ИЗВЕСТИЯ
ТОМСКОГО ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА им. С. М. КИРОВА

Том 293 1977

УДК 621.314 : 621.317

РЕЗОНАНСНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В МОСТАХ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ТЕСНОЙ ИНДУКТИВНОЙ СВЯЗЬЮ

Ю. Б. ВОЛЫНСКИЙ, В. А. РАСКОЛЕНКО

(Представлена научным семинаром физико-технического факультета)

Рассмотрим мост переменного тока, образованный двумя индуктивно связанными катушками с числом витков W_1 и W_2 и двумя сопротивлениями $\dot{Z}_3$ и $\dot{Z}_4$ (рис. 1). Если пренебречь потерями в катушках индуктивности, то при коэффициенте связи, равном единице, для напряжений $\dot{U}_3$ и $\dot{U}_4$ могут быть записаны следующие соотношения [1]:

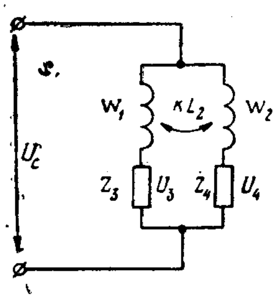

Рис. 1. Схема моста переменного тока с тесной индуктивной связью

$$\dot{U}_3 = U_c \frac{\dot{A}\cdot[1+\dot{B}(1+K)]}{\dot{A}+\dot{B}(K^2+\dot{A})}, \quad (1)$$

$$\dot{U}_4 = U_c \cdot \frac{\dot{A}+\dot{B}(1+K)K}{\dot{A}+\dot{B}(K^2+\dot{A})}, \quad (2)$$

где

$$\dot{A} = \frac{\dot{Z}_3}{\dot{Z}_4}, \quad \dot{B} = \frac{j\omega L_2}{\dot{Z}_н},$$

L_2 — индуктивность катушки с числом витков W_2,

$$K = \frac{W_1}{W_2}.$$

Проанализируем соотношения (1, 2) при $\dot{A} = \pm\alpha$; $\dot{A} = \pm j\alpha$, $\dot{B} = \pm\beta$, $\dot{B} = j\beta$. Здесь $\alpha = |\dot{A}|$, $\beta = |\dot{B}|$. Особое внимание обратим на те случаи, когда при изменении коэффициентов α и β либо модули, либо аргументы напряжений $\dot{U}_3$ и $\dot{U}_4$ принимают максимальные или минимальные значения. Таких случаев может быть пять.

1. $$A = \alpha, \ \dot{B} = j\beta \ (Z_3 = R_3, \ Z_4 = R_4),$$

$$U_3 = U_{mc}\sqrt{\frac{\alpha^2+\beta^2\alpha^2(1+K)^2}{\alpha^2+\beta^2(K^2+\alpha)^2}} \times$$

$$\times \sin\left[\omega t + \operatorname{arctg}\frac{\beta K(\alpha-K)}{\alpha+\beta^2(1+K)(K^2+\alpha)}\right], \quad (3)$$

$$U_4 = U_{mc}\sqrt{\frac{\alpha^2+\beta^2K^2(1+K)^2}{\alpha^2+\beta^2(K^2+\alpha)^2}} \times$$

$$\times \sin\left[\omega t + \operatorname{arctg}\frac{\alpha\beta(K-\alpha)}{\alpha^2+\beta^2 K(1+K)(K^2+\alpha)}\right]. \qquad (4)$$

Особенностью первого случая является то, что при $\alpha = K$ фазовый сдвиг между напряжением сети и напряжениями U_3 и U_4 становится равным нулю. Эта особенность имеет место как при изменениях R_3, так и при изменениях R_4.

2. $$\dot{A} = -j\alpha, \ B = j\beta\left(\dot{Z}_3 = \frac{1}{j\omega C_3}, \ Z_4 = R_4\right),$$

$$U_3 = U_{mc}\sqrt{\frac{\alpha^2+\alpha^2\beta^2(1+K)^2}{(\alpha-\beta K^2)^2+\alpha^2\beta^2}} \times$$

$$\times \sin\left[\omega t + \operatorname{arctg}\frac{\beta\alpha K-\beta^2 K^2(1+K)}{\alpha(1+\beta^2 K+\beta^2)-\beta K^2}\right], \qquad (5)$$

$$U_4 = U_{mc}\sqrt{\frac{[\beta K(1+K)-\alpha]^2}{\alpha^2+(\beta K^2-\alpha)^2}}\sin\left[\omega t + \operatorname{arctg}\frac{\alpha\beta}{\beta K^2-\alpha}\right]. \qquad (6)$$

Во втором случае при $\alpha = \beta K(1+K)$ становятся равными нулю модуль напряжения U_4 и аргумент напряжения U_3. При $\alpha = \beta K^2$ напряжение U_4 опережает по фазе на $\frac{\pi}{2}$ сетевое напряжение, а модули напряжений U_3 и U_4 могут достигать экстремальных значений. При $\alpha = \frac{\beta K^2}{1+\beta^2 K+\beta^2}$ напряжение U_3 отстает по фазе от напряжения U_c на $\frac{\pi}{2}$.

3. $$A = \alpha, \ B = -\beta\left(\dot{Z}_3 = \frac{1}{j\omega C_3}, \quad \dot{Z}_4 = \frac{1}{j\omega C_4}\right),$$

$$U_3 = U_{mc}\frac{\alpha[1-\beta(1+K)]}{\alpha(1-\beta)-\beta K^2}\sin\omega t, \qquad (7)$$

$$U_4 = U_{mc}\frac{\alpha-\beta K\cdot(1+K)}{\alpha(1-\beta)-\beta K^2}\sin\omega t. \qquad (8)$$

В третьем случае амплитуды напряжений U_3 и U_4 принимают экстремальные значения при $\alpha = \frac{\beta K^2}{1-\beta}$. При $\beta = \frac{1}{1+K}$ $U_3 = 0$, а $U_4 = 0$ при $\beta = \frac{\alpha}{K(1+K)}$.

4. $$A = -\alpha, \ B = -\beta\left(\dot{Z}_3 = j\omega L_3, \quad \dot{Z}_4 = \frac{1}{j\omega C_4}\right),$$

$$U_3 = U_{mc}\frac{\alpha[1-\beta(1+K)]}{\alpha(1-\beta)+\beta K^2}\cdot\sin\omega t, \qquad (9)$$

$$U_4 = U_{mc}\frac{\alpha+\beta K(1+K)}{\alpha(1-\beta)+\beta K^2}\cdot\sin\omega t. \qquad (10)$$

В четвертом случае резонансные явления имеют место при $\beta = \frac{\alpha}{\alpha-K^2}$. Как и в предыдущем случае, при $\beta = \frac{1}{1+K}$ $U_3 = 0$.

5. $$A = -\alpha,\ B = \beta\left(\dot{Z}_3 = \frac{1}{j\omega C_3}, \quad \dot{Z}_4 = j\omega L_4\right),$$

$$U_3 = U_{mc}\frac{\alpha\left[1+\beta\left(1+K\right)\right]}{\alpha\left(1+\beta\right)-\beta K^2}\sin\omega t, \tag{11}$$

$$U_4 = U_{mc}\frac{\alpha-\beta K\left(1+K\right)}{\alpha\left(1+\beta\right)-\beta K^2}\sin\omega t. \tag{12}$$

Для пятого случая резонансные явления возникают при $\alpha = \frac{\beta K^2}{1+\beta}$, а $U_4 = 0$ при $\alpha = \beta K(1+K)$.

Сравнение случаев (1 — 5) показывает, что наибольший интерес представляют случаи 3 и 5, позволяющие с высокой точностью фиксировать параметры Z_3 или Z_4, соответствующие выполнению условия $\alpha = \frac{\beta K^2}{1 \mp \beta}$.

Если параметр β является постоянной величиной ($Z_4 = \mathrm{const}$), то, измеряя величины напряжений U_3 или U_4, можно осуществлять контроль параметра Z_3. Если β является переменной величиной, то измерение параметра Z_4 может быть осуществлено компенсационным методом путем изменения параметра Z_3 и фиксации его значения в момент возникновения резонанса в рассматриваемой системе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. А. Бессонов. Теоретические основы электротехники. М., «Высшая школа», 1961.