

ОБ ОЦЕНКЕ ВАРИАЦИИ ШУНТОВ НА БОЛЬШИЕ ПОСТОЯННЫЕ ТОКИ

Л. Г. ФУКС, В. В. ИВАНОВ

(Представлено кафедрой котлостроения и котельных установок)

Стандартом на стационарные шунты ГОСТ 8042-61 предусмотрено, что максимальная вариация шунта, возникающая из-за неравномерности токоподвода, должна лежать в пределах половины номинальной погрешности соответствующего класса точности. Опасность возникновения больших вариаций возрастает при увеличении высоты накоенчика, т. е. при переходе к шунтам на большие токи. Наибольшая неравномерность токораспределения возникает при симметричном отключении токоподводящих шин с обеих сторон шунта, как показано на рис. 1-б.

Если на шунте, включенном в цепь по схеме (рис. 1-а), возникает падение напряжения V_1 , а при любом другом включении, например, как на рис. 1-б, падение напряжения будет V_2 при том же токе, то величина вариации определится, как

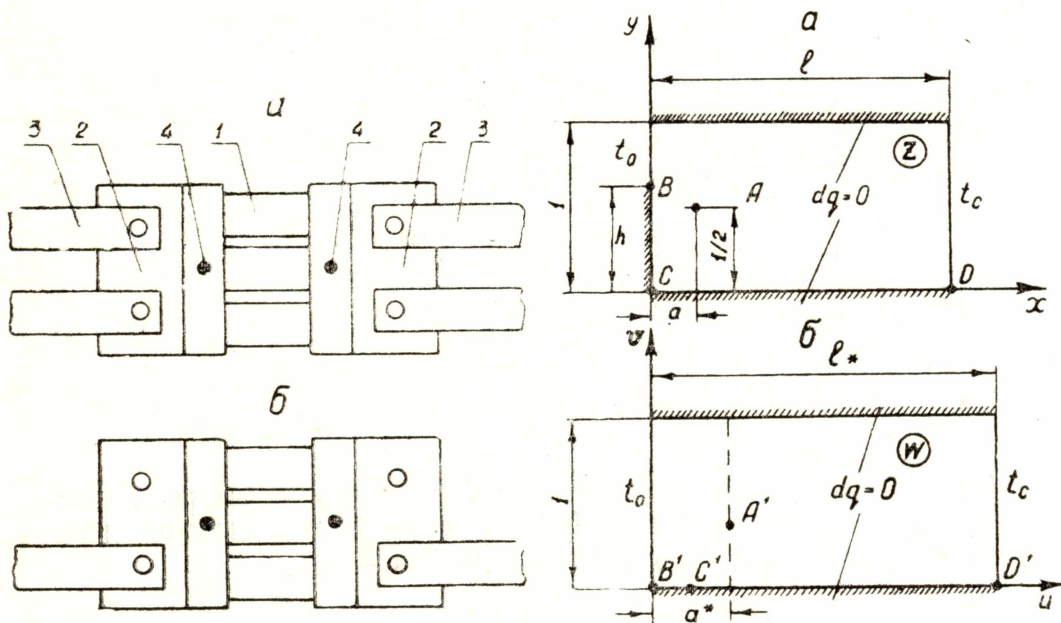


Рис. 1. а — равномерный токоподвод, б — неравномерный токоподвод.
1 — пластина, 2 — наконечник, 3 — токоподводящая шина, 4 — потенциальный зажим.

Рис. 2.

$$\Delta V = \frac{V_2 - V_1}{V_1} 100\%.$$

Для теоретического исследования вариации шунта примем упрощенную схему (рис. 2-а), которую получили, исходя из следующих предпосылок:

1. В месте подсоединения токоподводящей шины ($x=0$, $0 < y < h$) будем считать потенциал постоянным и равным t_0 .

2. Ввиду того, что шунт и токоподводы симметричны относительно поперечной оси шунта, можно рассматривать только одну половину и считать, что в середине шунта ($x=l$) потенциал одинаков и равен t_c .

3. Потенциальный зажим изображен на рис. 2-а координатами (a , $1/2$).

4. Высота шунта принята равной единице.

Таким образом, задача сводится к нахождению потенциала в области, данной на рис. 2-а.

Для решения задачи применим метод конформных отображений. Функция

$$W = \frac{2}{\pi} \operatorname{arth} \left\{ \cos \frac{\pi h}{2} \sqrt{\operatorname{th}^2 \frac{\pi z}{2} + \operatorname{tg}^2 \frac{\pi h}{2}} \right\} \quad (1)$$

отображает рассматриваемую область плоскости z на бесконечную полосу $0 \leq v \leq 1$ плоскости W (рис. 2-б) [1].

Распределение потенциала в этой полосе дается формулой

$$t = t_0 - \frac{t_0 - t_c}{l^*} u. \quad (2)$$

Длина шунта l переходит в l^* , расстояние от потенциального зажима до места подключения шин a переходит в a^* , точки A , B , C и D переходят при преобразовании в соответствующие точки: A' , B' , C' , D' .

Учитывая, что для определения вариации характерен режим постоянства тока, получаем величину вариации при переходе от $h=0$ к некоторой величине h (рис. 2)

$$\Delta V = \frac{(l^* - l) - (a^* - a)}{l}. \quad (3)$$

Длина l^* находится из (1)

$$l^* = \frac{2}{\pi} \operatorname{arth} \left\{ \cos \frac{\pi h}{2} \sqrt{\operatorname{th}^2 \frac{\pi l}{2} + \operatorname{tg}^2 \frac{\pi h}{2}} \right\} \quad (4)$$

Так как при больших значениях l находить величину l^* затруднительно, предлагается упрощенный способ определения разности $l^* - l$. Для этого формулу (4) преобразуем к виду

$$\operatorname{th}^2 \frac{\pi l^*}{2} = \cos^2 \frac{\pi h}{2} \operatorname{th}^2 \frac{\pi l}{2} + \sin^2 \frac{\pi h}{2}. \quad (5)$$

Заменяя гиперболический тангенс при больших значениях l его приближенным значением

получаем

$$\operatorname{th}^2 \pi l \cong 1 - 4e^{-\pi},$$

$$l^* - l = -\frac{1}{\pi} \ln \cos^2 \frac{\pi h}{2}. \quad (6)$$

Для определения новой абсциссы потенциального зажима воспользуемся функцией (1) и найдем ее действительную часть $Re(W)$ при $x=a$, $y=1/2$. Эту величину находим через ряд последовательных удобных для расчета операций:

$$a^* = \frac{1}{\pi} \ln \frac{\sqrt{1+P^2-2R}}{1-\sqrt{2(P+R)+P}}, \quad (7)$$

где

$$P = \sqrt{R^2 + S^2}, \quad (8)$$

$$R = \sin^2 \frac{\pi h}{2} + \cos^2 \frac{\pi h}{2} M, \quad (9)$$

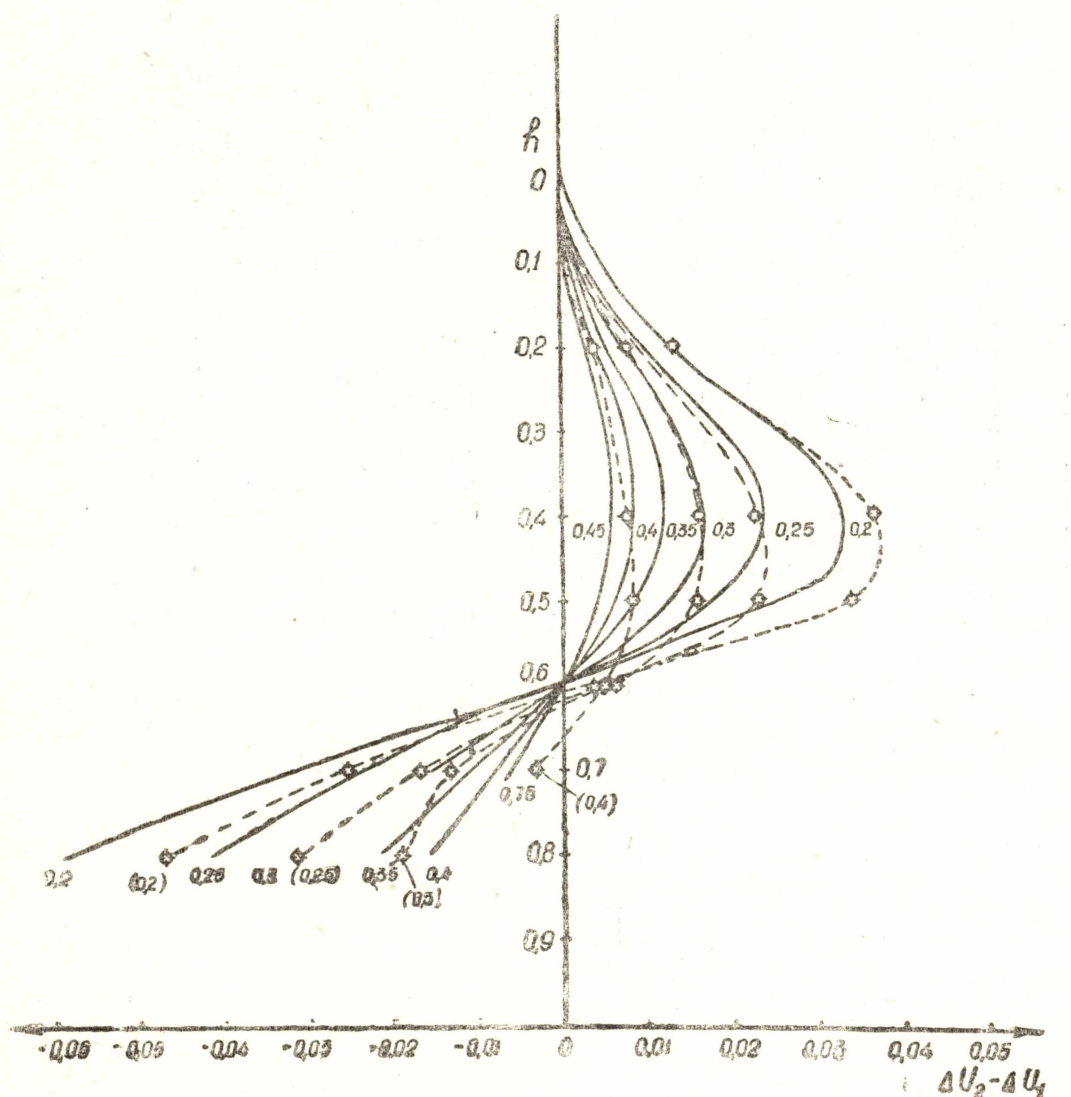


Рис. 3.

$$S = \cos^2 \frac{\pi h}{2} N, \quad (10)$$

$$M = \frac{\operatorname{sh}^2 \pi a - 1}{\operatorname{sh}^2 \pi a + 1}, \quad (11)$$

$$N = \frac{2 \operatorname{sh} \pi a}{\operatorname{sh}^2 \pi a + 1}. \quad (12)$$

По формулам (3) ÷ (12) подсчитаны вариации шунта общей длиной 100 единиц при различных величинах a и h . Результаты расчета проведены на рис. 3 сплошными линиями.

Для проверки полученных выше зависимостей были поставлены опыты, основанные на электрической аналогии потенциальных полей. Модель шунта вырезалась из электропроводной бумаги, имеющей сопротивление около 300 ом/м. Полоска бумаги шириной 200 мм, имеющая длину 1214 мм, зажималась между двумя медными массивными токоподводами, один из которых мог передвигаться по ширине полосы. При помощи этого передвижения имитировались различные величины h . В процессе опыта поддерживалось постоянное значение тока. Измерение вариации производилось при помощи щупа, устанавливаемого на различные расстояния a от подвижного токоподвода.

Результаты опытов, рассчитанные на длину шунта, равную 100 ед., нанесены на рис. 3 в виде точек. Как видно из рисунка, опытные значения достаточно точно подтверждают аналитическую зависимость (3).

Рассматривая рис. 3, можно отметить:

1. На шунте могут возникать как положительные, так и отрицательные значения величины вариаций.
2. Имеется максимум положительной вариации, лежащий в пределах $h = 0,4 \div 0,45$.
3. Вблизи $h = 0,6$ вариация переходит через нуль.
4. Отрицательные вариации достаточно большой величины имеют место при $h > 0,75$.
5. Максимум вариации резко уменьшается при увеличении расстояния a , т. е. расстояния от потенциального зажима до места подключения токоподводящих шин.

Выводы

Имеется возможность оценить величины вариации шунта и дать рекомендации к уменьшению этих величин до нормальных размеров, не выходящих за пределы требований стандарта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лаврентьев М. А., Шабат Б. С. Методы теории функций комплексного переменного, Гостехиздат, 1951.