

В. М. Лагутин, к. т. н., доц.; В. В. Тептя, к. т. н.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПЫТАНИЙ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В работе рассмотрено устройство, в котором используется аналоговый жидкокристаллический индикатор, позволяющий непосредственно определять коэффициент трансформации трансформатора, сократив при этом затраты времени на измерения, а следовательно, повысить производительность труда персонала, который проводит испытания трансформаторов.

Ключевые слова: трансформатор, коэффициент трансформации, магазин сопротивлений, потенциал, колебания напряжения, диапазон измерений.

Введение

При определении коэффициента трансформации трансформаторов наиболее широко используется метод двух вольтметров, когда проводят измерения на обмотках трансформатора с последующей обработкой полученных результатов. Если при этом наблюдают колебания напряжения, то измерения должны быть проведены не более двух раз, поэтому необходимо выполнять несколько опытов и математически обрабатывать полученные результаты, что приводит к значительным затратам времени.

Из других способов определения коэффициента трансформации используют метод моста, основанный на принципе компенсации [1, 2], что позволяет относительно точно измерять коэффициент трансформации независимо от колебаний напряжения сети. Однако определение коэффициента трансформации осуществляется подбором положения пяти декадных переключателей для установки на ноль стрелки гальванометра, что также требует значительных затрат времени. При этом во всех известных устройствах их показания конкретно не определяют коэффициент трансформации.

Определение коэффициента трансформации трансформаторов с использованием аналогового жидкокристаллического индикатора

В Винницком национальном техническом университете разработано устройство, в котором использован аналоговый жидкокристаллический индикатор (АЖКИ), позволяющий непосредственно определять коэффициент трансформации трансформатора. Схема устройства приведена на рис. 1.

Устройство имеет источник переменного напряжения 1, первый и второй магазины сопротивлений 2 и АЖКИ 3. К первому входу устройства подключено начало обмотки ВН, ко второму – конец обмотки ВН, к третьему – начало обмотки НН, а к четвертому – конец обмотки НН испытуемого трансформатора 4.

Устройство работает следующим образом. После включения источника переменного напряжения 1 в цепь, состоящую из последовательно соединенных магазинов сопротивлений 2 и высокоомного электрода АЖКИ 3, и к обмотке ВН трансформатора 4 прикладывается выходное напряжение этого источника. При этом по обмотке ВН трансформатора 4 протекает ток I_1 , а по цепи, состоящей из магазинов сопротивлений 2, – ток I_3 . Для данной схемы можно записать:

$$I_1 = \frac{\dot{U}_1}{Z_1};$$

$$\dot{I}_3 = \frac{\dot{U}_1}{R_1 + R_2 + r},$$

где Z_1 – сопротивление обмотки ВН трансформатора 4; R_1 – сопротивление первого магазина сопротивлений 2; R_2 – сопротивление второго магазина сопротивлений 2; r – сопротивление высокоомного электрода АЖКИ 3.

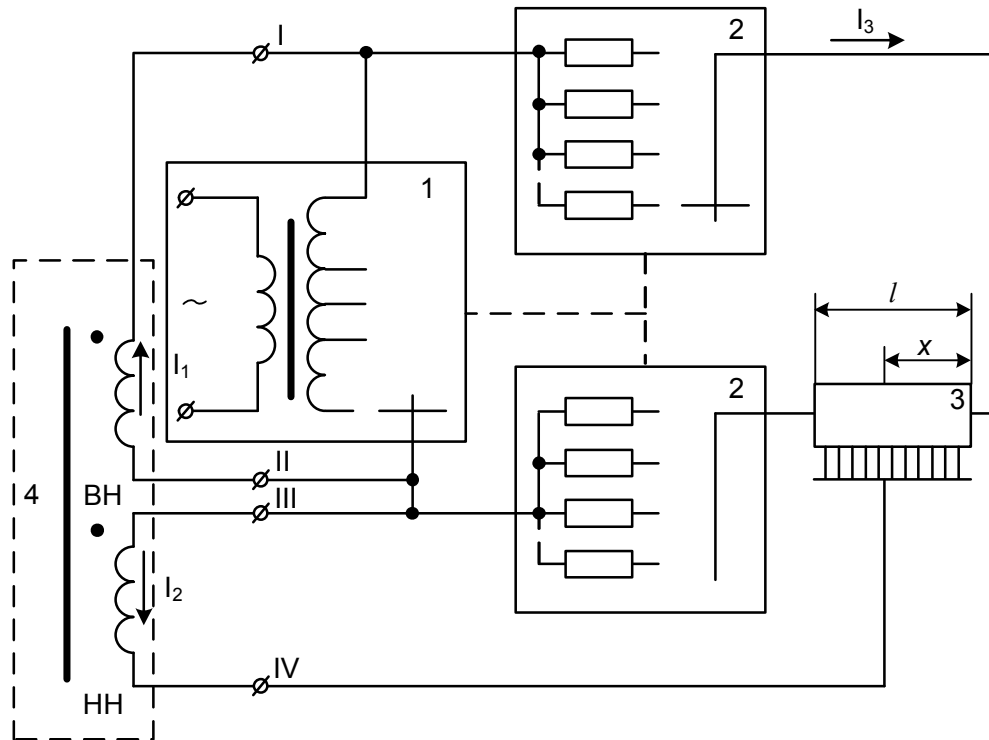


Рис. 1. Схема устройства для определения коэффициента трансформации трансформаторов

Во вторичной обмотке НН трансформатора 4 приводится ЭДС E_2 , равная:

$$\dot{E}_2 = \frac{\dot{E}_1}{K_T},$$

где $\dot{E}_1$ – ЭДС обмотки ВН трансформатора 4; K_T – коэффициент трансформации трансформатора.

Ток в этой обмотке определяют по выражению:

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{E}_2}{Z_2 + R_1 + r_k},$$

где Z_2 – сопротивление обмотки НН трансформатора 4; r_k – межэлектродное сопротивление АЖКИ 3.

Вследствие того, что сопротивление r_k имеет большое значение, ток в обмотке НН трансформатора 4 настолько мал, что трансформатор фактически работает на холостом ходу. Поэтому необходимо учитывать падение напряжения в обмотке ВН и НН трансформатора 4, которое из-за малого возбуждения составляет долю процента. Таким образом, можно записать:

$$\dot{U}_1 = \dot{E}_1 = \dot{I}_3 \cdot (R_1 + R_2 + r); \quad (1)$$

$$\dot{U}_2 = \dot{E}_2 = \dot{E}_1 / K_T, \quad (2)$$

где $\dot{U}_2$ – напряжение на выводах обмотки НН трансформатора 4.

Принимая потенциалы начала обмотки ВН и конца обмотки НН трансформатора равными нулю, с учетом (1) и (2), получим:

$$\left. \begin{aligned} \varphi_e &= \dot{E}_2; \\ \varphi_x &= \dot{E}_1 - \dot{I}_3 \cdot (R_2 + r_0 \cdot x), \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где φ_e – потенциал низкоомного электрода АЖКИ 3; φ_x – потенциал в любой точке высокоомного электрода АЖКИ, удаленной от конца электрода на расстояние x , $r_0 = r / l$ – удельное сопротивление высокоомного электрода АЖКИ.

Сопротивления R_1 , R_2 магазинов сопротивлений 2 выбирают так, чтобы коэффициент трансформации трансформаторов находился в пределах измерений АЖКИ 3, то есть на высокоомном электроде этого индикатора находится точка с потенциалом φ_x , равным потенциалу φ_e низкоомного электрода АЖКИ. В точке, где напряжение между электродами ниже напряжения порога возникновения электрооптического эффекта U_{Π} , жидкие кристаллы, сохраняя свою структуру, остаются прозрачными для света.

Во всех остальных точках АЖКИ жидкие кристаллы возбуждаются и, изменяя свою структуру, становятся непрозрачными для света, то есть на индикаторе появляется световое пятно на расстоянии x от его края. Коэффициент трансформации с учетом (1) и (3) определяют из выражения:

$$\varphi_e = \varphi_x = \dot{E}_2 = \dot{E}_1 \cdot \frac{R_1 + r - r_0 \cdot x}{R_1 + R_2 + r}$$

а, учитывая, что $K_T = \dot{E}_1 / \dot{E}_2$, получим:

$$K_T = \frac{R_1 + R_2 + r}{R_1 + r - r_0 \cdot x}. \quad (4)$$

Из выражения (4) следует, что коэффициент трансформации трансформатора однозначно определяется параметрами схемы устройства и координатой x светового пятна на АЖКИ. Таким образом, предварительно проградуировав шкалу АЖКИ согласно (4), получаем непосредственно значение коэффициента трансформации.

Магазин сопротивлений предназначен для выбора диапазона измерений коэффициента трансформации. Действительно, из (4) имеем

$$\text{при } x=0: \quad K_{T.\min} = 1 + R_2 / (R_1 + r);$$

$$\text{при } x=l: \quad K_{T.\max} = 1 + (R_2 + r) / R_1,$$

где $K_{T.\min}$, $K_{T.\max}$ – соответственно минимальное и максимальное значение диапазона измерений.

При переключении диапазона измерений для сохранения минимальной ширины светового окна на шкале АЖКИ для достижения максимальной точности необходимо менять выходное напряжение источника переменного напряжения 1 согласно выражению:

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_0 \cdot (R_1 + R_2 + r),$$

где $\dot{I}_0$ – ток, протекающий на высокоомном электроде АЖКИ, при котором обеспечивается минимальный размер светового окна на его шкале.

В рассматриваемом устройстве переключение диапазонов измерений осуществляется одновременно с переключением отпаяк источника переменного напряжения, чем достигается постоянство тока $I_0 = \text{const}$ и сохраняется необходимая точность во всех диапазонах измерений, поскольку размеры светового окна на шкале АЖКИ остаются постоянными.

Выводы

Использование аналогового жидкокристаллического индикатора позволяет заменить операцию точного установления стрелки прибора на ноль, которая выполняется при использовании известных устройств, более простой операцией – выбором диапазона измерений. Это позволяет сократить затраты времени на измерения, а следовательно, повысить производительность труда персонала, который проводит испытания трансформаторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Испытание мощных трансформаторов и реакторов / [Алексеев Г. В., Ашратов А. К., Веремей Е. В. и др.] – М.: Энергия, 1978. – 519 с.
2. Справочник по наладке электрооборудования электростанций и подстанций: [под ред. Э. С. Мусаэляна]. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 344 с.

Лагутин Валерий Михайлович – к. т. н., доцент кафедры электрических станций и систем, тел.: (0432)-598-377, 598-245;

Тепля Вера Владимировна – к. т. н., старший преподаватель кафедры электрических станций и систем, тел.: (0432)-598-377, 598-245; e-mail: TVV75@list.ru.

Винницкий национальный технический университет.