

**КОНТРОЛЬ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ НЕМАГНИТНЫХ  
МЕТАЛЛОВ ПО ФАЗЕ НАПРЯЖЕНИЯ НАКЛАДНОГО ДАТЧИКА**

В. К. ЖУКОВ, А. М. ПАНАСЮЧЕНКО, Р. М. ЗАКИРОВ

(Представлена научным семинаром кафедры информационно-измерительной техники)

Для контроля структурного состояния и сортировки по маркам различных сплавов в промышленности применяются серийно выпускаемые электромагнитные приборы — измерители электропроводности. В настоящее время имеются модификации приборов (ИЭ-1, ИЭ-11, ИЭ-20), отличающихся только частотой тока, возбуждающего электромагнитное поле в датчике. Принцип действия всех приборов одинаков и заключается в регистрации изменений модуля комплексного сопротивления измерительной обмотки датчика накладного типа [1].

Модуль комплексного сопротивления датчика зависит не только от контролируемой электропроводности изделия, но и от величины непроводящего зазора между поверхностями датчика и металла. Непроводящий зазор может быть образован окисными пленками, окалиной или слоем краски. Колебания величины зазора, неизбежные в процессе работы, ведут к изменениям модуля сопротивления и, следовательно, к погрешности.

Для уменьшения погрешности, обусловленной зазором, используют различные способы компенсации влияния зазора. В измерителях типа ИЭ для этой цели используется специальный конденсатор, подбором величины которого добиваются такого положения, при котором модуль сопротивления цепи, составленной из последовательно включенных конденсатора и индуктивности измерительной обмотки, оказывается нечувствительным к небольшим колебаниям зазора. При таком способе отстройки удается избавиться от влияния зазора только в случае небольших изменений электропроводности металла. Если контролируемая электропроводность изменяется в широких пределах, то компенсирующий конденсатор должен быть переменной емкости и величина его должна устанавливаться в зависимости от значения контролируемой электропроводности.

Примененный в серийных измерителях способ отстройки от влияния зазора обеспечивает нечувствительность к зазорам (в пределах погрешности прибора), не превышающим 200 мкм, кроме того, перед каждым измерением он требует настройки цепи компенсации, что все вместе взятое снижает качественные показатели приборов и делает их неудобными в работе.

Значительно лучшие результаты как в отношении точности, так и в отношении удобства эксплуатации могут быть получены, если



контроль вести по фазе напряжения двухобмоточного накладного датчика. Теоретические исследования показывают, что фаза эдс, приносимой в измерительную обмотку изделием, не зависит от расстояния между поверхностью изделия и датчиком, следовательно, если контроль вести по фазе, приведенной эдс, то можно будет полностью избавиться от влияния зазора при изменении его в широких пределах.

Проведенные нами экспериментальные исследования показали, что фаза приведенной эдс хотя и слабо, но зависит от величины зазора (рис. 1) и при контроле небольших изменений электропроводности может привести к значительной погрешности.

Влияние зазора на фазу эдс может быть значительно уменьшено введением последовательно с приведенной эдс дополнительного компенсирующего вектора  $U_k$ . Величина этого вектора определяется с по-

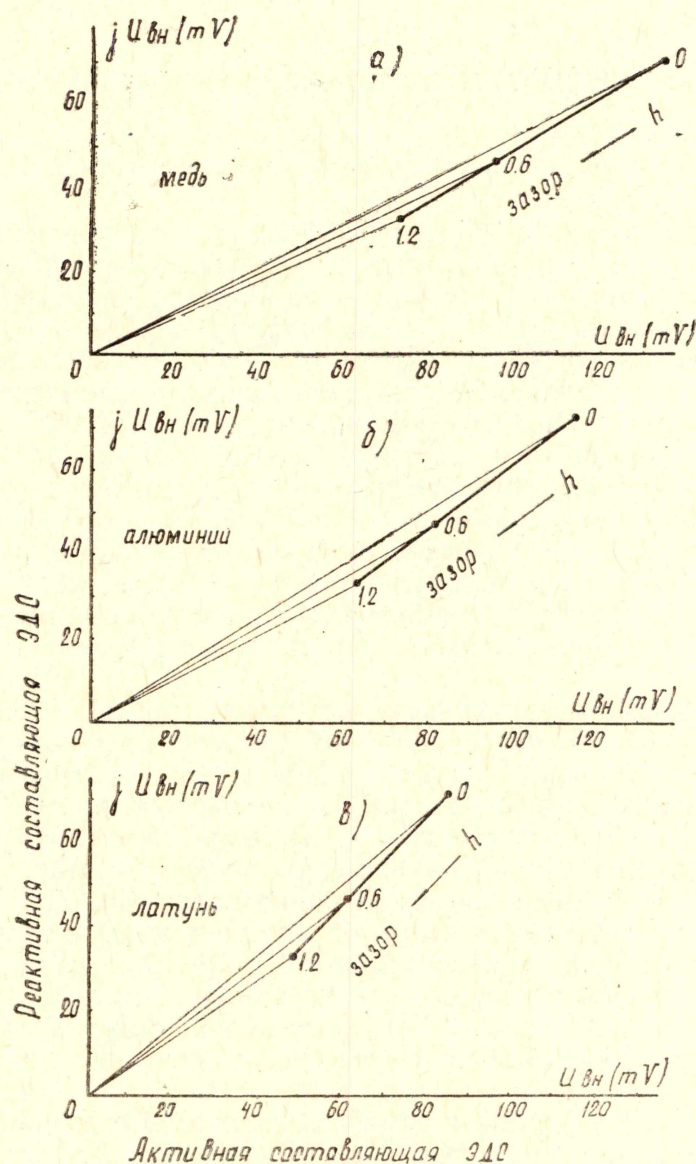


Рис. 1. Зависимость приведенной эдс от зазора в мм, между датчиком и поверхностью медного (а), алюминиевого (б) и латунного (в) изделий

мощью построений, показанных на рис. 2. Годограф векторов, приведенных эдс, продолжается до пересечения с осью абсцисс; отрезок ОК,



отсекаемый им на оси, и будет искомый вектор, но с обратным знаком. Изменив направление вектора  $OK$  на  $180^\circ$ , получим вектор  $U_k$ .

В результате сложения компенсирующего вектора  $U_k$  и векторов, приведенных эдс  $U_1, U_2, U_3$ , получаются новые вектора  $U'_1, U'_2, U'_3$ , лежащие на одной прямой.

Таким образом, если последовательно с измерительной обмоткой мы введем компенсирующее напряжение  $U_k$ , то результирующее напряжение, получаемое в измерительной цепи датчика, будет иметь фазу, не зависящую от величины зазора. Увеличение зазора вызывает уменьшение только амплитуды результирующего напряжения и при контроле по фазе этого напряжения не будет сказываться на погрешности контроля.

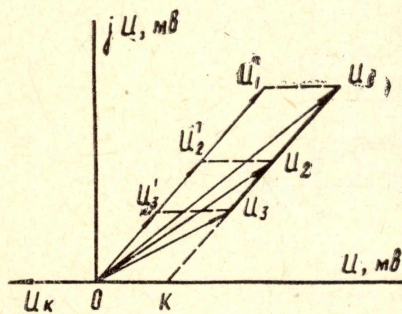


Рис. 2. К определению компенсирующего вектора  $U_k$

Погрешность измерения электропроводности методом вихревых токов зависит от формы изделия. Градуировка приборов производится при установке датчика на ровную поверхность, площадь которой значительно превышает площадь сечения датчика. Если в процессе работы датчик будет установлен на площадку,

имеющую размеры, соизмеримые с диаметром датчика, то фаза приведенной эдс будет отличаться от фазы эдс, получаемой при установке датчика на поверхность, несоизмеримую с размерами датчика.

С целью количественной оценки влияния конечных размеров площадки была снята зависимость фазы приведенной эдс от относительного расстояния между датчиком и краем площадки. Из графика (рис. 3), построенного по результатам эксперимента, видно, что при отношении расстояния между центром датчика и краем изделия  $l$  к диаметру датчика  $d$ , большим 1,5, фаза эдс практически не чувствует край изделия.

Если поверхность площадки изделия, на которую устанавливается датчик, отличается от плоской, то в показаниях прибора также возникает погрешность. Величина этой погрешности зависит от отношения диаметра датчика к радиусу кривизны изделия. На рис. 4 показана зависимость фазы приведенной эдс от диаметра цилиндра  $D$ . Для снятия указанной зависимости было изготовлено 5 медных цилиндров разного диаметра, на которые последовательно устанавливался накладной датчик и фиксировались значения фазы приведенной эдс. Фаза эдс при установке датчика на плоскую поверхность ( $d/D = 0$ ) условно принималась за нуль. Из графика видно, что фаза эдс сильно чувствует кривизну поверхности, поэтому для уменьшения связанной с этим погрешности при контроле электропроводности изделий, не имею-

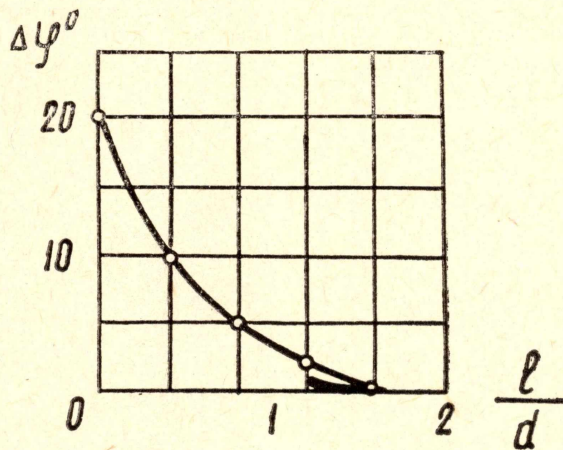


Рис. 3. Зависимость фазы приведенной эдс от относительного расстояния между датчиком и краем металлической пластины:  $l$  — расстояние между датчиком и краем пластины,  $d$  — диаметр ферромагнитного сердечника датчика



щих плоских поверхностей, необходимо стремиться к уменьшению диаметра сердечника датчика.

Проведенные исследования показывают, что при использовании в качестве рабочего параметра датчика фазы привнесенной эдс погрешность контроля электропроводности металлов может быть значи-

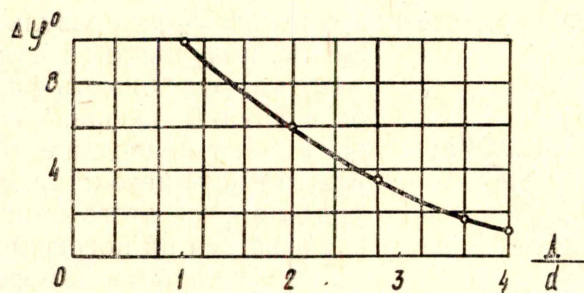


Рис. 4. Влияние диаметра проводящего цилиндра  $D$  на фазу привнесенной эдс накладного датчика, имеющего диаметр сердечника  $d$

тельно снижена и технические показатели измерителей таким образом улучшены.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. Л. Дорофеев. Неразрушающие испытания методом вихревых токов. Оборонгиз, 1961.