

УДК 538.6

К ПОСТАНОВКЕ ЗАДАЧИ О ВОЗМОЖНОСТИ ФЕРРОРЕЗОНАНСА В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ (УГОЛЬНЫХ ШАХТ, РАЗРЕЗОВ)

Василец С.В., студент, Карась С.В., профессор, д.т.н.
*(Донецкий национальный технический университет,
г. Донецк, Украина)*

В промышленной практике эксплуатации распределительных энергосистем различного уровня мощности и протяженности имеют место случаи аварийных ситуаций, в основе возникновения которых лежит электроферрорезонанс. В этой связи аналитический взгляд на это явление представляет значительный интерес. Изначально следует отметить, что этот вопрос далеко не новый, в развитие теории и понимания его внесли свой вклад большое число исследователей.

Преследуя цель выяснения физической сути и выявления факторов, параметров (r, L, C) и величин $(U_{вх}, f)$, наиболее влияющих на поведение электроферрорезонансной системы как неавтономной распределительной автопараметрической колебательной системы, обратим свое внимание на учет нелинейности отдельных элементов и их диссипативность, а также зависимость от входного (питающего) напряжения и др.

В трехфазных электроферромагнитных колебательных контурах возможно возникновение автопараметрических колебаний, в основе специфической особенности которых заметная роль может принадлежать магнитной взаимосвязанности (взаимоиндуктивности) фаз.

В [1] отмечается, что в области возбуждения токов на основной частоте их форма такова, что имеют место высшие гармонические колебания третьего и более высокого порядка. При этом форма тока электроферромагнитного контура (элемента контура) часто носит импульсный характер. В неустойчивой области вольт–амперных характеристик (ВАХ) возбуждаются комбинационные колебания, содержащие высшие гармонические колебания третьего и более высокого порядка. Эти колебания в

системе могут вызвать перенапряжения и сверхтоки, приводящие в итоге к аварии. Знание причин и условий возникновения таких режимов в трехфазных распределительных системах представляет наибольший практический интерес, т.к. позволяет:

- 1) осуществить поиск способов и путей предотвращения возникновения опасных режимов;
- 2) осуществить поиск и разработку способов и средств эффективной защиты от опасных колебаний в системе;
- 3) обеспечить бесперебойное энергоснабжение угольных предприятий.

Колебания, возникающие в электроферромагнитных нелинейных системах, нередко «...не поддаются анализу с позиции динамических закономерностей. Даже в простейших случаях возникновение и установление колебаний в этих системах (цепях) управляется статическими закономерностями, при этом проявляется влияние отдельных граничных условий на установление в системе процессов» [1].

Феррорезонанс в электроферромагнитных неавтономных автоколебательных системах носит довольно сложный характер и определяется как действием внешних параметров (величин), так и наличием диссипативных явлений, характером нелинейности таких элементов, как $L_{диф} = f(i)$ или же, что не исключено, $C_{диф} = f(u)$, или их сочетанием. В таких случаях понятие собственной частоты как функции дифференциальной индуктивности (емкости) является достаточно сложным и собственная частота системы в различных ее состояниях различна [3].

Действующие значения линейных и нелинейных элементов, а также резонансные кривые феррорезонансной системы могут существенно изменяться как под влиянием отдельных, так и совокупности параметров системы. Например, дифференциальной (динамической) индуктивности или подмагничивания.

В рассматриваемом случае нас в наибольшей мере интересует явление феррорезонанса, сопровождающееся «скачком» (рис. 1).

Вынужденные колебания в электроферрорезонансной контуре с нелинейной индуктивностью (емкостью) описываются расширенным уравнением Дуффинга [2]:

$$\frac{d^2x}{d\tau^2} + 2\delta \frac{dx}{d\tau} + x + \lambda\alpha^3 = k \cos(\alpha\tau + \varphi) = k_1 \cos\alpha\tau - k_2 \sin\alpha\tau, \quad (1)$$

где $\delta = \frac{R_a}{2\omega_o}$ – коэффициент, учитывающий затухание в нелинейном неавтономном контуре.

Ища решение (1) при принятии некоторых корректных упрощений [1], можно получить уравнение

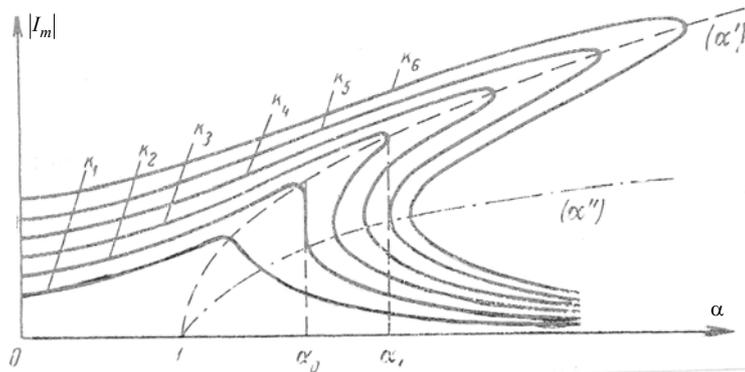


Рисунок 1 – Резонансные кривые $|I_m| = f(k)$;

α' и α'' – значения α для верхних (α') и нижних (α'') точек скачка;

$\alpha_o = \frac{\alpha'}{\alpha''} = 1$ (при малых k_i , когда $\alpha' < \alpha''$ и $\alpha_o > 1$; а при больших амплитудах ($k_i \rightarrow 1$) $\alpha' > \alpha''$ и $\alpha_o > 1$)

коэффициенты $k_1 < k_2 < \dots < k_{\max} = 1$.

$$\left[\frac{3}{4} \lambda I_m^3 + I_m (1 - \alpha^2) \right]^2 - (2\delta \alpha I_m)^2 = k^2. \quad (2)$$

На рис. 1 в соответствии с уравнением (2) для случая $k > 0$ представлено семейство резонансных кривых, построенных для различных k_i .

В рассматриваемом случае изгиб резонансной оси и характер начального участка резонансных кривых обусловлен малыми значениями амплитуд U_m (k мал). С увеличением амплитуды U_m

($k \rightarrow 1$) эквивалентная индуктивность растет, а $\omega_o = \frac{1}{\sqrt{L(I)C}}$

уменьшается, что обуславливает малые амплитуды вынужденных колебаний, т.е. имеет место эффект, аналогичный влиянию за

тухания δ (наличию диссипации), ограничивающему максимальную амплитуду вынужденных колебаний I_m в системе.

Исходя из (2) в неавтономном нелинейном электроферрорезонансном контуре возможно скачкообразное изменение амплитуды тока, т.е. $|I_m|_{k_i=const} = f(\alpha)$ и $|I_m|_{\alpha_j=const} = f(k)$ характеризуется областью неоднозначных значений.

Возбуждающиеся в трехфазных электроферромагнитных колебательных контурах комбинационные колебания при определенных соотношениях параметров системы и приложенного напряжения могут сопровождаться опрокидываниями, предшествующими некоторым устойчивым режимам.

В [1] отмечается, что возникающие комбинационные колебания характеризуются периодической перестройкой, т.е. «...система находится в одном режиме, после некоторого промежутка времени (приложенное напряжение постоянно) скачком переходит в другой режим, а оттуда – опять в первоначальный и т.д.». Этот режим может поддерживаться достаточно устойчиво.

С изменением входного (приложенного) напряжения и увеличением частоты перестройки, в системе может возникнуть режим трехкомпонентных колебаний на высших или других (основной, низшей) частотах, которые могут являться частным случаем колебаний с опрокидыванием, которые характеризуются переходом в режим больших токов.

Целесообразно исследовать возможность и условия возникновения автопараметрических колебаний в трехфазных электроферромагнитных цепях локальных систем электроснабжения угольных шахт, включив в рассматриваемую систему линии, подстанции, начиная с напряжения 35 (110) кВ.

Перечень ссылок

1. Рахимов Г.Р. Феррорезонанс (Автопараметрическое возбуждение электроферромагнитных цепей). – Т.: Изд-во АН Узбекистана. – 1967. – 144с.
2. Филиппов Е. Нелинейная электротехника. Пер с нем. А.З. Кулебякина; под ред. А.Б. Тимофеева. – М.: Энергия, 1976. – 496с.
Eugen Philippow. Nichtlineare elektrotechnik. – Leipzig. Akademische Verlagsgesellschaft. Yeest und Portig K. – Y. – 1963. – 570s.
3. Thomson J.S. Graphical analysis of nonlinear circuits using impedance concepts. J. appl. Phys., v.24, №11, Nov., – 1953, p. 1379.