

ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СДВОЕННОГО РЕАКТОРА ДЛЯ ОЦЕНИВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ

Кузьмичёнок О.А., студентка; Куренный Э.Г., профессор, д.т.н.

(Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, Украина)

Обычно считается, что сдвоенные реакторы (СР) улучшают электромагнитную совместимость (ЭМС). Однако в [1] на примере резкопеременных электрических нагрузок было показано, что во многих случаях СР увеличивает, а не уменьшает колебания напряжения. ЭМС по несимметрии и несинусоидальности напряжения не рассматривалась. Целью работы является разработка динамической модели СР, которая позволяет рассчитывать показатели ЭМС по заданным электрическим нагрузкам. Реактор не имеет стального сердечника, поэтому активное сопротивление r_p и индуктивность L_p его ветвей, а также взаимная индуктивность M считаются неизменными.

В общем случае исходными для расчетов являются процессы изменения мгновенных значений i_1 и i_2 токов ветвей СР (кривые токов). Так как активное сопротивление r_c и индуктивность L_c сети невелики, в схеме замещения СР нагрузки представим источниками тока (рис.1). В операторной форме потеря напряжения в левой ветви имеет вид

$$\Delta u_1 = i_1(r_p + pL_p) - i_2pM + (i_1 + i_2)(r_c + pL_c), \quad (1)$$

где p – оператор.

Введем обозначения: $R_{pc} = r_p + r_c$, $L_{pc} = L_p + L_c$, $L_{cm} = L_c - M$, $T_{pc} = R_{pc}/L_{pc}$, $T_{cm} = r_c/L_{cm}$. Тогда вместо (1) получим выражение

$$\Delta u_1 = i_1R_{pc}(1 + T_{pc}p) + i_2r_c(1 + T_{cm}p), \quad (2)$$

которое представляет динамическую модель для левой ветви. Для правой ветви модель аналогична.

Если вместо СР используются два индивидуальных реактора (ИР), то положив $M = 0$, $L_{cm} = L_c$ и $T_{cm} = T_c = r_c/L_c$, получим

$$\Delta u_{1и} = i_1R_{pc}(1 + T_{pc}p) + i_2r_c(1 + T_cp). \quad (3)$$

В схеме с групповым реактором (ГР) r_p и L_p включаются последовательно с r_c и L_c , а в ветвях остаются только источники тока. В этом случае

$$\Delta u_{1г} = (i_1 + i_2)R_{pc}(1 + T_{pc}p). \quad (4)$$

Рассмотренные динамические модели позволяют рассчитать показатели ЭМС по несинусоидальности при непериодических нелинейных нагрузках. Для оценки отклонений, несимметрии и колебаний напряжения используются процессы $\Delta U_1(t)$, $\Delta U_{1и}(t)$ и $\Delta U_{1г}(t)$ изменения действующих значений потерь напряжения в каждой фазе, которые находятся путем скользящего среднеквадратического осреднения процессов $\Delta u_1(t)$, $\Delta u_{1и}(t)$ и $\Delta u_{1г}(t)$ на интервале 0,02 с.

В частных случаях схема замещения упрощается. Если нелинейные нагрузки являются периодическими, то для каждой гармоники порядка n вместо индуктивностей используются индуктивные сопротивления $x_n = n\omega L$, где $\omega = 100\pi$ рад/с. В этом случае исходными данными являются действующие значения I_n токов гармоник. Для оценки других показателей ЭМС задаются процессы $I_1(t)$ и $I_2(t)$ изменения действующих значений токов в комплексном виде, а в формулах (2)-(4) мгновенные значения

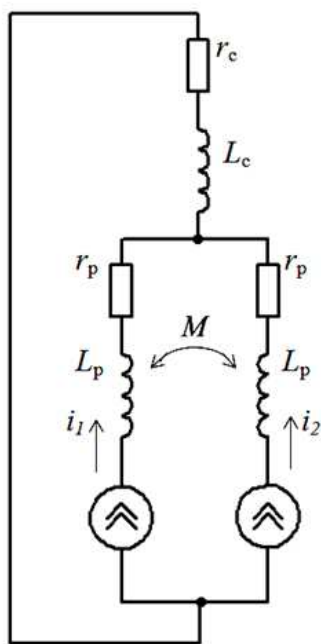


Рисунок 1

заменяются на действующие. При случайных процессах исходными являются средние значения, корреляционные функции или спектральные плотности токов, а искомые процессы определяются известными методами с использованием переходных или частотных характеристик динамических моделей [2].

Для иллюстрации рассмотрим гармонические колебания токов с одинаковой амплитудой I_k и угловой частотой ω_k при питании потребителей от сети бесконечной мощности, когда сопротивление и индуктивность сети равны нулю.

Если колебания сдвинуты по фазе на угол ψ , то колебания нагрузки даются выражениями:

$$I_1 = I_k \sin \omega_k t, I_2 = I_k \sin(\omega_k t + \psi).$$

В этом случае

$$pLI_1 = I_k x_{pк} \cos \omega_k t, pMI_2 = I_k x_{Mк} \cos(\omega_k t + \psi),$$

где $x_{pк} = \omega_k L_p$ и $x_{Mк} = \omega_k M$.

Согласно (1) в левой ветви СР колебания напряжения (индекс 1 опущен)

$$\begin{aligned} V &= I_k [r_p \sin \omega_k t + x_{pк} \cos \omega_k t + x_{Mк} \cos(\omega_k t + \psi)] = \\ &= I_k [(r_p + x_{Mк} \sin \psi) \sin \omega_k t + (x_{pк} - x_{Mк} \cos \psi) \cos \omega_k t]. \end{aligned} \quad (5)$$

Амплитуда этого гармонического колебания

$$A_\psi = I_k \sqrt{r_{pк}^2 + 2x_{Mк}(r_p \sin \psi - x_{pк} \cos \psi) + x_{pк}^2 + x_{Mк}^2}. \quad (6)$$

В частных случаях

$$A_\psi = \begin{cases} I_k \sqrt{r_p^2 + (x_{pк} - x_{Mк})^2} & \text{при } \psi = 0, \\ I_k \sqrt{(r_p + x_{Mк})^2 + x_{pк}^2} & \text{при } \psi = \pi/2, \\ I_k \sqrt{r_p^2 + (x_{pк} + x_{Mк})^2} & \text{при } \psi = \pi. \end{cases} \quad (7)$$

В схеме с ИР

$$V_{и} = I_k \sqrt{r_p \sin \omega_k t + x_{pк} \cos \omega_k t},$$

а амплитуда колебаний

$$A_{и} = I_k \sqrt{r_p^2 + x_{pк}^2} \quad (8)$$

не зависит от ψ .

Сопоставляя (7) с (8) заключаем, что при $\psi = 0$ СР уменьшает колебания, а при $\psi = \pi/2$ и π – увеличивает по сравнению с ИР. В схеме с ГР колебания отсутствуют, поэтому СР всегда увеличивает колебания.

Вывод. Предложенные динамические модели позволяют оценить эффективность СР по сравнению с ИР и ГР путем сопоставления соответствующих показателей ЭМС.

Перечень ссылок

1. Эффективность применения двоянных реакторов//Э.Г.Куренный, И.В.Пушная, Н.Н.Погребняк, Сулейман Халед, Л.Е.Клименко.—Техническая электродинамика, 1991, №3. – с.83-86.
2. Кузнецов В.Г., Куренный Э.Г., Лютый А.П. Электромагнитная совместимость. Несимметрия и несинусоидальность напряжения. – Донецк: Норд-пресс, 2005. – 250с.