ ЯК ЧОТИРИПОЛЮСНИК З ЗАТИСКАЧАМИ 1-1" ТА 2-2" :

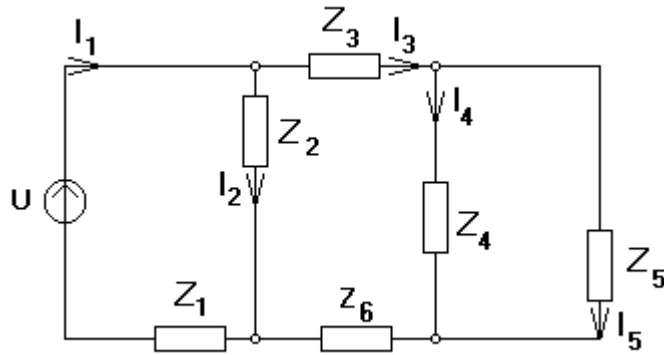
- 3.1. Розрахувати коефіцієнти A, B, C, D чотиріполюсника;
- 3.2. Розрахувати параметри R, L, C віток схеми заміщення.

$$\begin{aligned} E &:= 260 & \psi &:= 80 & R_1 &:= 20 & R_2 &:= 18 & R_3 &:= 16 & R_4 &:= 11 \\ X_{L1} &:= 37 & X_{L2} &:= 27 & X_{L3} &:= 20 & X_{C1} &:= 13 & X_{C2} &:= 10 & X_{C3} &:= 6 \\ X_M &:= 15 & f &:= 50 & & & & & & & & \\ U &:= E \cdot e^{j \cdot \psi \cdot \frac{\pi}{180}} & & & & & & & & & & \\ & & & & & & & & & & U &= 45.149 + 256.05i & F(U) &= (260 \ 80) \end{aligned}$$



Для электричного кола без взаємної індукції:

Розрахувати всі струми символьним методом



$$Z_1 := i \cdot (X_{L1} - X_{C1}) \rightarrow 24 \cdot i$$

$$Z_2 := R_2 - i \cdot (X_{C2}) \rightarrow 18 - 10 \cdot i$$

$$Z_3 := R_1 \rightarrow 20$$

$$Z_4 := R_3 + i \cdot X_{L3} \rightarrow 16 + 20 \cdot i$$

$$Z_5 := R_4 - i \cdot X_{C3} \rightarrow 11 - 6 \cdot i$$

$$Z_6 := i \cdot X_{L2} \rightarrow 27 \cdot i$$

$$Z_E := \frac{\left(\frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 + Z_6 \right) \cdot Z_2}{Z_2 + \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 + Z_6} + Z_1 \quad Z_E = 16.065 + 22.064i$$

$$I_1 := \frac{U}{Z_E} \quad I_1 = 8.558 + 4.185i \quad F(I_1) = (9.526 \quad 26.06)$$

$$I_2 := \frac{I_1 \cdot \left(\frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 + Z_6 \right)}{Z_2 + \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 + Z_6} \quad I_2 = 4.986 + 5.584i \quad F(I_2) = (7.486 \quad 48.242)$$

$$I_3 := \frac{I_1 \cdot Z_2}{\left(Z_2 + \frac{Z_5 \cdot Z_4}{Z_5 + Z_4} + Z_3 + Z_6 \right)} \quad I_3 = 3.572 - 1.399i \quad F(I_3) = (3.836 \quad -21.395)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{Z_5}{Z_5 + Z_4} \quad I_4 = 0.344 - 1.543i \quad F(I_4) = (1.581 \quad -77.413)$$

$$I_5 := I_3 \cdot \frac{Z_4}{Z_4 + Z_5} \quad I_5 = 3.228 + 0.143i \quad F(I_5) = (3.231 \quad 2.538)$$

Перевірка за першим законом Кіргофа:

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0 \quad I_3 - I_4 - I_5 = 0 \quad I_2 + I_5 + I_4 - I_1 = 0$$

Перевірка за другим законом Кіргофа:

$$-I_1 \cdot [i \cdot (X_{L1} - X_{C1})] + U - I_2 \cdot (R_2 - i \cdot X_{C2}) = -2.842 \times 10^{-14}$$

$$I_2 \cdot (R_2 - i \cdot X_{C2}) - I_4 \cdot (R_3 + i \cdot X_{L3}) - I_3 \cdot (R_1 + i \cdot X_{L2}) = -1.421i \times 10^{-14}$$

$$I_4 \cdot (R_3 + i \cdot X_{L3}) - I_5 \cdot (R_4 - i \cdot X_{C3}) = 0$$

Перевірка за балансом потужностей

$$S_1 := U \cdot \overline{I_1} \quad S_1 = 1.458 \times 10^3 + 2.002i \times 10^3$$

$$P := (|I_2|)^2 \cdot R_2 + (|I_4|)^2 \cdot R_3 + (|I_5|)^2 \cdot R_4 + (|I_3|)^2 \cdot R_1 \quad P = 1.458 \times 10^3$$

$$Q := (|I_1|)^2 \cdot (-X_{C1} + X_{L1}) + (|I_2|)^2 \cdot (-X_{C2}) + (|I_3|)^2 \cdot (X_{L2}) + (|I_4|)^2 \cdot (X_{L3}) + (|I_5|)^2 \cdot (-X_{C3}) \quad Q = 2.002 \times 10^3$$

Будуємо сумісну векторну діаграму струмів та топографічну діаграму напруг

Знаходимо потенціали точок:

$$\phi_a := 0$$

$$\phi_b := \phi_a + I_1 \cdot i \cdot X_{L1} \quad \phi_b = -154.845 + 316.638i \quad F(\phi_b) = (352.472 \quad 116.06)$$

$$\phi_c := \phi_b + I_2 \cdot R_2 \quad \phi_c = -65.101 + 417.159i \quad F(\phi_c) = (422.208 \quad 98.87)$$

$$\phi_d := \phi_c + I_2 \cdot (-i \cdot X_{C2}) \quad \phi_d = -9.256 + 367.301i \quad F(\phi_d) = (367.418 \quad 91.444)$$

$$\phi_1 := \phi_d + I_1 \cdot (-i \cdot X_{C1}) \quad \phi_1 = 45.149 + 256.05i \quad F(\phi_1) = (260 \quad 80)$$

$$\phi_{1'} := \phi_1 - U \quad \phi_{1'} = 4.974 \times 10^{-14}$$

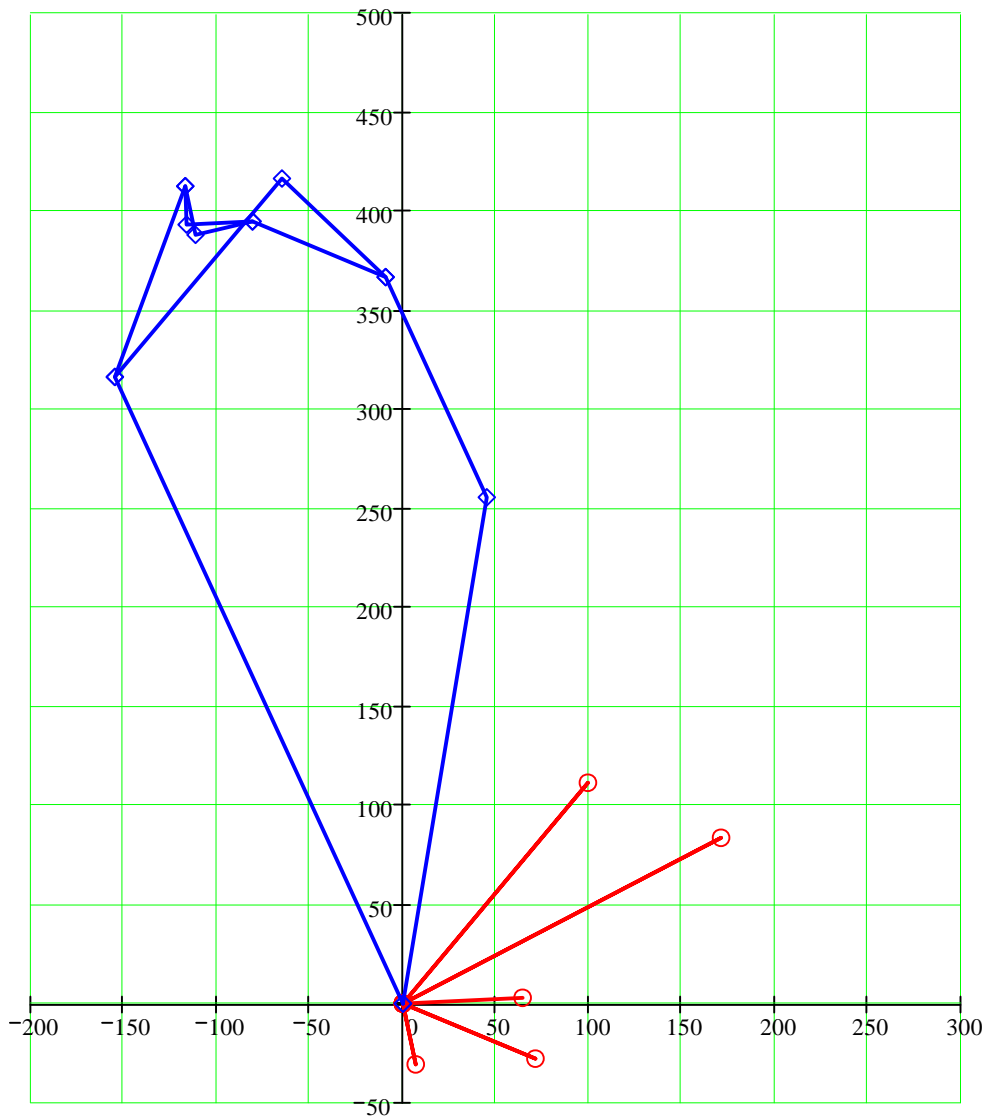
$$\phi_e := \phi_b + I_3 \cdot i \cdot X_{L2} \quad \phi_e = -117.059 + 413.083i \quad F(\phi_e) = (429.349 \quad 105.822)$$

$$\phi_m := \phi_e + I_4 \cdot R_3 \quad \phi_m = -111.548 + 388.402i \quad F(\phi_m) = (404.103 \quad 106.024)$$

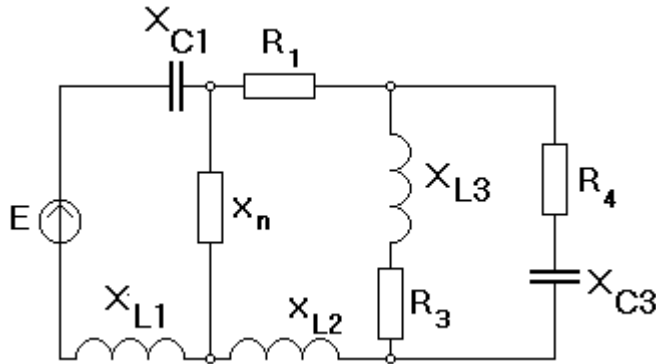
$$\phi_n := \phi_m + I_4 \cdot i \cdot X_{L3} \quad \phi_n = -80.697 + 395.291i \quad F(\phi_n) = (403.444 \quad 101.538)$$

$$\phi_k := \phi_e + I_5 \cdot (-i \cdot X_{C3}) \quad \phi_k = -116.201 + 393.717i \quad F(\phi_k) = (410.507 \quad 106.443)$$

$$\phi_n := \phi_k + I_5 \cdot R_4 \quad \phi_n = -80.697 + 395.291i \quad F(\phi_n) = (403.444 \quad 101.538)$$



Прийняти опір $R_2 = 0$ і, вважаючи реактивний опір цієї вітки невідомим, визначити його за умовою резонансу струмів.



$$Z_E := \frac{(R_3 + i \cdot X_{L3}) \cdot (R_4 - i \cdot X_{C3})}{R_3 + R_4 + i \cdot (X_{L3} - X_{C3})} + i \cdot X_{L2} + R_1 \quad Z_E = 30.517 + 26.139i$$

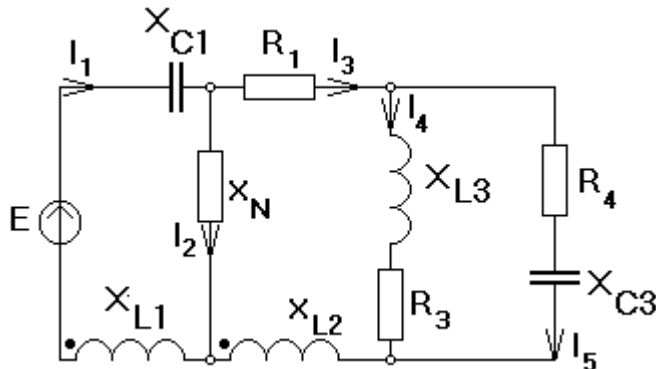
$$Z_E = R_E + j \cdot X_E \quad R_E := \operatorname{Re}(Z_E) \quad R_E = 30.517 \quad X_E := \operatorname{Im}(Z_E) \quad X_E = 26.139$$

За умовою резонансу:

$$B_{ab} = B_n + B_E \quad B_n = -B_E = \frac{-X_E}{X_E^2 + R_E^2}$$

$$B_n := \frac{-X_E}{X_E^2 + R_E^2} \quad B_n = -0.016 \quad \text{Реактивний опір вітки: } X_n := \frac{1}{B_n} \quad X_n = -61.767$$

Розрахувати струми для резонансного стану кола;



$$\begin{aligned} Z_1 &:= -X_{C1} \cdot i + X_{L1} \cdot i & Z_1 &= 24i \\ Z_3 &:= R_1 + X_{L2} \cdot i & Z_3 &= 20 + 27i \\ Z_4 &:= R_3 + X_{L3} \cdot i & Z_4 &= 16 + 20i \\ Z_5 &:= R_4 - X_{C3} \cdot i & Z_5 &= 11 - 6i \\ Z_{345} &:= \frac{Z_4 \cdot Z_5}{Z_4 + Z_5} + Z_3 & Z_{345} &= 30.517 + 26.139i \end{aligned}$$

$$\text{Вхідний опір кола: } Z_{VX}(X_N) := \frac{Z_{345} \cdot i \cdot X_N}{Z_{345} + i \cdot X_N} + Z_1$$

$$Z_{VX}(X_N) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{simplify} \end{array} \right. \rightarrow \frac{(28228 \cdot X_N^2 + 2654045 \cdot i \cdot X_N + 46379 \cdot i \cdot X_N^2 + 35842872 \cdot i)}{(1493453 + 48358 \cdot X_N + 925 \cdot X_N^2)}$$

$$X_N := \operatorname{Im}(Z_{VX}(X_N)) \left| \begin{array}{l} \text{complex} \\ \text{solve, } X_N \\ \text{float, 20} \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} -21.841025757169960471 \\ -35.384119243800306245 \end{pmatrix} \quad X_N := \begin{pmatrix} X_{N0} \\ X_{N1} \end{pmatrix}$$

Отже резонанс кола може бути при реактивному опорі у другій вітці $X_N = \begin{pmatrix} -21.841 \\ -35.384 \end{pmatrix}$ який носить ємнісний характер ($X_{N0} = -21.841$), ($X_{N1} = -35.384$)

$$X_n := X_{N0} \quad X_n = -21.841 \quad Z_{VX}(X_n) = 15.328$$

$$I_1 := \frac{U}{Z_{VX}(X_n)} \quad I_1 = 2.946 + 16.705i \quad F(I_1) = (16.963 \ 80)$$

$$I_2 := I_1 \cdot \frac{Z_{345}}{Z_{345} + i \cdot X_n} \quad I_2 = -8.487 + 20.424i \quad F(I_2) = (22.117 \ 112.564)$$

$$I_3 := I_1 - I_2 \quad I_3 = 11.432 - 3.718i \quad F(I_3) = (12.022 \ -18.018)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{Z_5}{Z_4 + Z_5} \quad I_4 = 1.362 - 4.762i \quad F(I_4) = (4.953 \ -74.036)$$

$$I_5 := I_3 - I_4 \quad I_5 = 10.07 + 1.043i \quad F(I_5) = (10.124 \ 5.915)$$

$$S_1 := U \cdot \overline{I_1} \quad S_1 = 4.41 \times 10^3$$

$$P := (|I_3|)^2 \cdot R_1 + (|I_4|)^2 \cdot R_3 + (|I_5|)^2 \cdot R_4 \quad P = 4.41 \times 10^3$$

$$Q := (|I_1|)^2 \cdot (X_{L1} - X_{C1}) + (|I_2|)^2 \cdot X_n + (|I_3|)^2 \cdot (X_{L2}) + (|I_4|)^2 \cdot X_{L3} + (|I_5|)^2 \cdot (-X_{C3}) \quad Q = -2.274 \times 10^{-12}$$

При $X_n := X_{N1} \quad X_n = -35.384 \quad Z_{VX}(X_n) = 37.579$

$$I_1 := \frac{U}{Z_{VX}(X_n)} \quad I_1 = 1.201 + 6.814i \quad F(I_1) = (6.919 \ 80)$$

$$I_2 := I_1 \cdot \frac{Z_{345}}{Z_{345} + i \cdot X_n} \quad I_2 = -6.421 + 5.897i \quad F(I_2) = (8.719 \ 137.436)$$

$$I_3 := I_1 - I_2 \quad I_3 = 7.623 + 0.916i \quad F(I_3) = (7.678 \ 6.854)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{Z_5}{Z_4 + Z_5} \quad I_4 = 2.068 - 2.393i \quad F(I_4) = (3.163 \ -49.165)$$

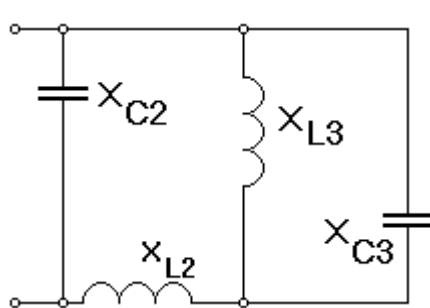
$$I_5 := I_3 - I_4 \quad I_5 = 5.555 + 3.309i \quad F(I_5) = (6.466 \ 30.786)$$

$$S_1 := U \cdot \overline{I_1} \quad S_1 = 1.799 \times 10^3$$

$$P := (|I_3|)^2 \cdot R_1 + (|I_4|)^2 \cdot R_3 + (|I_5|)^2 \cdot R_4 \quad P = 1.799 \times 10^3$$

$$Q := (|I_1|)^2 \cdot (X_{L1} - X_{C1}) + (|I_2|)^2 \cdot X_n + (|I_3|)^2 \cdot (X_{L2}) + (|I_4|)^2 \cdot X_{L3} + (|I_5|)^2 \cdot (-X_{C3}) \quad Q = 1.705 \times 10^{-13}$$

Розрахувати (знайти нулі і полюси) і побудувати частотну характеристику вхідного опору частини кола, розміщеної справа від перерізу **A-A**. Активні опори замкнути



$$L_2 := \frac{X_{L2}}{\omega} \rightarrow \frac{27}{100 \cdot \pi} \quad L_2 = 0.086$$

$$L_3 := \frac{X_{L3}}{\omega} \rightarrow \frac{1}{5 \cdot \pi} \quad L_3 = 0.064$$

$$C_2 := \frac{1}{\omega \cdot X_{C2}} \rightarrow \frac{1}{1000 \cdot \pi} \quad C_2 = 3.183 \times 10^{-4}$$

$$C_3 := \frac{1}{\omega \cdot X_{C3}} \rightarrow \frac{1}{600 \cdot \pi} \quad C_3 = 5.305 \times 10^{-4}$$

$$Z(p) := \frac{\left(\frac{-1}{p \cdot C_3} \cdot p \cdot L_3 \right)}{\frac{p \cdot L_3 + \frac{-1}{p \cdot C_3}}{p \cdot L_3 + \frac{-1}{p \cdot C_3}} + p \cdot L_2} \cdot \frac{-1}{p \cdot C_2}$$

$$Z(p) := \frac{\frac{-1}{p \cdot C_2} + \frac{\frac{-1}{p \cdot C_3} \cdot p \cdot L_3}{p \cdot L_3 + \frac{-1}{p \cdot C_3}}}{p \cdot L_3 + \frac{-1}{p \cdot C_3}} + p \cdot L_2$$

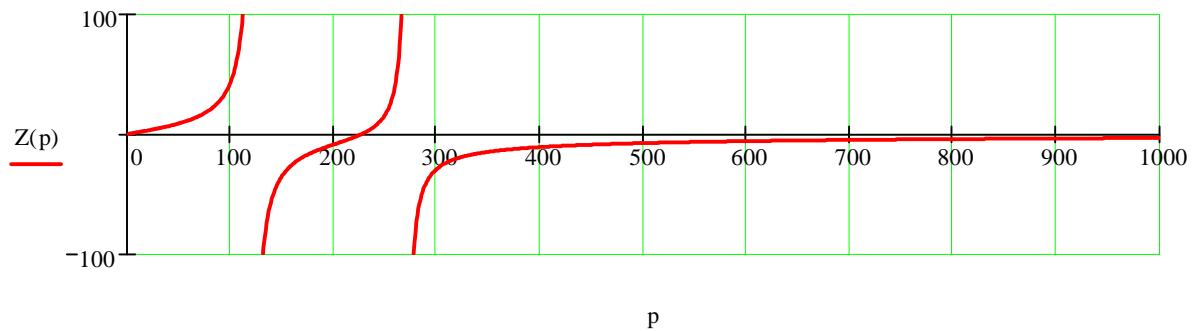
Знаходимо нулі:

$$\omega := Z(p) \left| \begin{array}{l} \text{solve, p} \\ \text{float, 7} \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 227.0270 \\ -227.0270 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \omega = \begin{pmatrix} 227.027 \\ -227.027 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\omega := (\omega_0 \ \omega_2) \quad \omega = (227.027 \ 0)$$

Знаходимо полюси:

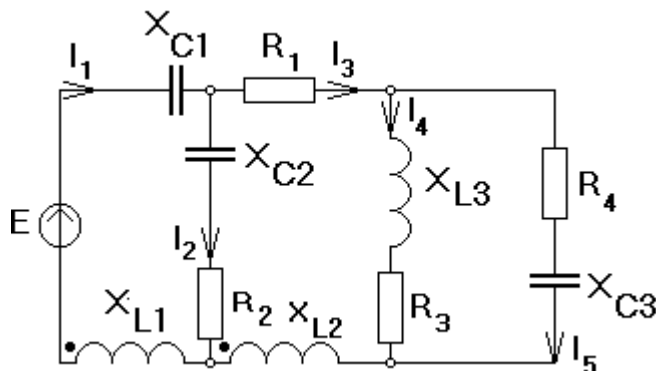
$$\omega_1 := \frac{1}{Z(p)} \left| \begin{array}{l} \text{solve, p} \\ \text{float, 11} \end{array} \right. \rightarrow \begin{pmatrix} 270.80837956 \\ 121.48324728 \\ -121.48324728 \\ -270.80837956 \end{pmatrix} \quad \omega_1 = \begin{pmatrix} 270.808 \\ 121.483 \\ -121.483 \\ -270.808 \end{pmatrix} \quad \omega_1 := \begin{pmatrix} \omega_{1_0} \\ \omega_{1_2} \end{pmatrix} \quad \omega_1 = \begin{pmatrix} 270.808 \\ -121.483 \end{pmatrix}$$



При наявності магнітного зв'язку між індуктивними елементами

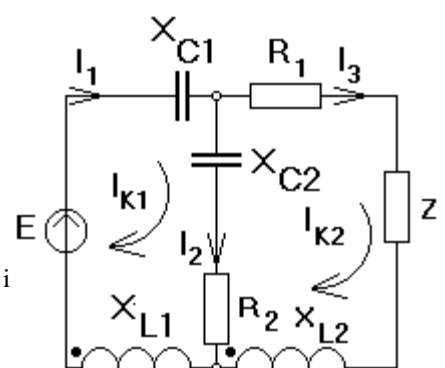
- 1) Перетворити схему до двох незалежних контурів, розрахувати струми у всіх вітках методом контурних струмів, визначити покази вольтметра;
- 2) Перевірити правильність розрахунків за балансом потужностей, визначити активну і реактивну потужності магнітного зв'язку;

і фазову діаграму напруг



$$Z := \frac{(R_4 - i \cdot X_{C3}) \cdot (R_3 + i \cdot X_{L3})}{R_4 + R_3 + i \cdot (X_{L3} - X_{C3})}$$

$$Z = 10.517 - 0.861i$$



$$Z_{11} := R_2 + i \cdot (X_{L1} - X_{C1} - X_{C2}) \rightarrow 18 + 14 \cdot i$$

$$Z_{12} := R_2 + i \cdot (-X_{C2} - X_M) \rightarrow 18 - 25 \cdot i$$

$$Z_{22} := R_2 + R_1 + i \cdot (X_{L2} - X_{C2}) + Z \text{ float, 7} \rightarrow 48.51676 + 16.13946 \cdot i$$

Given

$$I_{K1} \cdot Z_{11} - I_{K2} \cdot Z_{12} = U$$

$$-I_{K1} \cdot Z_{12} + I_{K2} \cdot Z_{22} = 0$$

$$\begin{pmatrix} I_{K1} \\ I_{K2} \end{pmatrix} := \text{Find}(I_{K1}, I_{K2}) \rightarrow \begin{pmatrix} 5.1755148118196673671 + 3.6637320113434716198 \cdot i \\ 3.0369585521893466013 - 2.3178704671545887837 \cdot i \end{pmatrix}$$

$$I_{K1} = 5.176 + 3.664i$$

$$I_{K2} = 3.037 - 2.318i$$

$$I_1 := I_{K1}$$

$$I_1 = 5.176 + 3.664i$$

$$F(I_1) = (6.341 \ 35.295)$$

$$I_2 := I_{K1} - I_{K2}$$

$$I_2 = 2.139 + 5.982i$$

$$F(I_2) = (6.352 \ 70.327)$$

$$I_3 := I_{K2}$$

$$I_3 = 3.037 - 2.318i$$

$$F(I_3) = (3.82 \ -37.352)$$

$$I_4 := I_3 \cdot \frac{Z}{R_3 + i \cdot X_{L3}}$$

$$I_4 = -0.093 - 1.571i$$

$$F(I_4) = (1.574 \ -93.37)$$

$$I_5 := I_3 \cdot \frac{Z}{R_4 - i \cdot X_{C3}}$$

$$I_5 = 3.129 - 0.747i$$

$$F(I_5) = (3.217 \quad -13.419)$$

Перевірка за першим законом Кіргофа:

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0 \quad I_3 - I_4 - I_5 = 0 \quad I_2 + I_5 + I_4 - I_1 = 0$$

$$S_{M1} := I_1 \cdot \overline{I_3} \cdot i \cdot X_M$$

$$S_{M1} = -346.842 + 108.387i$$

$$F(S_{M1}) = (363.382 \quad 162.646)$$

$$S_{M2} := \overline{I_1} \cdot I_3 \cdot i \cdot X_M$$

$$S_{M2} = 346.842 + 108.387i$$

$$F(S_{M2}) = (363.382 \quad 17.354)$$

Перевірка за балансом потужностей

$$S_1 := U \cdot \overline{I_1}$$

$$S_1 = 1.172 \times 10^3 + 1.16i \times 10^3$$

$$P := (|I_3|)^2 \cdot R_1 + (|I_2|)^2 \cdot R_2 + (|I_4|)^2 \cdot R_3 + (|I_5|)^2 \cdot R_4$$

$$P = 1.172 \times 10^3$$

$$Q := (|I_1|)^2 \cdot i \cdot (-X_{C1} + X_{L1}) + (|I_2|)^2 \cdot (-i \cdot X_{C2}) + (|I_3|)^2 \cdot (X_{L2} \cdot i) + (|I_4|)^2 \cdot (X_{L3} \cdot i) + (|I_5|)^2 \cdot (-X_{C3} \cdot i)$$

$$Q := Q + S_{M1} + S_{M2}$$

$$Q = 1.16i \times 10^3$$

Будуємо сумісну векторну діаграму струмів та топографічну діаграму напруг

Знаходимо потенціали точок:

$$\phi_a := 0$$

$$\phi_b := \phi_a + I_1 \cdot (i \cdot X_{L1})$$

$$\phi_b = -135.558 + 191.494i$$

$$F(\phi_b) = (234.619 \quad 125.295)$$

$$\phi_{b'} := \phi_b + I_3 \cdot i \cdot X_M$$

$$\phi_{b'} = -100.79 + 237.048i$$

$$F(\phi_{b'}) = (257.586 \quad 113.035)$$

$$\phi_c := \phi_{b'} + I_2 \cdot R_2$$

$$\phi_c = -62.296 + 344.717i$$

$$F(\phi_c) = (350.301 \quad 100.244)$$

$$\phi_d := \phi_c + I_2 \cdot (-i \cdot X_{C2})$$

$$\phi_d = -2.48 + 323.332i$$

$$F(\phi_d) = (323.341 \quad 90.439)$$

$$\phi_1 := \phi_d - I_1 \cdot i \cdot X_{C1}$$

$$\phi_1 = 45.149 + 256.05i$$

$$F(\phi_1) = (260 \quad 80)$$

$$\phi_{1'} := \phi_1 - U$$

$$\phi_{1'} = -2.132 \times 10^{-14}$$

$$F(\phi_{1'}) = (2.132 \times 10^{-14} \quad 180)$$

$$\phi_{e'} := \phi_{b'} + I_3 \cdot i \cdot X_{L2}$$

$$\phi_{e'} = -38.208 + 319.046i$$

$$F(\phi_{e'}) = (321.326 \quad 96.829)$$

$$\phi_e := \phi_{e'} + I_1 \cdot i \cdot X_M$$

$$\phi_e = -93.164 + 396.679i$$

$$F(\phi_e) = (407.472 \quad 103.217)$$

$$\phi_m := \phi_e + I_4 \cdot R_3$$

$$\phi_m = -94.644 + 371.539i$$

$$F(\phi_m) = (383.404 \quad 104.291)$$

$$\phi_n := \phi_m + I_4 \cdot i \cdot X_{L3}$$

$$\phi_n = -63.219 + 369.689i$$

$$F(\phi_n) = (375.056 \quad 99.704)$$

$$\phi_k := \phi_e + I_5 \cdot (-i \cdot X_{C3})$$

$$\phi_k = -97.643 + 377.902i$$

$$F(\phi_k) = (390.313 \quad 104.487)$$

$$\phi_n := \phi_k + I_5 \cdot R_4$$

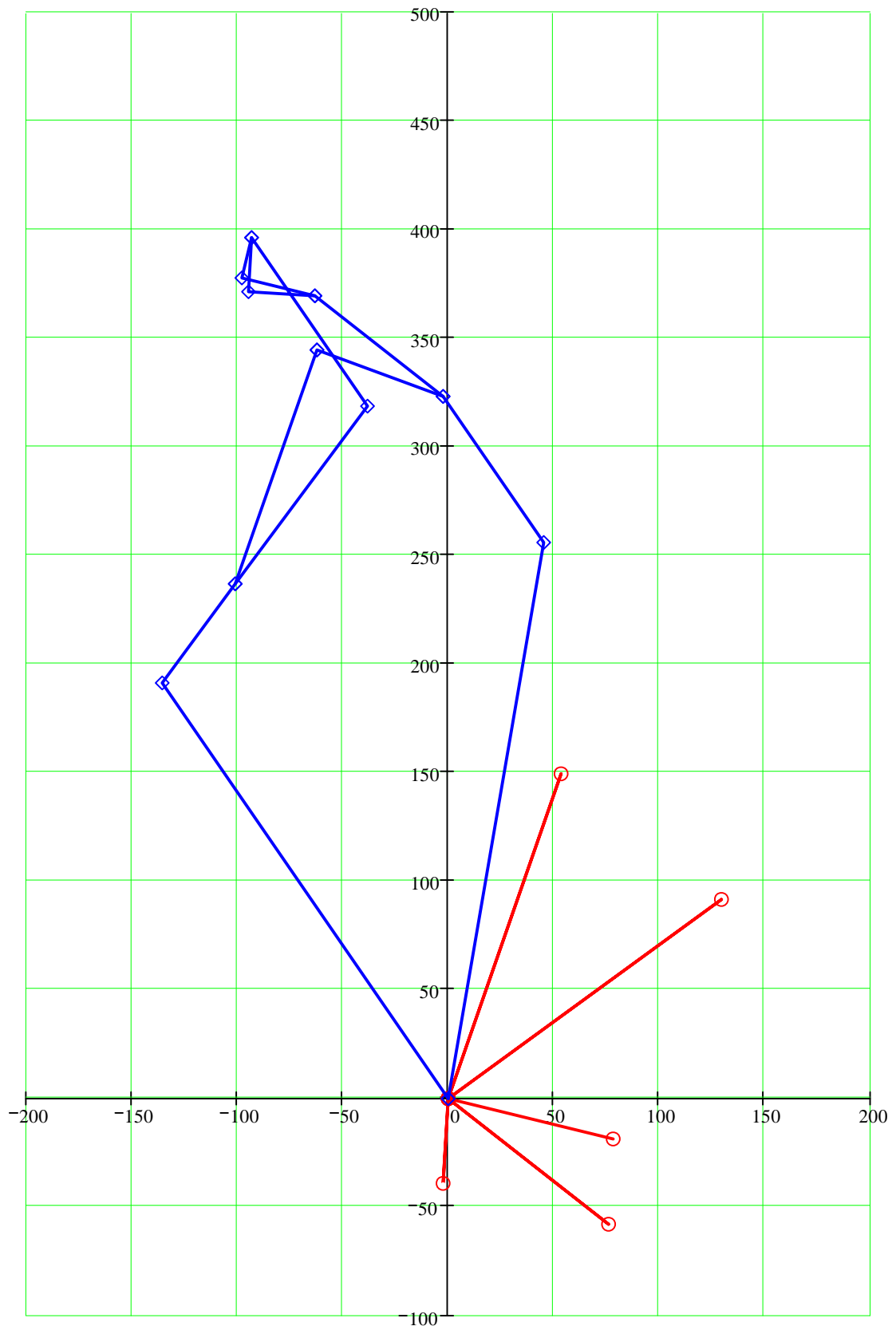
$$\phi_n = -63.219 + 369.689i$$

$$F(\phi_n) = (375.056 \quad 99.704)$$

$$\phi_d := \phi_n + I_3 \cdot R_1$$

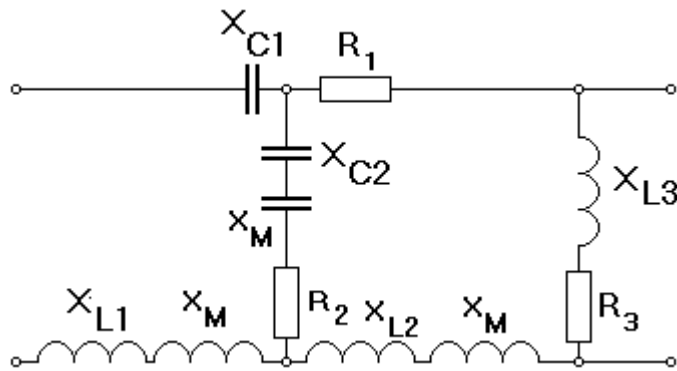
$$\phi_d = -2.48 + 323.332i$$

$$F(\phi_d) = (323.341 \quad 90.439)$$



3. Відкинувши крайню вітку між полбсами 2,2", зробити розв'язку магнітного зв'язку. Одержану схему розглядати як чотириполіусник з полюсами 1,1" та 2,2":

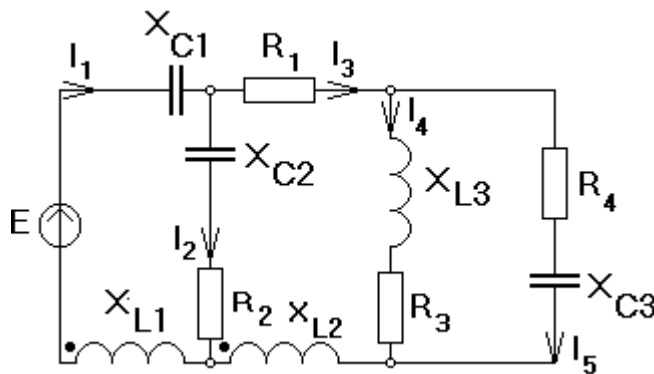
1) Розрахувати коефіцієнти чотириполіусника **A, B, C, D**



$$U_1 = A \cdot U_2 + B \cdot I_2$$

$$I_1 = C \cdot U_2 + D \cdot I_2$$

Неробочий хід: $I_2 = 0$ $U_{10} := U$ $U_1 = A \cdot U_2$ $I_1 = C \cdot U_2$



$$Z_1 := i \cdot (X_{L1} + X_M - X_{C1}) \rightarrow 39 \cdot i$$

$$Z_2 := R_2 - i \cdot (X_{C2} + X_M) \rightarrow 18 - 25 \cdot i$$

$$Z_3 := R_3 + R_1 + i \cdot (X_{L2} + X_{L3} + X_M) \rightarrow 36 + 62 \cdot i$$

$$Z_E := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_E = 29.565 + 22.743i$$

$$I_{10} := \frac{U_{10}}{Z_E} \quad I_{10} = 5.145 + 4.703i$$

$$F(I_{10}) = (6.97 \quad 42.43)$$

$$I_{30} := I_{10} \cdot \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3} \quad I_{30} = 2.269 - 2.369i$$

$$F(I_{30}) = (3.28 \quad -46.234)$$

$$U_{20} := I_{30} \cdot (R_3 + i \cdot X_{L3}) \quad U_{20} = 83.685 + 7.478i$$

$$F(U_{20}) = (84.018 \quad 5.106)$$

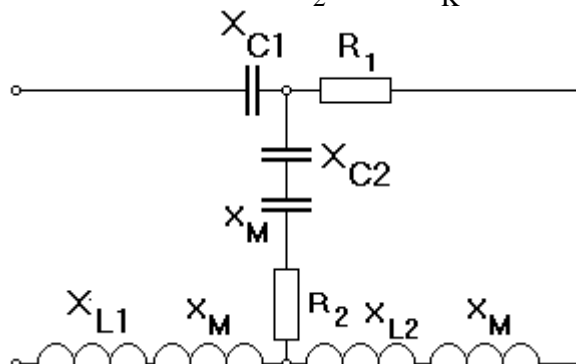
$$A := \frac{U_{10}}{U_{20}} \quad A = 0.806 + 2.988i$$

$$F(A) = (3.095 \quad 74.894)$$

$$C := \frac{I_{10}}{U_{20}} \quad C = 0.066 + 0.05i$$

$$F(C) = (0.083 \quad 37.324)$$

Коротке замикання: $U_2 = 0$ $U_K := U$ $U_1 = B \cdot I_2$ $I_1 = D \cdot I_2$



$$Z_1 := i \cdot (X_{L1} + X_M - X_{C1}) \rightarrow 39 \cdot i$$

$$Z_2 := R_2 - i \cdot (X_{C2} + X_M) \rightarrow 18 - 25 \cdot i$$

$$Z_3 := R_1 + i \cdot (X_{L2} + X_M) \rightarrow 20 + 42 \cdot i$$

$$Z_K := \frac{Z_2 \cdot Z_3}{Z_2 + Z_3} + Z_1 \quad Z_K = 33.429 + 30.782i$$

$$I_{1K} := \frac{U_K}{Z_K} \quad I_{1K} = 4.548 + 3.472i \quad F(I_{1K}) = (5.722 \quad 37.36)$$

$$I_{3K} := I_{1K} \cdot \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3} \quad I_{3K} = 3.196 - 2.777i \quad F(I_{3K}) = (4.234 \quad -40.988)$$

$$B := \frac{U_K}{I_{3K}} \quad B = -31.616 + 52.644i \quad F(B) = (61.408 \quad 120.988)$$

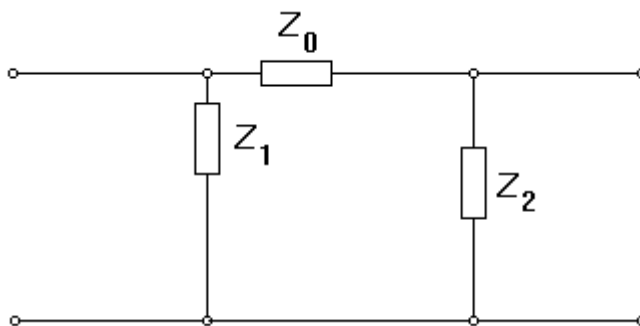
$$D := \frac{I_{1K}}{I_{3K}} \quad D = 0.273 + 1.323i \quad F(D) = (1.351 \quad 78.348)$$

Перевірка $A \cdot D - B \cdot C = 1$

$$F(A) = (3.095 \quad 74.894) \quad F(B) = (61.408 \quad 120.988)$$

$$F(C) = (0.083 \quad 37.324) \quad F(D) = (1.351 \quad 78.348)$$

Розрахувати параметри віток схеми П заміщення



$$Z_0 := B \quad Z_0 = -31.616 + 52.644i \quad F(Z_0) = (61.408 \quad 120.988)$$

$$Y_1 := \frac{D - 1}{B} \quad Y_1 = 0.025 - 9.462i \times 10^{-4} \quad F(Y_1) = (0.025 \quad -2.205)$$

$$Y_2 := \frac{A - 1}{B} \quad Y_2 = 0.043 - 0.022i \quad F(Y_2) = (0.049 \quad -27.282)$$

$$R_0 := \operatorname{Re}(Z_0) \quad R_0 = -31.616 \quad X_{L0} := \operatorname{Im}(Z_0) \quad X_{L0} = 52.644$$

$$Z_1 := \frac{1}{Y_1} \quad Z_1 = 40.636 + 1.565i \quad R_1 := \operatorname{Re}(Z_1) \quad R_1 = 40.636 \quad X_{L1} := \operatorname{Im}(Z_1) \quad X_{L1} = 1.565$$

$$Z_2 := \frac{1}{Y_2} \quad Z_2 = 18.23 + 9.402i \quad R_2 := \operatorname{Re}(Z_2) \quad R_2 = 18.23 \quad X_{L2} := \operatorname{Im}(Z_2) \quad X_{L2} = 9.402$$

$$L_1 := \frac{X_{L1}}{\omega} \quad L_1 = 4.981 \times 10^{-3} \quad L_2 := \frac{X_{L2}}{\omega} \quad L_2 = 0.03$$

$$L_0 := \frac{X_{L0}}{\omega} \quad L_0 = 0.168$$