

УДК 621.317.1

Марилев Н. Г., Наливайко А. М.

## НЕТРАДИЦИОННЫЕ СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ И ПОСТРОЕНИЕ ВЕКТОРНЫХ ДИАГРАММ

При проведении лабораторных работ по электротехнике по теме «Индуктивно-связные цепи» для определения параметров исследуемых цепей студенты, как правило, используют не менее трех приборов: амперметр, вольтметр и ваттметр (или фазометр). Этих приборов бывает достаточно, чтобы измерить не только токи и напряжения, но и определить все необходимые параметры и величины цепей для их расчета и построения векторных диаграмм.

Однако, в последнее время лаборатории учебных заведений, в целях экономии энергозатрат переходят на стенды малой мощности, которые потребляют активную мощность в пределах одного или нескольких ватт. При этом не редко имеющиеся ваттметры либо не подходят по пределу измерений (слишком большие пределы измерений), либо отсутствуют совсем.

Подобные проблемы возникают не только в учебных лабораториях, но и в производственных условиях. Например, в печах электродуговой плавки большое влияние на режим работы печи имеет значение коэффициента взаимной индуктивности  $M$ , величина которого, в свою очередь, зависит от конфигурации токопроводов и электродов печи и при незначительном её изменении (ремонт, профилактика, восстановление) изменяется и значения коэффициента  $M$  [1, 2]. При этом не зная значения коэффициента  $M$ , и, не имея возможности определять его экспериментально, не удастся не только настроить оптимальный режим работы печи, но, иногда, и запустить её вообще, т. к. при настройке режимов работы печи токи и напряжения больших величин можно измерить с помощью измерительных трансформаторов, но всегда возникают трудности с измерением мощностей больших величин на конкретном объекте.

Целью данной работы является предложение способа экспериментального определения коэффициента взаимной индуктивности  $M$  на примере двух индуктивно связанных и последовательно включенных катушек, имея в наличии только два прибора: амперметр и вольтметр переменного тока; а также – описание особенностей построения векторных диаграмм при параллельном включении индуктивно связанных цепей.

Схема включения индуктивно связанных катушек для определения коэффициента взаимной индуктивности  $M$  приведена на рис. 1.

Вначале способом, описанным в [3], определяют параметры и все необходимые величины для каждой из двух индуктивно связанных катушек в отдельности:

$$Z_{K1}; R_{K1}; X_{K1}; \varphi_{K1}; L_{K1};$$

$$Z_{K2}; R_{K2}; X_{K2}; \varphi_{K2}; L_{K2}.$$

Далее, включая катушки последовательно согласно и встречно (способ включения определяется по величине тока  $I$ ), измеряют токи, напряжения катушек и напряжения цепи:

$$I_{\text{СОГЛ}}; U_{K1 \text{ СОГЛ}}; U_{K2 \text{ СОГЛ}};$$

$$I_{\text{ВСТР}}; U_{K1 \text{ ВСТР}}; U_{K2 \text{ ВСТР}}.$$

Определяют полные и реактивные сопротивления цепи при согласном и встречном включении и коэффициент взаимной индуктивности  $M$  [4].

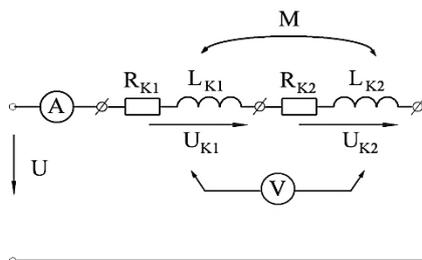


Рис. 1. Схема включения индуктивно связанных катушек для определения коэффициента взаимной индуктивности  $M$

Полное сопротивление цепи:

$$Z_{\text{СОГЛ}} = \frac{U}{I_{\text{СОГЛ}}}; \quad Z_{\text{ВСТР}} = \frac{U}{I_{\text{ВСТР}}}$$

Реактивные сопротивление цепи:

$$X_{\text{СОГЛ}} = \sqrt{Z_{\text{СОГЛ}}^2 - (R_{K1} + R_{K2})^2};$$

$$X_{\text{ВСТР}} = \sqrt{Z_{\text{ВСТР}}^2 - (R_{K1} + R_{K2})^2}.$$

Коэффициент взаимной индуктивности:

$$M = \frac{X_{\text{СОГЛ}} - X_{\text{ВСТР}}}{4\omega}$$

Проверить правильность полученного значения  $M$  можно при независимом включении тех же индуктивно связанных катушек из соотношений:

$$M = \frac{U_1}{\omega \cdot I_2} \quad \text{или} \quad M = \frac{U_2}{\omega \cdot I_1},$$

где  $U_1$  – напряжение, подаваемое на первую катушку;

$I_2$  – измеряемый при этом ток во второй катушке, аналогично для  $U_2, I_1$ .

Используя ранее определенные параметры катушек и измеренные в результате эксперимента величины, можно выполнить полный расчет цепи (классическим или символическим методами) и определить все необходимые величины для построения векторных диаграмм для согласного и встречного включения).

Схема параллельного включения индуктивно связанных катушек приведена на рис. 2. Включая их согласно и встречно (способ включения определяется по величине тока  $I$  в неразветвленной части цепи), измеряют:

$$I_{\text{СОГЛ}}; I_{K1 \text{ СОГЛ}}; I_{K2 \text{ СОГЛ}}; U;$$

$$I_{\text{ВСТР}}; I_{K1 \text{ ВСТР}}; I_{K2 \text{ ВСТР}}; U.$$

Используя ранее определенные параметры катушек и измеренные в результате эксперимента величины, можно выполнить полный расчет цепи (классическим или символическим методами) и определить все необходимые величины для построения векторных диаграмм для согласного и встречного включения):

$$U_{R1 \text{ СОГЛ}} = I_{K1 \text{ СОГЛ}} R_{K1}; \quad U_{L1} = I_{K1 \text{ СОГЛ}} \omega L_{K1}; \quad U_{M1 \text{ СОГЛ}} = I_{K2} \cdot \omega M;$$

$$U_{R2 \text{ СОГЛ}} = I_{K2 \text{ СОГЛ}} R_{K2}; \quad U_{L2} = I_{K2 \text{ СОГЛ}} \omega L_{K2}; \quad U_{M2 \text{ СОГЛ}} = I_{K1} \cdot \omega M.$$

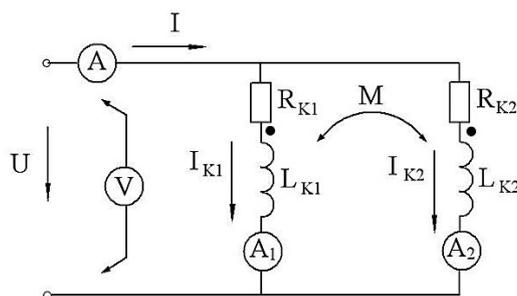


Рис. 2. Схема для исследования параллельно включенных индуктивно связанных катушек

Аналогичный расчет – для встречного включения.

При построении векторных диаграмм необходимо учитывать то, что углы сдвига фаз ( $\varphi_{K1}, \varphi_{K2}$ ) между векторами напряжения  $\dot{U}$  и токов каждой катушки  $\dot{I}_{K1}, \dot{I}_{K2}$ , определенных отдельно для каждой катушки, под действием индуктивных связей изменяют свои значения. Их можно рассчитать заново, но можно поступить и по другому.

Для цепи, рис. 2, возможны 2 варианта (для согласного и встречного включения): либо вектор тока первой катушки  $\dot{I}_{K1}$ , опережает по фазе вектор тока второй катушки  $\dot{I}_{K2}$ , либо наоборот  $\dot{I}_{K2}$ , опережает  $\dot{I}_{K1}$ .

Поэтому при построении векторных диаграмм строят векторы токов в 2-х вариантах: (а) –  $\dot{I}_{K2}$  опережает  $\dot{I}_{K1}$ ; (б) –  $\dot{I}_{K1}$  опережает  $\dot{I}_{K2}$ . Один из вариантов приведет к правильному результату и будет удовлетворять уравнениям (1), (2), составленным для цепи, рис. 2, в соответствии со 2-м законом Кирхгофа:

$$\dot{U} = \dot{I}_{K1}R_{K1} + \dot{I}_{K1}j\omega L_{K1} \pm \dot{I}_{K2}j\omega M; \tag{1}$$

$$\dot{U} = \dot{I}_{K2}R_{K2} + \dot{I}_{K2}j\omega L_{K2} \pm \dot{I}_{K1}j\omega M. \tag{2}$$

Примеры построения векторных диаграмм для согласного и встречного включения приведены на рис. 3 а, б; рис. 4 а, б.

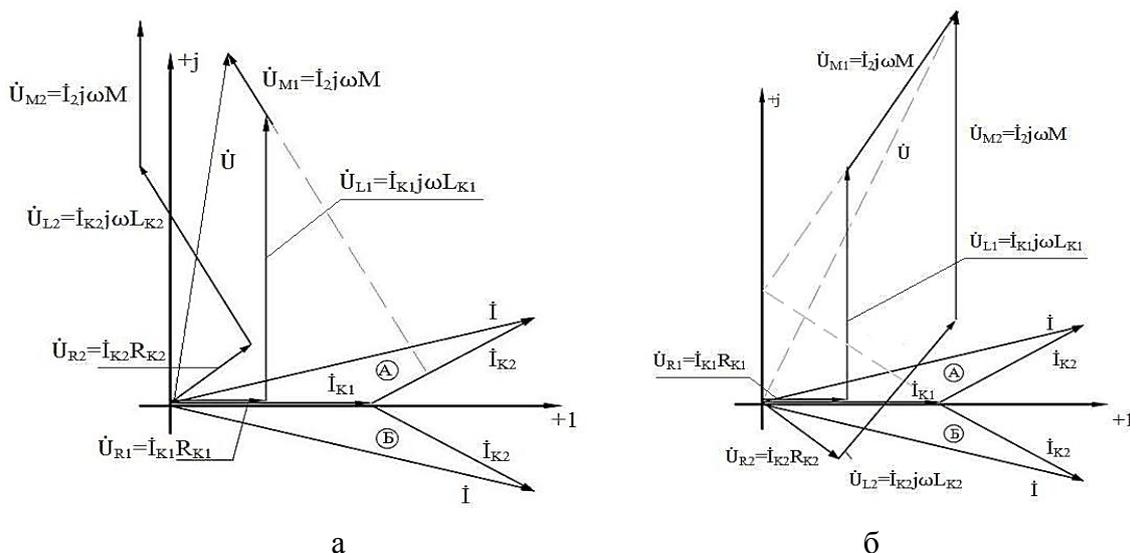


Рис. 3. Векторные диаграммы двух параллельно и согласно включённых индуктивно связанных катушек

а –  $\dot{I}_{K2}$  опережает  $\dot{I}_{K1}$ , вариант не удовлетворяет условиям уравнений (1) и (2);  
 б –  $\dot{I}_{K1}$  опережает  $\dot{I}_{K2}$ , вариант удовлетворяет условиям уравнений (1) и (2).

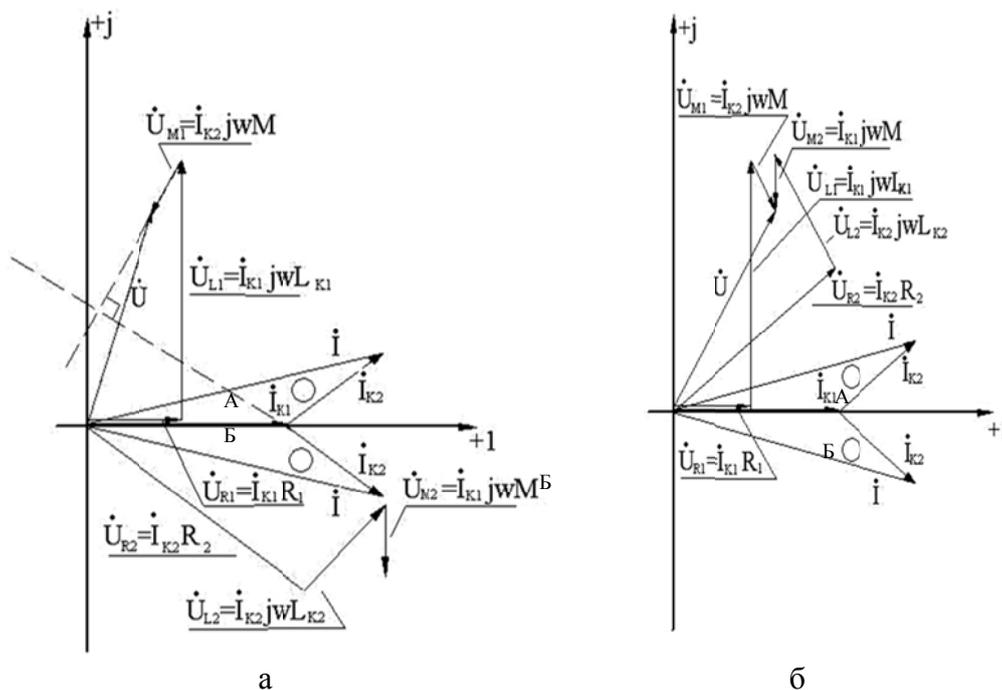


Рис. 4. Векторная диаграмма двух параллельно и встречно включенных индуктивно связанных катушек:

а –  $\dot{I}_{K2}$  опережает  $\dot{I}_{K1}$ , вариант удовлетворяет условиям уравнений (1) и (2);  
 б –  $\dot{I}_{K1}$  опережает  $\dot{I}_{K2}$ , вариант не удовлетворяет условиям уравнений (1) и (2)

Задавая начальную фазой тока  $\dot{I}_{K1}$ , равной нулю, можно все токи и напряжения цепи представить в комплексной форме и все необходимые расчеты проводить символическим методом.

## ВЫВОДЫ

Предложенная методика позволяет выполнять лабораторные работы по исследованию индуктивно связанных цепей при отсутствии в лаборатории ваттметра или фазометра.

Использование нетрадиционных способов определения параметров, проведения расчетов и построения векторных диаграмм расширяет познавательный багаж студентов.

Рассмотренная методика может быть использована в производственных условиях при наладке и настройке необходимых режимов работы отдельных устройств и электрических схем, имеющих индуктивно связанные цепи.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Панкратов А. И. Оценка изменения взаимных индуктивностей между гибкими кабелями трехфазной дуговой сталеплавильной печи ДСП-12 при эксплуатационных коротких замыканиях / А. И. Панкратов, А. В. Афанасьева // Наукові праці Донецького національного технічного університету. – 2009. – Вып. 9 (158). – С. 185–190. – (Серія «Електротехніка і енергетика»).
2. Панкратов А. И. Колебания кабельных гирлянд дуговой сталеплавильной печи при эксплуатационных коротких замыканиях [Электронный ресурс] / А. И. Панкратов, А. В. Афанасьева // Научный Вестник ДГМА : сб. науч. трудов. – 2010. – № 1 (6Е). – С. 177–182. – Режим доступа: [http://archive.nbu.gov.ua/e-journals/VDDMA/2010\\_1/article/10PAIOSC.pdf](http://archive.nbu.gov.ua/e-journals/VDDMA/2010_1/article/10PAIOSC.pdf).
3. Олесьяник О. В. Активізація пізнавальної діяльності студентів при виконанні лабораторних робіт з курсу «Теоретичні основи електротехніки». / О. В. Олесьяник, М. Г. Марілов // Гуманізація навчально-виховного процесу : зб. наук. праць. – Слов'янськ : СДПУ, 2012. – Вып. LX. – 4.11. – С. 85–91.
4. Теоретические основы электротехники : учебник для вузов. В 3 т. Т. 1 / К. С. Демирчан, Л. Р. Нейман, Н. В. Коровкин, В. Л. Чечурин. – 4-е изд. – СПб. : Питер, 2003. – 463 с. : ил.