

## ОБ ИЗМЕРЕНИИ КОЭФФИЦИЕНТА ФОРМЫ КРИВОЙ

И. Г. ЛЕЩЕНКО, А. Н. ОБЕРГАН

(Представлена научно-техническим семинаром факультета автоматики  
и вычислительной техники)

Попытки создания приборов для непосредственного измерения коэффициента формы кривой напряжения [1] с использованием выпрямителей с квадратичными участками вольт-амперных характеристик не дали положительных результатов и в отношении точности измерения и технологичности их массового изготовления. В настоящее время, судя по опубликованным данным, нет приборов для непосредственного измерения коэффициента формы кривой. Определение его производится косвенными методами путем измерения действующего и среднего значений напряжений с последующим расчетом их отношения. В отдельных случаях для научных исследований [2]  $K_f$  тока, напряжения, эдс, потока и др. может быть определен по осциллограммам. Однако эти методы являются громоздкими, малопроизводительными и дают большую погрешность измерения.

Применяемые измерители линейных искажений не могут быть использованы для определения  $K_f$ , так как в общем случае нет математической зависимости между  $K_{ни}$  и  $K_f$ . Кроме того, выпускаемые промышленностью измерители нелинейных искажений имеют погрешность измерения 5—7% [3].

Необходимость и целесообразность разработки и серийного выпуска приборов для непосредственного прямого измерения  $K_f$  в настоящее время обуславливаются следующими соображениями.

Во-первых, при расчете и проектировании электрических машин, аппаратов и электромагнитных устройств автоматики используется формула действующего значения напряжения, выраженного через максимальный магнитный поток (или индукцию) и коэффициент формы кривой, принимаемый обычно равным 1,11, как для синусоиды.

В реальных машинах и аппаратах кривые магнитных потоков и индукции отличаются от синусоидальных, следовательно, для уточнения расчетов в целях экономии материалов и при научных исследованиях целесообразно определить более точное значение коэффициента формы кривых индукций.

Для примера можно привести научные исследования спектрального состава кривых индукций и эдс для разных марок сталей при заданных максимальных индукциях при различных толщинах листов и напряженностях магнитного поля, проводимые во ВНИИМ [2].

Результаты исследования могли быть значительно обширнее и для более широкого диапазона частот и напряженностей магнитных полей,

если бы мы на вооружении имели достаточно точные приборы для непосредственного измерения коэффициентов формы кривой тока, напряжения и эдс.

Во-вторых, все выпрямительные приборы реагируют на среднее значение тока, а градуировка их производится в действующих значениях синусоидального тока. Поэтому погрешность измерения выпрямительных приборов зависит от коэффициента формы кривой измеряемого тока и может оказаться достаточно большой.

Так, при  $K_{\phi} = 2$  погрешность измерения действующего значения тока будет равна

$$\gamma_0 = \frac{I_{\text{изм}} - I_{\text{дейст}}}{I_{\text{дейст}}} = \frac{1,11I_{\text{ср}} - 2I_{\text{ср}}}{2I_{\text{ср}}} = -45\%.$$

Наличие прибора для определения  $K_{\phi}$  позволит расширить область применения выпрямительных приборов.

В-третьих, наличие высокоточных приборов для непосредственного измерения коэффициента формы кривой напряжения, тока, мощности, магнитного потока и других величин, особенно автоматических регистрирующих приборов для исследования сложных динамических процессов в электромагнитных механизмах и устройствах расширит ассортимент приборов научного познания.

Далее, нам представляется возможным такие высокочувствительные приборы использовать не только при испытаниях ферромагнитных материалов на переменном токе, но и для контроля качества электромагнитными методами путем измерения  $K_{\phi}$  эдс во вторичной обмотке трансформаторных датчиков. Известно [5], что при деформации ферромагнитных материалов резко изменяются по амплитуде и фазе нечетные гармоники эдс (индукции при намагничивании синусоидальным током) вторичной обмотки, а следовательно, и коэффициент формы кривой.

Коэффициент формы кривой тока является также одним из исходных параметров при расчете и исследовании балластных устройств газоразрядных источников света [6].

Учитывая, что предлагаемые нами приборы позволят замечать малые отклонения от заданной формы кривой тока или напряжения  $(0,01 \div 0,001) K_{\phi}$ , перспектива использования  $K_{\phi}$ -метров при контроле качества изделий электромагнитными методами заслуживает внимания.

В этом отношении характерно сопоставить появление фазочувствительных вольтметров, нашедших широкое применение для целей исследования и контроля качества изделий по изменению вещественных и мнимых составляющих вторичных эдс.

Возможность создания  $K_{\phi}$ -метров с ручным и автоматическим уравниванием с погрешностью измерения менее одного процента, большим и малым входным сопротивлением, кроме всего прочего, может явиться серьезным конкурентом измерителям нелинейных искажений симметричных форм кривых в электрических цепях переменного тока.

На кафедре информационно-измерительной техники авторами разработан ряд схем и приборов, проведены некоторые исследования их макетов для непосредственного измерения коэффициента формы кривых тока и напряжения. Принцип измерения коэффициента формы кривых тока и напряжения и связанных с ними электрических и магнитных величин основан на сравнении или делении действующего и среднего значений тока с использованием магнитоэлектрического логометра, известных схем деления, магнитоэлектрического гальванометра.

При использовании логометра по одной рамке пропускается постоянный ток, пропорциональный действующему значению измеряемого тока и полученный с помощью различных преобразователей, а по другой рамке — предварительно выпрямленный ток полупроводниковыми или электронными выпрямителями с минимально допустимыми искажениями. В качестве преобразователей использовались термоэлектрические типа ТВБ, но с таким же успехом могут быть использованы подогревные сопротивления, фотоэлектрические (лампочка-фотосопротивление) и другие. Логометр, реагирующий на отношение токов, таким образом может быть отградуирован в значениях коэффициента формы кривой. Точная градуировка прибора по заведомо известным формам кривых тока в значительной степени уменьшает его погрешности от нелинейности вольт-амперных характеристик выпрямителей, коэффициента выпрямления, нелинейности характеристик преобразователей действующего значения в постоянное и других. Такой же градуировкой, но достаточной только для одного значения, ввиду линейности отсчетного устройства для  $K_{\phi}$ , снижают погрешности и в приборах сравнения с использованием магнитоэлектрического гальванометра в качестве нуль-индикатора, реагирующего на среднее значение измеряемой величины. Данная, наиболее перспективная, группа приборов с ручным уравновешиванием основана на нулевом или дифференциальном методе сравнения постоянного напряжения, пропорционального действующему значению измеряемой величины, с предварительно выпрямленным напряжением. Равенство сравниваемых напряжений (токов) устанавливается при нулевом методе перемещением движка безреактивного потенциометра, который градуируется в значениях  $K_{\phi}$  и имеет линейную шкалу. Действительно, если обозначим  $E_{\tau}$  и  $U_{\text{ср}}$  соответственно эдс термопреобразователя с коэффициентом преобразования  $K_1$  для заданного значения действующего тока  $I_{\text{д}}$  и среднее значение выпрямленного напряжения на сопротивлении  $R$ , то при  $I_{\text{г}}=0$ ,  $E_{\tau}=U_{\text{ср}}$  и  $K_1 \cdot I_{\text{д}}=K_2 \cdot I_{\text{ср}} \cdot R$ , где  $K_2$  — коэффициент преобразования выпрямительного моста (см. рис. 1, б).

Отсюда

$$K_{\phi} = \frac{I_{\text{д}}}{I_{\text{ср}}} = \frac{K_2}{K_1} \cdot R.$$

В дифференциальной схеме  $K_{\phi}$ -метра о значении измеряемой величины судят по отклонению указателя гальванометра (микроамперметра). Метод может быть рекомендован для измерения малых и медленно меняющихся изменений формы кривой, для контроля качества изделий и т. п.

На рис. 1 приведены принципиальные схемы  $K_{\phi}$ -метров:

а) с использованием логометрического измерительного механизма магнитоэлектрической системы;

б)  $K_{\phi}$ -метр напряжения;

в)  $K_{\phi}$ -метр тока.

Более подробное описание одного из приборов сравнения приводится в данном сборнике.

Автоматические приборы могут быть сравнительно легко выполнены для измерения коэффициента формы кривой в заданном диапазоне и с заданной чувствительностью, используя известные методы следящего уравновешивания компенсаторов постоянного тока с фотоэлектрическими типами Ф117 или индукционными типами И31 преобразователей, реагирующих на среднее значение тока или напряжения.

Погрешность приборов складывается главным образом от нелинейности характеристик преобразователей обоих каналов сравнения,

нестабильности элементов электрической цепи во времени, температурной и частотной погрешностей. Нелинейность одного из каналов сравнения (компарирования), например, канала преобразования действующего значения тока, устраняется путем оптимального выбора и установкой перед измерением заданного действующего значения тока на входе преобразователя или используя компенсационный способ срав-

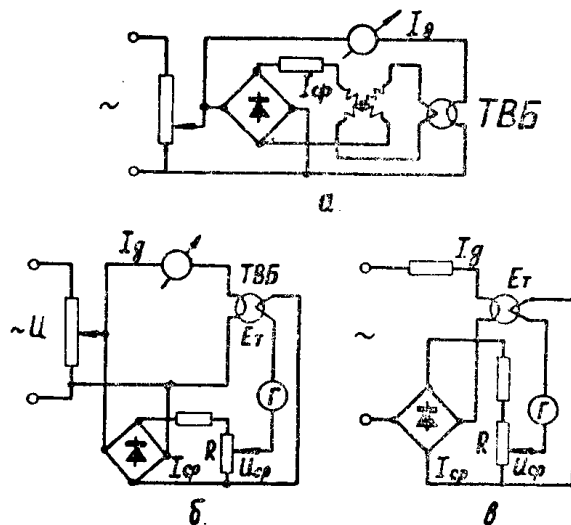


Рис. 1

нения термоэдс и эдс нормального элемента. Нелинейность характеристик выпрямителей сводится к минимуму выбором типа выпрямителей и их режима работы.

### Вывод

Предлагаемые приборы для непосредственного измерения коэффициентов формы кривых тока и других величин являются необходимыми для научных исследований, сравнительно легко осуществимы и рекомендуются для более полной их разработки.

### ЛИТЕРАТУРА

1. А. Я. Безикович. Погрешность выпрямительных приборов, обусловленная искаженностью формы кривой переменного тока и способы ее определения. Электрические измерения, Труды ВНИИМ, вып. 14 (74), стр. 134, ГЭМ, 1953.
2. Н. Г. Чернышева. Искажение кривых магнитной индукции и эдс. Магнитные измерения и исследования, Труды ВНИИМ, вып. 29 (89), стр. 58—82, Машгиз, 1956.
3. К. Д. Осипов, В. В. Пасынков. Справочник по радиоизмерительным приборам, ч. III. Изд. «Советское радио», 1959.
4. Е. И. Лангваген. О погрешности измерения напряжения детекторными органами при наличии высших гармоник. доклады VI научно-технической конференции. Отделение технических наук Усть-Каменогорского строительного-дорожного института, 1966.
5. М. М. Шель. Исследование магнитоупругого метода измерений и дефектоскопия датчиками анизотропии. Канд. диссертация, Иркутский филиал ВНИИХИММАШ, 1966.
6. Е. Н. Жариков. Измерение коэффициентов, характеризующих форму кривых тока и напряжения в цепях с газоразрядными лампами. «Светотехника», № 11, 1960.