

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТАЛЛООКСИДНОГО ВАРИСТОРА НА ОСНОВЕ ZnO

В.В. Кротенок, В.С. Овсянников

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель А.Н. Бохан

Металлооксидный варистор (МОВ) представляет собой структуру легированных кристаллов ZnO и полупроводниковых барьеров из окислов других металлов и является основой большинства типов производимых в настоящее время ОПН.

Сравнительный анализ экспериментальных исследований перенапряжений в сетях 6-10 кВ с ОПН и результатов вычислительного эксперимента на математических моделях [1] показывает, что величины перенапряжений при исследовании на математических моделях значительно ниже чем в экспериментальных исследованиях. Это не всегда можно объяснить отличием условий натурального и вычислительного эксперимента. Можно предположить, что разработка достоверной динамической модели ОПН позволит с более высокой точностью исследовать перенапряжения в распределительных сетях на математических моделях. Функциональная схема испытательной установки приведена на рис. 1.

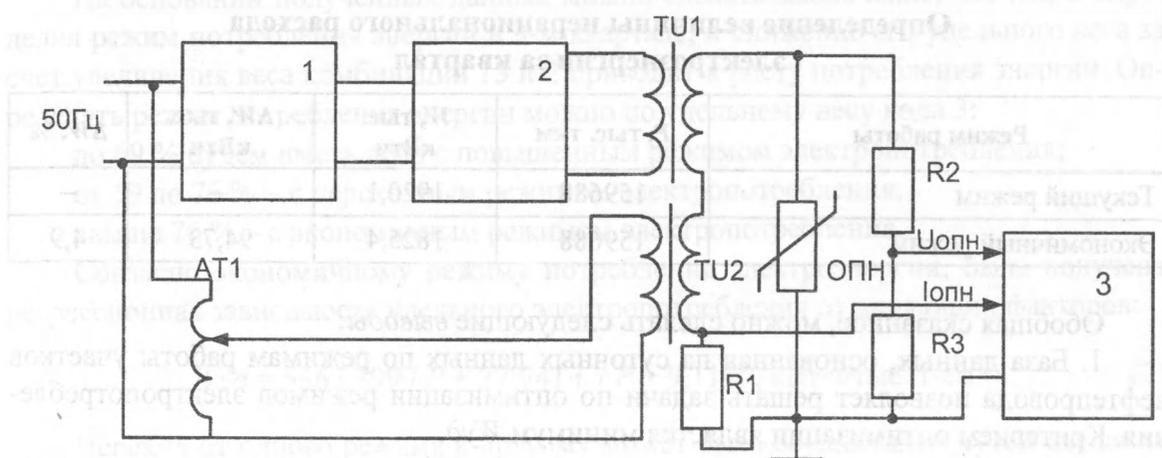


Рис. 1. Функциональная схема установки для высокочастотных испытаний ОПН: 1 – инвертор; 2 – полосовой фильтр; TU1, TU2 – трансформаторы напряжения НОМ-6; 3 – регистратор

В установке использованы резисторы: R1 – 30 Ом; R2 – 51 мОм; R3 – 3,8 К. При испытании варисторов 0,4 и 3,3 кВ, в установке применялись трансформаторы напряжения (TU1, TU2) НОМ-6 с активным сопротивлением обмотки высокого напряжения 1К. В качестве регистрирующего устройства применяется плата АЦП, которая вставляется в материнскую плату персонального компьютера. Основой платы является микросхема АЦП AD7896 фирмы ANALOG DEVICES, которая имеет встроенное устройство выборки-хранения.

Выполнено исследование варисторов 0,4 кВ; 3,3 кВ; 8 кВ на частотах 50 Гц, а также 3,8 кГц. Экспериментальные осциллограммы тока и напряжения ОПН-0,4 кВ приведены на рисунках 2 и 3. Напряжение ограничения ($U_{ог}$) при токе 1 мА составляет 760 В.

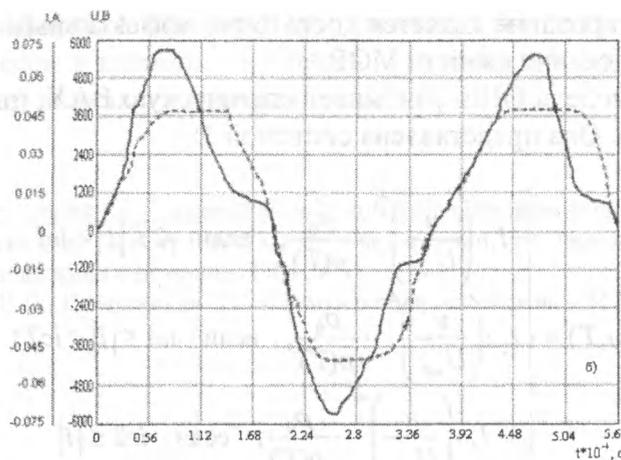


Рис. 2. Осциллограммы напряжения и тока ОПН-0,4 при частоте 3,8 кГц

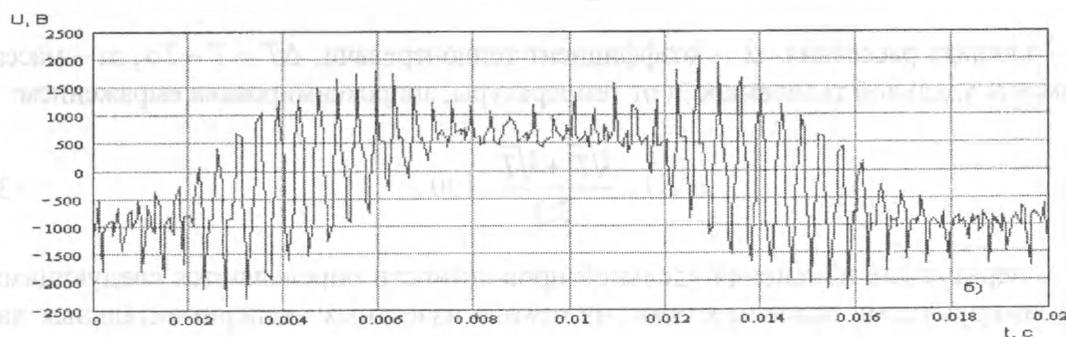
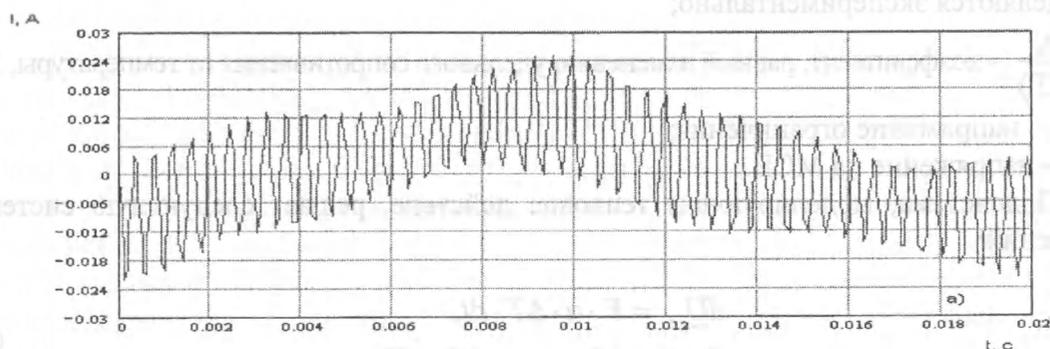


Рис. 3. Осциллограммы напряжения и тока при наложении напряжения 50 Гц и 3,8 кГц: а — ток варистора; б — напряжение

Из приведенных осциллограмм видно, что исследуемые ОПН обладают инерционностью, которой не всегда можно пренебрегать. Несмотря на то, что амплитуда приложенного напряжения превышает уровень ограничения по статической характеристике более чем в 7 раз (рис. 2), ток через варистор определяется в основном емкостной составляющей проводимости. Уступ на осциллограмме напряжения после прохождения максимума объясняется инерционностью перехода варистора в проводящее состояние.

До настоящего времени нет количественной теории прогнозирования электрических свойств МОВ. Кроме того, сложная природа многих процессов протекающих в варисторах делает весьма затруднительным их аналитическое описание. Поэтому

имитационное моделирование является достаточно эффективным на данный момент инструментом исследования свойств МОВ.

Разработанная модель ОПН учитывает статическую ВАХ, инерционность и тепловое действие тока. Она представлена системой 1:

$$i(u, T) = \begin{cases} I_1 \cdot \left(\frac{u}{U_{ref}} \right)^{\alpha_1} \cdot \frac{\rho_0}{\rho(T)}, & \text{если } 0 \leq |i| < ic1 \\ I_2 \cdot \left(\frac{u}{U_{ref}} \right)^{\alpha_2} \cdot \frac{\rho_0}{\rho(T)}, & \text{если } ic1 \leq |i| < ic2, \\ I_3 \cdot \left(\frac{u}{U_{ref}} \right)^{\alpha_3} \cdot \frac{\rho_0}{\rho(T)}, & \text{если } ic2 \leq |i| \end{cases} \quad (1)$$

где $I_1, I_2, I_3, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, ic1, ic2, ic3$ – коэффициенты, зависящие от типа варистора, определяются экспериментально;

$\frac{\rho_0}{\rho(T)}$ – коэффициент, равный изменению удельного сопротивления от температуры, T ;

U_{ref} – напряжение ограничения;

u – напряжение на МОВ.

Подсистема, моделирующая тепловое действие, решает следующую систему уравнений:

$$\begin{aligned} dQ_{ras} &= F \cdot \alpha \cdot \Delta T \cdot dt, \\ P \cdot dt - dQ_{ras} &= m \cdot dT \cdot c(T), \end{aligned} \quad (2)$$

где F – площадь рассеяния, α – коэффициент теплопередачи, $\Delta T = T - T_0$, m – масса, зависимость удельной теплоемкости от температуры, аппроксимирована выражением:

$$c(T) = \frac{\sqrt[3]{T} + \sqrt[3]{T_0}}{2.3} \cdot 100. \quad (3)$$

Температурные изменения удельной проводимости определяются следующими аппроксимирующими зависимостями, на основе известных экспериментальных характеристик МОВ [2]:

$$\rho(T) = \begin{cases} 10^{\frac{T-2800}{200}}, & \text{если } T < 800 \\ 10^{\frac{T-1600}{1800}}, & \text{если } 800 \leq T \end{cases} \quad (4)$$

В динамической модели ОПН, для исследования процессов при замыканиях на землю, вводилось инерционное звено первого порядка с постоянной времени τ : для ОПН-0,4 и ОПН-3,3 полученные значения τ составили примерно 120-160 мкс.

Разработанная Simulink модель ОПН позволяет с большей точностью исследовать тепловые процессы в варисторах и перенапряжения при дуговых и коммутационных переходных процессах в распределительных сетях.

Литература

1. <http://www.uran.donetsk.ua/~masters/2001/eltf/sheverdin/ellib/index.htm>. Беляков Н.Н., Кузьмичева К.И., Ивановски А. Ограничение перенапряжений при замыканиях на землю в сети 6 кВ собственных нужд с помощью ОПН.
2. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. – М.: «Наука», 1977.