

функцию качества. Сказанное указывает на допустимость обеспечения экстремальных значений $Q_{s,r}$ и $\cos \varphi$ по условиям нагрева АД.

Выводы. Регулирование модуля потокосцепления ротора позволяет оптимизировать основные энергетические характеристики АД в статических режимах работы. При управлении по минимуму реактивной мощности или по максимуму коэффициента мощности модель с линейной кривой намагничивания можно эффективно использовать для получения достаточно точных приближений к экстремальным потокосцеплениям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сандлер А.С. Автоматическое частотное управление асинхронными двигателями / А.С.Сандлер, Р.С.Сарбатов. – М.: Энергия, 1974. – 328с.

УДК 621.3.051.025

САДОВОЙ А.В., д.т.н., профессор
АЛЕКСЕЕВ И.А., к.т.н., доцент
ТРИКИЛО А.И., к.т.н., доцент

Днепродзержинский государственный технический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕЗОНАНСНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ В СИСТЕМЕ ОДНОПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Введение. Более ста лет назад Никола Тесла опубликовал результаты своих опытов по резонансному методу передачи электрической энергии [1, 2]. В начале двадцатого века не было современных электронных компонентов, а трехфазные сети, работающие с частотой 50-60 Гц, успешно справлялись с задачами по передаче энергии в диапазоне мощности от сотен ватт до тысяч мегаватт и на расстояние до 1000 километров. Технологические потери на активных и реактивных сопротивлениях, коммуникационных и преобразующих устройствах при таком способе передачи электрической энергии составляют более 20%.

Первым на территории СНГ однопроводную систему передачи электрической энергии внедрил «Газпром» (Россия) и спонсировал изготовление соответствующей установки мощностью 20 кВт [3]. Вдоль газопроводов технологически прокладывают линии электропередачи для катодной защиты, питания насосов для перекачивания и для других эксплуатационных служб. Стандартные линии стоят дорого, содержат провода из цветных металлов. При однопроводной передаче энергии стало возможным протянуть стальной провод, а на некоторых участках газопровода даже осуществить передачу энергии по самой трубе. Такая система имеет в сотни раз лучшие электрические параметры (КПД более 90%), чем традиционные двух-, трехпроводные.

Постановка задачи. Основной задачей данной работы является анализ электрических, геометрических, частотных характеристик резонансных трансформаторов и основных закономерностей построения на их основе резонансных силовых сетей электропитания.

Результаты работы. На базе кафедры электромеханики Днепродзержинского государственного технического университета в лабораторных условиях была исследована однопроводная резонансная система передачи электрической энергии мощностью до 100 Вт.

В качестве передающего и принимающего трансформаторов в системе резонансной передачи электрической энергии использовались трансформаторы Тесла, изготовленные на пластиковых каркасах с параметрами, указанными в табл.1.

Таблица 1 – Конструктивные параметры экспериментальных трансформаторов

Тип обмотки	Диаметр каркаса, м	Длина каркаса, м	Сечение провода, мм ²	Количество витков, шт	Изоляция провода
Первичная	0,1	0,3	2	30	поливинилхлорид
Вторичная	0,05	0,75	0,09	3000	эмаль

После проведенных теоретических и экспериментальных исследований получена эквивалентная схема резонансного трансформатора, показанная на рис.1. Для неё характерны следующие параметры: емкость и индуктивность первичной обмотки (C_1, L_1); емкость и индуктивность вторичной обмотки (C_2, L_2); активные сопротивления первичной и вторичной обмоток (R_1, R_2 – на рис.1 не показаны); взаимная индуктивность между обмотками ($M_{св}$); взаимная емкость ($C_{св}$). Последний параметр, как правило, не учитывается в методиках расчета низкочастотных и импульсных трансформаторов, но необходим при расчете резонансного трансформатора, так как учитывает характер резонансных явлений между первичной и вторичной обмотками.

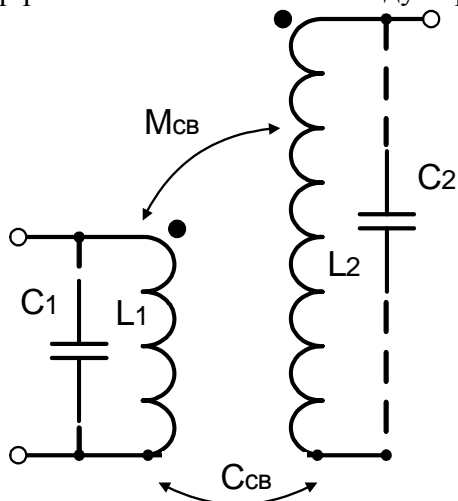


Рисунок 1 – Эквивалентная схема трансформатора Тесла

Для первичного контура после определения $L_1, C_1, M_{св}, C_{св}$ [4,5] получены значения резонансных частот и соответствующие относительные показатели вклада в суммарный сигнал по отношению к гармонике с максимальной амплитудой (табл.2)

$$\varepsilon = A_i / A_{\max} \cdot \quad (1)$$

Аналогичные вычисления проведены для вторичной обмотки трансформатора (табл.3). Резонансный трансформатор Тесла можно представить в виде структурной схемы, приведенной на рис.2. Здесь передаточные функции $W_i(p)$ представляют собой колебательные звенья с резонансной частотой, рассчитанной по формуле Томсона для возможных комбинаций C_i и L_i

первичной и вторичной обмоток (номера передаточных функций соответствуют номерам резонансных частот, указанных в табл.2, 3 в скобках).

Таблица 2 – Резонансные частоты в первичной обмотке

	C_1		$C_{св}$		$(C_1 + C_{св})$	
	f, (кГц)	ε , (отн. ед.)	f, (кГц)	ε , (отн. ед.)	f, (кГц)	ε , (отн. ед.)
L_1	300 (1)	32	3310 (2)	18	3430 (3)	19
$M_{св}$	240 (4)	41	919 (5)	62	950 (6)	63
$L_1 + M_{св}$	230 (7)	51	890 (8)	63	919 (9)	62

Таблица 3 – Резонансные частоты во вторичной обмотке

	C_2		$C_{св}$		$(C_2 + C_{св})$	
	f, (кГц)	ε , (отн. ед.)	f, (кГц)	ε , (отн. ед.)	f, (кГц)	ε , (отн. ед.)
L_2	300 (1)	33	< 100 (2)	$\approx 2-3$	320 (3)	115
$M_{св}$	2740 (4)	36	925 (5)	12	2890 (6)	37
$L_2 + M_{св}$	300 (7)	56	< 100 (8)	$\approx 4-5$	318 (9)	200

Из полученных данных следует, что трансформатор Тесла обладает рядом резонансных частот, которые с погрешностью < 5% кратны расчетной резонансной частоте вторичной обмотки ($f_2 = 300$ кГц).

На рис.3, 4 приведена графическая интерпретация резонансных явлений в первичной и вторичной обмотках трансформатора соответственно. Все множество резонансных частот контуров первичной и вторичной обмоток на рисунках расположены в трехчастотных полосах Δf_i и гармонически связаны между собой.

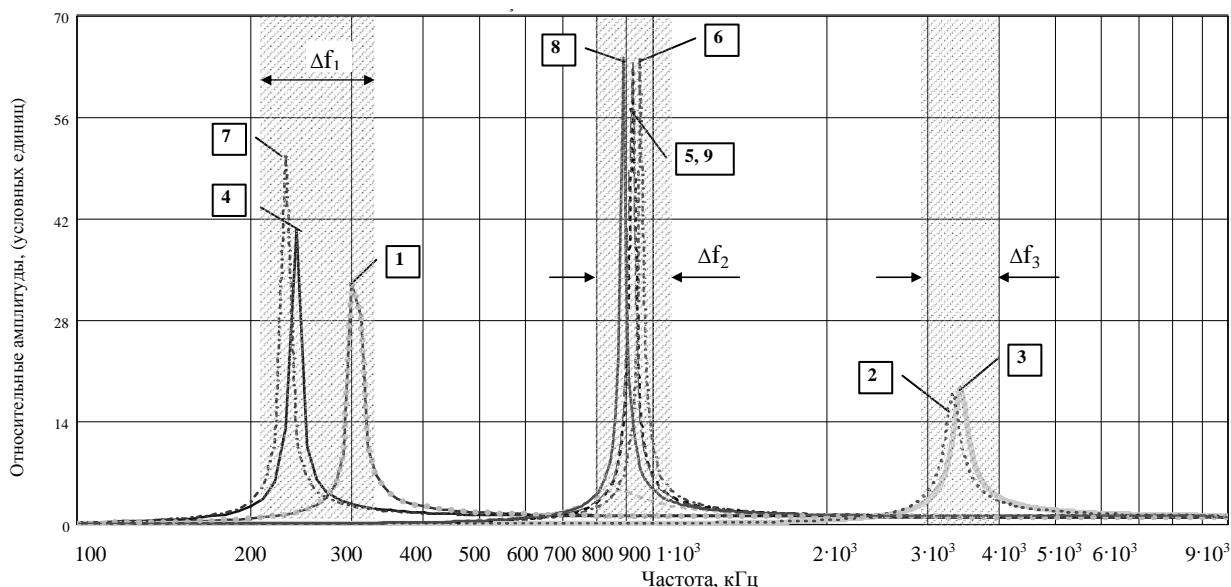


Рисунок 3 – Графическая интерпретация резонансных явлений в первичной обмотке трансформатора Тесла

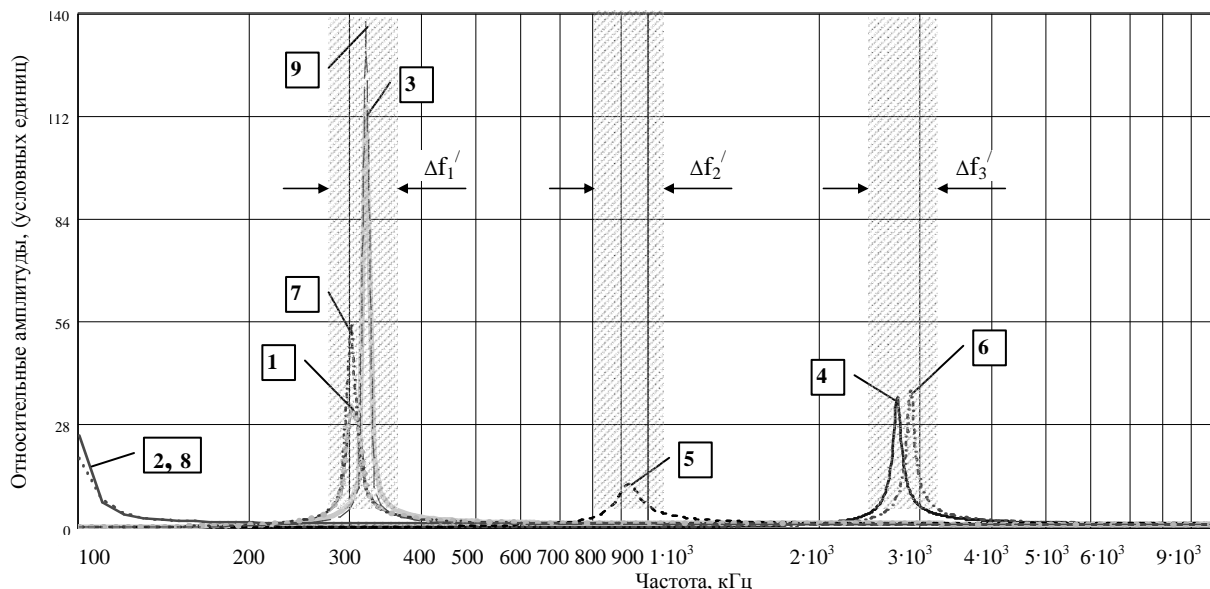


Рисунок 4 – Графическая интерпретация резонансных явлений во вторичной обмотке трансформатора Тесла

Ширина частотных полос, количество резонансных частот, расположенных в соответствующих полосах, и их суммарные энергетические показатели различны для

первичной и вторичной обмоток трансформатора Тесла. Это явление объясняется конструктивными особенностями трансформатора, а именно, более «строгими» требованиями к расчету и практическому достижению резонанса во вторичной обмотке.

Экспериментальным путем установлено, что рабочая частота комплекса, состоящего из двух резонансных трансформаторов Тесла и проводника, соединяющего передатчик и приемник энергии, лежит в пределах 260-280 кГц. Допустимая ошибка установки рабочей частоты комплекса не более $\pm 2 \dots 2,5$ кГц ($\Delta \leq 1\%$).

Таким образом, внешне простой по конструкции резонансный трансформатор Тесла, используемый в качестве передающего и принимающего устройства в системе резонансной передачи электрической энергии, представляет собой сложный объект управления с множеством дополнительных резонансных частот, что значительно усложняет задачу автоматического поиска и поддержания рабочей частоты комплекса и требует реализации дополнительных процедур по обеспечению стабильности и помехозащищенности информационного канала системы управления.

Выводы.

1. Все множество резонансных частот контуров первичной и вторичной обмоток трансформатора Тесла расположены в трех частотных полосах Δf_i и гармонически связаны между собой.
2. Внедрение комплексов резонансной однопроводной передачи электрической энергии требует разработки методики идентификации и автоматического управления резонансными явлениями в системе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тесла Н. Статьи / Н.Тесла. – Самара: Издательский дом «Агни», 2008. – 584с.
2. Тесла Н. Колорадо-Спрингс. Дневники. 1899-1900 / Н.Тесла. – Самара: Издательский дом «Агни», 2008. – 460с.
3. Стребков Д.С. Резонансные методы передачи электрической энергии / Д.С.Стребков, А.И.Некрасов; под ред. академика РАСХН Д.С.Стребкова. – 2-е изд. – М.: ВИЭСХ, 2006. – 304с.
4. Иоссель Ю.Я. Расчет электрической емкости / Иоссель Ю.Я., Кочанов Э.С., Струнский М.Г. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1981. – 288с.
5. Немцов М.В. Справочник по расчету катушек индуктивности / М.В.Немцов, Ю.М.Шамаев. – М.: Энергоиздат, 1981. – 136с.

УДК 681.5.03

ВОЛЯНСКИЙ Р.С., к.т.н., доцент
САДОВОЙ А.В., д.т.н., профессор

Днепродзержинский государственный технический университет

КОНСТРУИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛОВ КАЧЕСТВА ДЛЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ С ПОКАЗАТЕЛЬНОЙ АКТИВАЦИОННОЙ ФУНКЦИЕЙ

Введение. Существующие системы управления электромеханическими объектами обеспечивают экспоненциально протекающие переходные процессы и гарантируют требуемый запас устойчивости [1]. Такой характер движения объекта управления в замкнутой системе объясняется в первую очередь линейностью используемых управляющих воздействий. Аналогичная ситуация наблюдается в системах разрывного