

УДК 621.311

Т.В.Ракша (6 курс, каф. ИЭиТВН), Э.И.Янчус, к.т.н., проф., Н.И.Гумерова, к.т.н., доц.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГРОЗОЗАЩИТЫ ВРАЩАЮЩИХСЯ МАШИН

Определение надежности грозозащиты вращающихся машин и другого подстанционного оборудования от волн, набегающих с линий, весьма актуально при проектировании грозозащиты систем.

Для большинства открытых распределительных устройств наибольшие грозовые перенапряжения могут возникать при прямом ударе молнии в ошиновку. Однако в настоящее время защита от прямых ударов молнии в подстанцию осуществляется с высокой надежностью. Гораздо сложнее дело обстоит с ударами молнии в провода линии электропередачи, опоры, грозозащитные тросы, так как эти удары приводят к появлению набегающих на подстанцию волн.

Грозозащита вращающихся машин имеет ряд своих особенностей.

Во-первых, уровень электрической прочности изоляции у машин, которые длительное время находились в эксплуатации ниже, чем у другого электрооборудования.

Во-вторых, при повреждении изоляции машины перенапряжениями, через место пробоя продолжает протекать аварийный ток за счет э.д.с. остаточного намагничивания даже после снятия возбуждения машины, отключенной от сети.

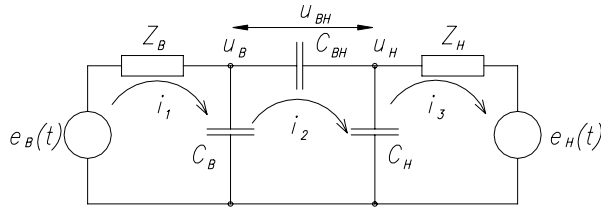
В-третьих, выход из строя машин приводит к большому экономическому ущербу.

Для надежной грозозащиты вращающихся электрических машин на подходе линии устанавливают защитные аппараты, а также используют кабельные вставки. Снижению крутизны фронта импульсов перенапряжений способствует параллельное с машиной подключение емкости.

Если электрическая машина присоединяется к воздушной сети через трансформатор, то задача грозозащиты намного упрощается, так как трансформатор ограничивает амплитуду и крутизну импульсов грозовых перенапряжений на зажимах машины, однако не всегда до допустимого предела.

Основной рассматриваемой задачей для исследования грозозащиты вращающихся электрических машин на подстанции является ограничение перенапряжений с помощью ОПН.

Расчет перенапряжений на оборудовании начинается с составления эквивалентной расчетной схемы. Все электрооборудование подстанции заменяется соответствующими емкостями, после чего выделяются узловые точки. Для решения изложенной задачи применяется метод «бегущих волн». Далее рассматриваются элементы схемы, и для каждого узла ищется аналитическое решение. Основным и наиболее сложным моментом решения данной задачи является расчет напряжений на обмотках трансформатора. Рассмотрим переход напряжения через трансформатор.



Для данной схемы система уравнений, составленная по методу контурных токов, имеет вид:

$$\begin{cases} e_B(t) = i_1 Z_B + u_B; \\ u_B = u_{BH} + u_H; \\ u_H = i_3 Z_H + e_H(t); \end{cases} \quad \begin{cases} C_B \frac{du_B}{dt} = i_1 - i_2; \\ C_{BH} \frac{du_{BH}}{dt} = i_2; \\ C_H \frac{du_H}{dt} = i_2 - i_3. \end{cases}$$

Или:

$$\begin{cases} u_B + Z_B C_1 \frac{du_B}{dt} - Z_B C_{BH} \frac{du_H}{dt} = e_B(t); \\ u_H + Z_H C_2 \frac{du_H}{dt} - Z_H C_{BH} \frac{du_B}{dt} = e_H(t), \end{cases} \quad \text{где } C_1 = C_B + C_{BH}; \quad C_2 = C_H + C_{BH}.$$

Теперь осуществим переход в комплексную плоскость, используя преобразование Лапласа:

$$\begin{cases} U_B(p) + Z_B C_1 p U_B(p) - Z_B C_{BH} p U_H(p) = E_B(p) + Z_B C_1 U_B(0) - Z_B C_{BH} U_H(0); \\ U_H(p) + Z_H C_2 p U_H(p) - Z_H C_{BH} p U_B(p) = E_H(p) + Z_H C_2 U_H(0) - Z_H C_{BH} U_B(0), \end{cases}$$

Решение в комплексной плоскости имеет вид:

$$U_B(p) = A_1 E_B + A_2 [E_H - U_H(0)] + A_3 \cdot U_B(0);$$

$$U_H(p) = B_1 E_H + B_2 [E_B - U_B(0)] + B_3 \cdot U_H(0),$$

где $A_1, A_2, A_3, B_1, B_2, B_3$ – множители, включающие зависимости от p .

Соответственно решение в функции времени будет иметь вид:

$$u_B(t) = \left[\frac{1}{d} f_2(t) + \frac{Z_H C_2}{d} f_1(t) \right] \cdot E_B(t) + \frac{Z_B C_{BH}}{d} f_1(t) \cdot [E_H(t) - U_H(0)] + \left[\frac{Z_B C_1}{d} f_1(t) + f_3(t) \right] \cdot U_B(0);$$

$$u_H(t) = \left[\frac{1}{d} f_2(t) + \frac{Z_B C_1}{d} f_1(t) \right] \cdot E_H(t) + \frac{Z_H C_{BH}}{d} f_1(t) \cdot [E_B(t) - U_B(0)] + \left[\frac{Z_H C_2}{d} f_1(t) + f_3(t) \right] \cdot U_H(0);$$

где

$$f_1(t) = \frac{\exp(p_1 t) - \exp(p_2 t)}{p_1 - p_2};$$

$$f_2(t) = \frac{1}{p_1 p_2} \left(1 + \frac{p_2 \exp(p_1 t) - p_1 \exp(p_2 t)}{p_1 - p_2} \right);$$

$$f_3(t) = \frac{p_1 \exp(p_1 t) - p_2 \exp(p_2 t)}{p_1 - p_2}.$$

Весь вышеизложенный материал используется при разработке программного обеспечения, оболочка которого написана на языке Visual Basic, а все расчеты реализованы на языке Fortran. Такой выбор согласования пользовательских продуктов неслучаен. Visual Basic является современным и гибким языком программирования высокого уровня, требующим меньших системных ресурсов, что может оказать значимое влияние при использовании маломощных компьютеров. Фортран же очень удобен для аналитических решений.