

УДК 621.365

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФЕРРОРЕЗОНАНСНЫХ ЯВЛЕНИЙ И ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ УСТАНОВКИ ПРОДОЛЬНОЙ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

**Калимбетов Галим Примжанович**, старший преподаватель, Центральный Азиатский Университет, Казахстан, г. Алматы, ул. Жандосова 60, e-mail: gala\_84\_11@mail.ru

### RESEARCH FERRORESONANCE OF THE PHENOMENA AND TRANSIENTS OF INSTALLATION OF LONGITUDINAL COMPENSATION OF JET POWER

**Kalimbetov Galym P.**, Senior teacher, Kazakhstan, c. Almaty, Central Asian University, e-mail: gala\_84\_11@mail.ru

УПК РТП РКЗ-4, включенная в цепь вольтдобавочного трансформатора, оказываясь соединенным параллельно индуктивному сопротивлению цепи намагничивания вольтдобавочного трансформатора, образует с ней колебательный контур (рис.1)

Индуктивное сопротивление цепи намагничивания ВДТ является нелинейным и зависит от напряжения, приложенного к его обмотке. Эта нелинейность обусловлена насыщением магнитопровода при увеличении приложенного напряжения с соответствующим увеличением тока намагничивания. В таком контуре в моменты, когда индуктивное сопротивление намагничивания стала ВДТ становится близким к емкостному сопротивлению КБ, возникает феррорезонанс токов на основной частоте. Вследствие этого происходят скачки токов до 8-10 кратного значения и напряжения – в 2.0 – 2.5 раза.

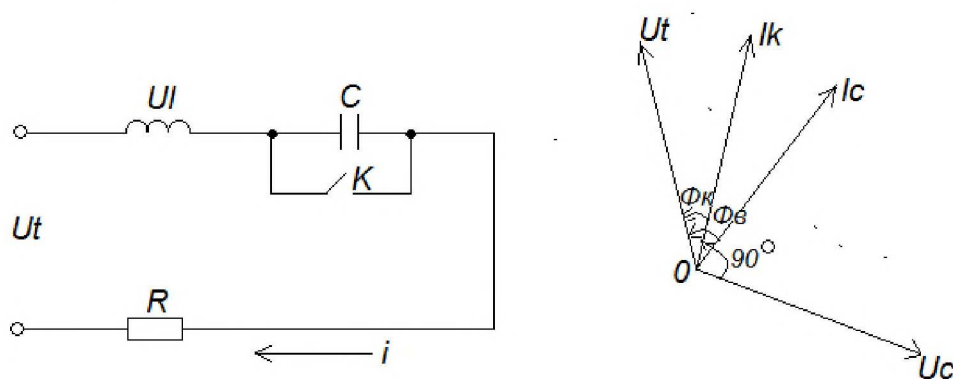


Рис.1. Эквивалентная схема колебательного контура. Векторная диаграмма токов и напряжений

Работа руднотермической печи РКЗ – 4 на ильменитовых концентратах характеризуется резкопеременным графиком нагрузки с повышенным содержанием высших гармонических составляющих токов и напряжений в течение всей плавки продолжительностью 10-12 часов. В начальный период происходят скачки токов и напряжений, связанные с обрывом дуг при попадании загружаемой шихты в подэлектродные зоны. Наиболее тяжелые режимы: обрушение шихты в колодцах с ее проплавлением и «крестовины», возникновение кипения расплава, которые вызывают эксплуатационные короткие замыкания с бросками токов и напряжений. В режиме условиях нормальная работа УПК становится невозможной. Частые, с превышением более чем в два раза относительно номинального, броски рабочего тока провоцируют появление феррорезонанса, что приводит к срабатыванию защиты УПК и ее шунтированию. Такими опасными режимами являются и переходные процессы, возникающие при расшунтировании и шунтировании УПК, с более чем двухкратными перенапряжениями и бросками токов, недопустимыми для ее аппаратуры. Из-за высокого уровня высших гармоник токов и напряжений существует опасность возникновения аварийных режимов и при повышенных частотах.

Все это требует решения задачи обеспечения надежной и стабильной работы УПК с выбором таких электрических параметров и режимов работы РТП и УПК, при которых возможно не только безопасное расшунтирование и шунтирование УПК, но и максимальное снижение вероятности появления феррорезонанса в процессе плавки.

#### Объекты и методы исследования

Объект исследования руднотермическая печь РКЗ-4 мощностью 25 МВА с установкой продольной емкостной компенсации реактивной мощности. В исследованиях феррорезонансных явлений, возникающих в цепи УПК РТП РКЗ-4, использовались специально созданные методики, апробированные практикой [1].

Целью работы является разработка мероприятий по вводу в эксплуатацию установки продольной компенсации реактивной мощности.

Для исследования феррорезонансных колебаний, возникающих в цепи УПК РТП РКЗ–4, необходимо рассмотреть эквивалентную схему колебательного контура, образуемого последовательно соединенными нелинейным индуктивным сопротивлением вольтодобавочного трансформатора и емкостным сопротивлением УПК.

Эквивалентная Т-образная схема электромагнитного контура РТП с УПК, включенной в цепь вольтодобавочного трансформатора, представлена на рисунке 2.

Расчет феррорезонансных явлений при изменениях токов нагрузки и бросках напряжений во время расшунтирования подразумевает определение на всех ступенях электропечного напряжения трансформатора следующих параметров:

- рабочих напряжений на вольтодобавочном трансформаторе;
- индукции стали при соответствующих рабочих напряжениях;
- токов намагничивания сердечника при этих напряжениях;
- критерия феррорезонанса в соответствии с кривой намагничивания стали ВДТ.

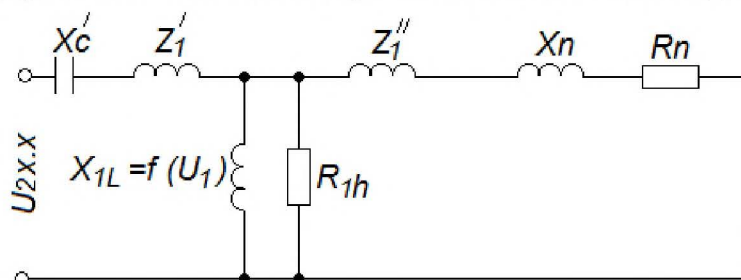


Рис.2. Эквивалентная схема электропечной установки с УПК

$Z_1, Z_1'$  - приведенные сопротивления обмоток высшего и низшего напряжения силового трансформатора,  $Z_2, Z_2'$  - приведенные сопротивления обмоток вольтодобавочного трансформатора,  $X_{11}, X_{2L}$  - нелинейные индуктивности цепей намагничивания соответственно главного и вольтодобавочного трансформатора,  $R_{1n}, R_{2n}$  - активные потери в стали трансформаторов,  $e_{ВД}$  - ЭДС регулировочной обмотки главного трансформатора,  $X_p, R_p$  - сопротивления печи (ванна+короткая сеть).

Рабочая индукция определяется из выражения:

$$B_p = \frac{U_p \cdot 10^4}{4.44 \cdot W S f}, \text{Тл}, \tag{1}$$

где  $f = 50$  Гц.

Ток намагничивания при изменении индукции определится методом аппроксимации кривой намагничивания стали  $\mathcal{E} - 330\text{H} = \alpha \text{sh}(\beta \cdot B_p)$ , где  $\alpha = 0,026$ ,  $\beta = 5,35$

$$I * x_{xp} = I * x_x \frac{\text{sh}(\beta \cdot B_p)}{\text{sh}(\beta \cdot B)} \tag{2}$$

Далее определяется критерий феррорезонанса  $K_{\text{фр}}$ :

$$K_{\text{фр}} = \frac{\text{sh}(\beta \cdot B_p)}{I * x_{xp} \cdot U_c \cdot \beta \cdot B_p} \tag{3}$$

По критерию феррорезонанса с помощью функций Бесселя нулевого, первого и второго порядков определяются критические значения индукций, напряжения и тока, при достижении которых наступает феррорезонанс в контуре УПК.

**Результаты и их обсуждения**

В расчетах использовались параметры вольтодобавочного трансформатора, полученные с завода изготовителя агрегата ЭОЦНК – 35/16700, приведенные в таблице №1. Расчет приводили с помощью формул (1-3) по специально составленной в среде MathCAD программе. Результаты расчета для всех 27 ступеней напряжения электропечного трансформатора приведены в таблице 1.

Критические напряжения на ВДГ превышают номинальное напряжение в 2.1-2.3 раз, а критические токи номинальные токи в 2.0-2.4 раз. Поэтому, возникновение феррорезонансных явлений возможно только при эксплуатационных бросках токов и напряжений превышающих эти критические значения. Например, при емкостном сопротивлении КБ  $X_c = 6$  Ом появление феррорезонанса при двукратном увеличении токов  $I = 573 \cdot 2 = 1146$  А возможно только на 1, 2, и 3 ступенях. При этом ток в электроде будет  $I_{\text{э}} = 1146 \times \sqrt{3} \times k = 79,3$  кА, что имеет место очень редких и исключительных случаях. Однако такой бросок токов опасен с точки зрения появления недопустимого перенапряжения на КБ. При токе  $I = 1146$  А напряжение на КБ будет составлять  $U_c = 1146 \cdot 6 = 6876$  В, которое превышает его номинальное значение  $U = 4200$  В в 1.6 раз, что является опасным.

Таблица 1

Результаты расчета критических условий наступления феррорезонанса

№ ступени	Критическое напряжение на ВДГ, кВ		Критический ток УПК, А	
	$X_c = 6$ Ом	$X_c = 4,8$ Ом	$X_c = 6$ Ом	$X_c = 4,8$ Ом
1	12480	12550	984	1058
2	12510	12590	1045	1138
3	12540	12630	1115	1232
4	12570	12670	1194	1343
5	12600	12720	1283	1475
6	12620	12760	1382	1632
7	12710	12860	1541	1877
8	12810	12970	1737	2197
9	12900	13090	1978	2617
10	13000	13210	2277	3171
11	13090	13330	2638	3880
12	13180	13440	3053	4743
13	13270	13550	3505	5707
14	13270	13550	3505	5707
15	13270	13550	3505	5707
16	13340	13630	3938	6608
17	13380	13680	4275	7196
18	13410	13690	4444	7266
19	13400	13650	4394	6782
20	13370	13570	4140	5930
21	13331	13470	3743	4960
22	13230	13350	3295	4065
23	13140	13230	2856	3320
24	13050	13110	2463	2733
25	12950	13000	2132	2284
26	12860	12890	1860	1943
27	12760	12780	1641	1683

#### Список литературы

1. Никольский П.Е., Смоляренко В.Д., Кузнецов Л.Н. Тепловая работа дуговых сталеплавильных печей. – М.:Металлургия,1981. - 320с.
2. Шаяхметов Б.М., Абдрахманов Е.А., Таиров Р.А. Исследование работы установки продольной компенсации реактивной мощности руднотермической печи РКЗ-16.5. – Алматы: АИЭС,2002. с.125-129.
3. Данцис Я.Б., Жилов Г.М. Емкостная компенсация реактивных нагрузок мощных токоприемников промышленных предприятий. –Л.:«Энергия». -1980. - 176с.