

УДК 621.365.2

## АНАЛИЗ РЕЖИМА НЕЙТРАЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ЭНЕРГОПИТАНИЯ ДУГОВОЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ

БАБАЕВА Н.Р.

Азербайджанская Государственная Нефтяная Академия

Установлено, что в процессе работы дуговой сталеплавильной печи (ДСП) происходят существенные смещения нейтрали электрической цепи, что может оказать отрицательное влияние на устойчивое горение дуги в ДСП. Смещение нейтрали возникает и на стороне высокого напряжения электрической сети питания, оказывающее отрицательное влияние на работу потребителя, включенного в электрическую сеть параллельно ДСП.

### 1. Особенности энергоснабжения ДСП.

Дуговые сталеплавильные печи, как правило, снабжаются энергией от электрических сетей напряжением 10-35 кВ (рис.1). В указанных сетях используются кабельные линии, а электроснабжение осуществляется энергосистемой большой мощности.

Напряжение электрической цепи бывает, в основном, в пределах 110-600 В. Конструкция трехфазной дуговой сталеплавильной печи обуславливает соединение фаз звездой, нейтраль которой изолирована от земли (рис.2) [1]. В таком случае, вследствие нелинейности вольт-секундной характеристики дуги, даже в случае полной симметричной одинаковой нагрузки и полного симметричного фазного напряжения происходит смещение нейтрали. А это усложняет стабильное горение дуги в печи и отрицательно воздействует на работы других потребителей, питающихся от этой же сети. Возникающие высокочастотные гармоники делают невозможным использование дугогасящих обмоток в электрических сетях, снабжающих печь энергией. В статье рассматриваются вышеупомянутые вопросы.

### 2. Анализ рабочего режима нейтрали

В стабильном рабочем режиме печи напряжение дуги принимаем в виде непрерывного прямоугольника (рис. 3). Изменения напряжения относительно горизонтальной оси и при условии времени горения  $\omega t_2 - \omega t_1 = \pi$  напряжение дуги можно описать следующим рядом:

$$e_q = \frac{4U_q}{\pi} \left[ \sin(\omega t - \psi) + \frac{1}{3} \sin 3(\omega t - \psi) + \frac{1}{5} \sin 5(\omega t - \psi) + \dots \right] \quad (1)$$

В нашем случае, так как  $e_q(t)$  является симметричным относительно оси  $AA$ , начальный угол для всех  $\psi=0$ .

Как видно из рис. 2, электрическая цепь, источник и нулевые точки дуг трехфазной печи создают соединение звездой. Схема замены цепи получается как на рис. 4 и, согласно этой схеме, в итоге уравнения электрической цепи будут записаны в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} U_m \sin \omega t - e_{q1}(t) - U_0(t) &= i_1 r + L \frac{di_1}{dt} \\ U_m \sin(\omega t - 120^\circ) + e_{q2}(t) - U_0(t) &= i_2 r + L \frac{di_2}{dt} \\ U_m \sin(\omega t - 240^\circ) - e_{q3}(t) - U_0(t) &= i_3 r + L \frac{di_3}{dt} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

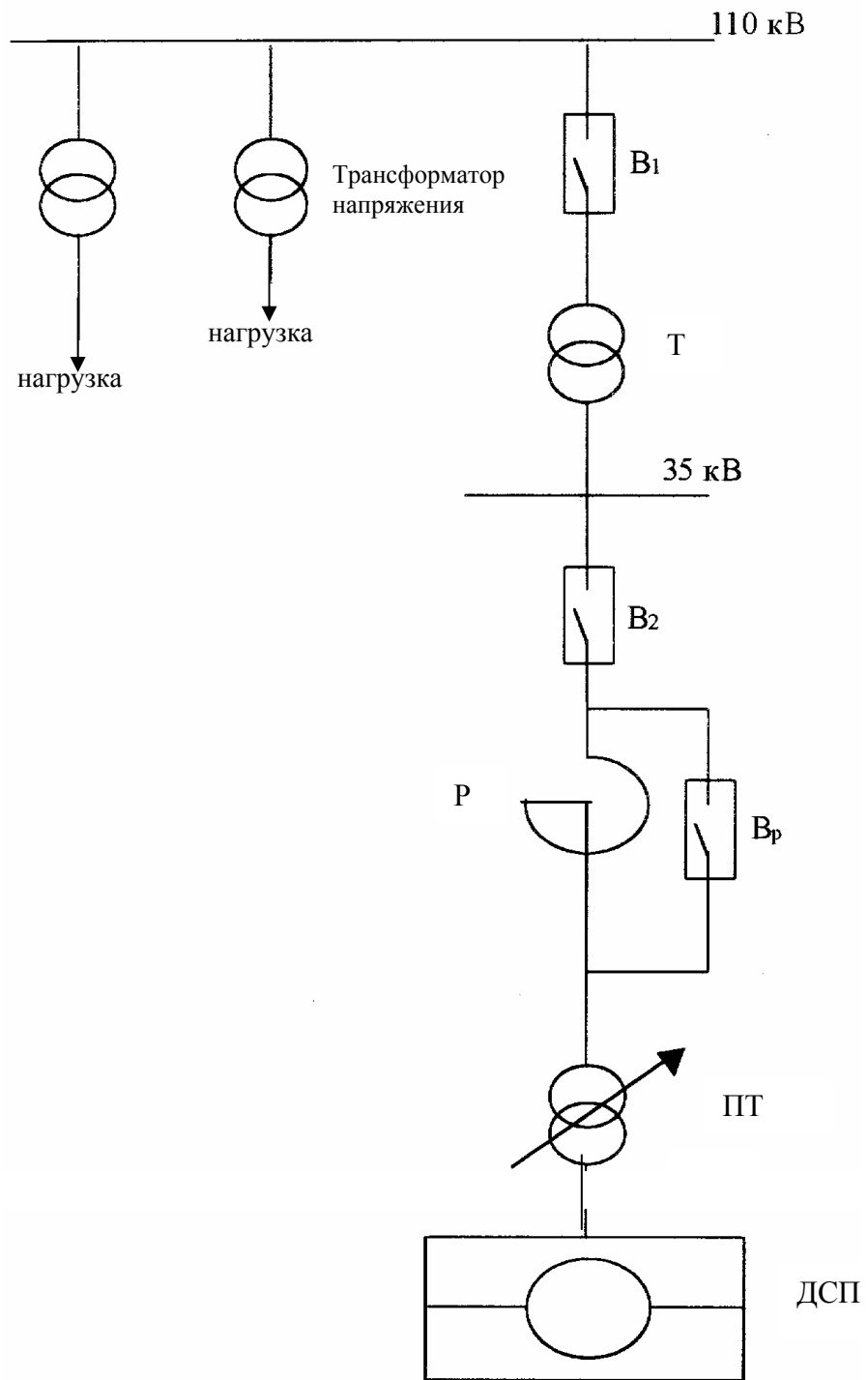


Рис.1. Схема электроснабжения печи.

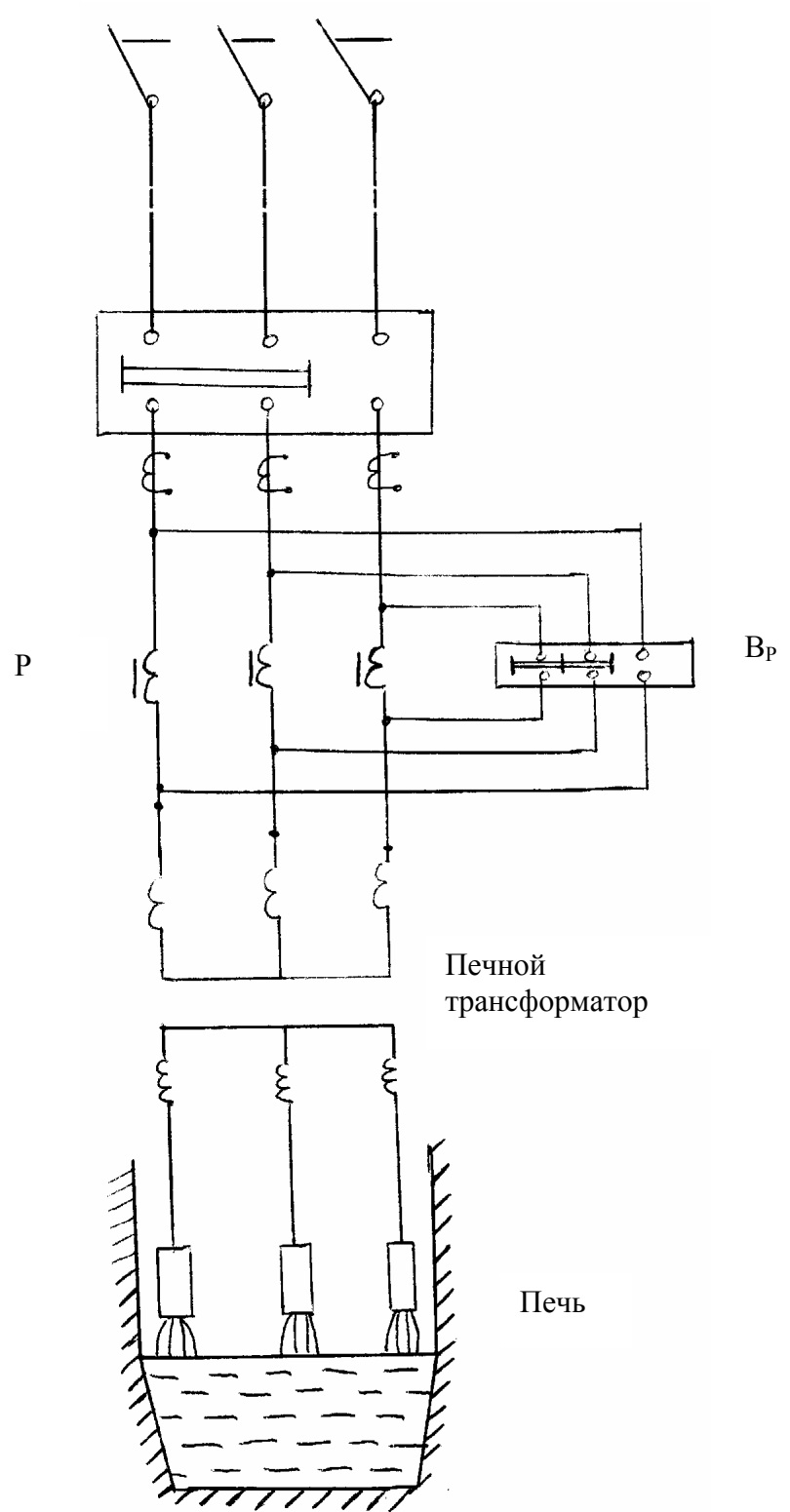


Рис. 2.

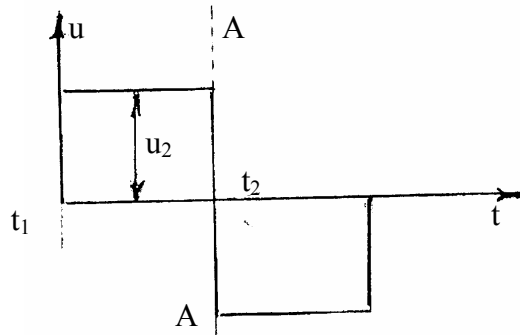


Рис.3. Вольт-секундная характеристика дуги.

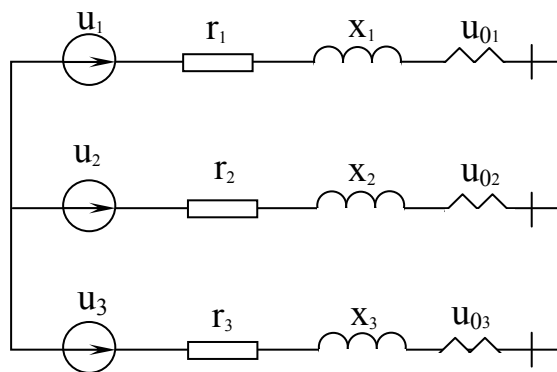


Рис.4. Расчетная схема замещения печи.

Учитывая, что  $i_1 + i_2 + i_3 = 0$ , из выражения (2) для потенциала нейтрали получим:

$$u_0(t) = \frac{-e_{q1}(t) + e_{q2}(t) - e_{q3}(t)}{3} \quad (3)$$

Принимая, что напряжение дуги во всех фазах является одинаковым, т.е.  $U_{q1} = U_{q2} = U_{q3} = U_q$ , согласно (1) подсчитав  $e_{q1}(t)$ ,  $e_{q2}(t)$  и  $e_{q3}(t)$  поставив в выражение (3), получим:

$$u_0(t) = \frac{4U_q}{3\pi} \left[ 2 \sin(\omega t - 120^\circ) - \frac{1}{3} \sin 3\omega t + \frac{2}{5} \sin(5\omega t - 240^\circ) + \frac{2}{7} \sin(7\omega t - 120^\circ) - \right. \\ \left. - \frac{1}{9} \sin 9\omega t + \frac{2}{11} \sin(11\omega t - 240^\circ) + \frac{2}{13} \sin(13\omega t - 120^\circ) - \frac{1}{15} \sin \omega t + \dots \right] \quad (4)$$

Для печи большого объема (200 тонн) пределы изменения напряжения  $U_n = 591 \div 164 \text{V}$ , в режиме стабильного горения дуги  $U_q = 0,4 U_n = (591 \div 164) \cdot 0,4 = 236,4 \div 65,6 \text{V}$ .

При этих условиях, для малообъемных печей  $U_q = 0,4 U_n = (242 \div 116) \cdot 0,4 = 96,8 \div 48 \text{V}$ .

На рис.5 согласно (4) приведены зависимости  $u_0(t)$  для печей с большим объемом.

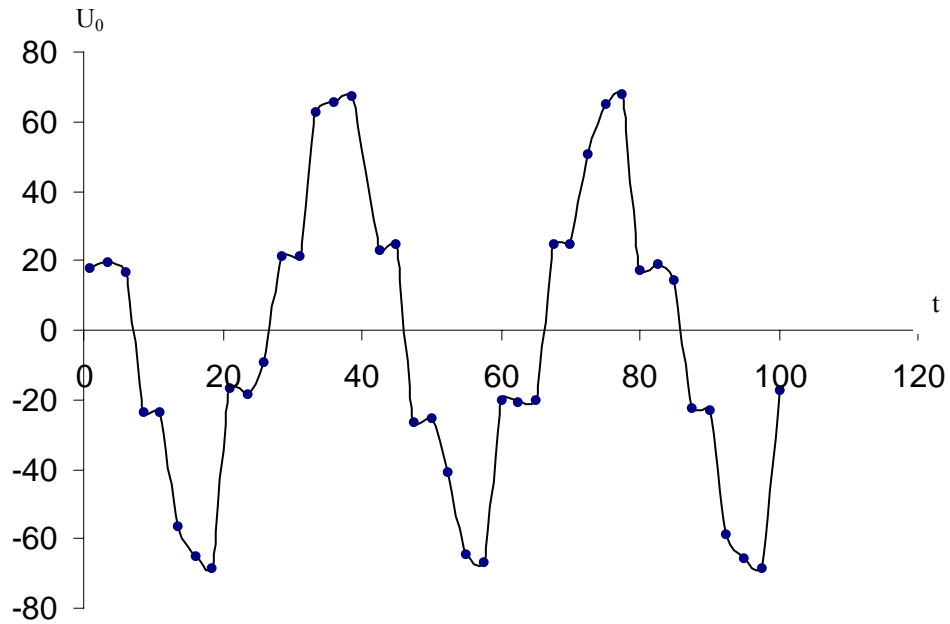


Рис. 5. Зависимость  $u_0(t)$  для печей с большим объемом

Как видно, напряжение в нейтрали электрической цепи меняется сложно и в больших пределах. А это может быть основным фактором, препятствующим стабильному горению дуги в печи, а так же будет отрицательно воздействовать на работу других потребителей, снабжаемых от этих же шин.

Следует отметить, что при разбивке напряжения дуги на гармонический ряд, вентильный эффект, возникающий при горении дуги в печи и увеличивающий перемещение нейтрали, не учтен.

Проанализируем влияние высокочастотных гармоник, возникающих при работе дуговой сталеплавильной печи, на режим нейтрали электрической сети 6-35 кВ, снабжающей печь. С этой целью используется информация [2], полученная путем эксперимента во время работы печей, эксплуатируемых на металлургических заводах. Экспериментально полученные кривые тока и напряжения проанализированы по методу Фурье [3].

Таблица

Процентное содержание высших гармоник токов и напряжений со стороны высокого напряжения печи ДСП-100 25 МВА, 35 кВ.

Параметры	Номер гармоники											
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Ток	$\frac{13}{3,7}$	$\frac{12}{4,4}$	$\frac{5}{1,6}$	$\frac{7}{2,7}$	$\frac{13}{1,0}$	$\frac{2,8}{0,96}$	$\frac{1,15}{0,66}$	$\frac{1,97}{0,69}$	$\frac{1,0}{0,53}$	$\frac{1,4}{0,46}$	$\frac{0,84}{0,36}$	$\frac{0,59}{0,32}$
Напряжение	$\frac{6,0}{2,5}$	$\frac{3,1}{1,3}$	$\frac{2,1}{0,7}$	$\frac{2,7}{1,5}$	$\frac{1,6}{0,44}$	$\frac{1,6}{0,93}$	$\frac{1,5}{0,49}$	$\frac{1,54}{0,6}$	$\frac{1,1}{0,38}$	$\frac{1,0}{0,47}$	$\frac{0,91}{0,4}$	$\frac{1,2}{0,4}$

Каждый цикл был разбит на равные интервалы и был подсчитан гармонический состав тока и напряжения до 13-ой составляющей. Вследствие случайного характера

гармонического состава кривых, было определено их математическое ожидание. Полученные результаты были показаны в процентных отношениях относительно первой гармоники. Значения относятся к начальному периоду плавки, в числителе указано максимальное значение, в знаменателе – среднее значение.

На основании значений в таблице и выражения (3) получаем следующее выражение для напряжения нейтрали:

$$u_0(t) = \frac{1}{3} [12 \sin(2\omega t - 240^\circ) + 9.3 \sin 3\omega t + 4.2 \sin(4\omega t - 120^\circ) + 5.4 \sin(5\omega t - 240^\circ) + 4.8 \sin 6\omega t + 3.2 \sin(7\omega t - 120^\circ)] \quad (5)$$

Согласно выражению (5), изменение напряжения в нейтрали приведено на рис. 6

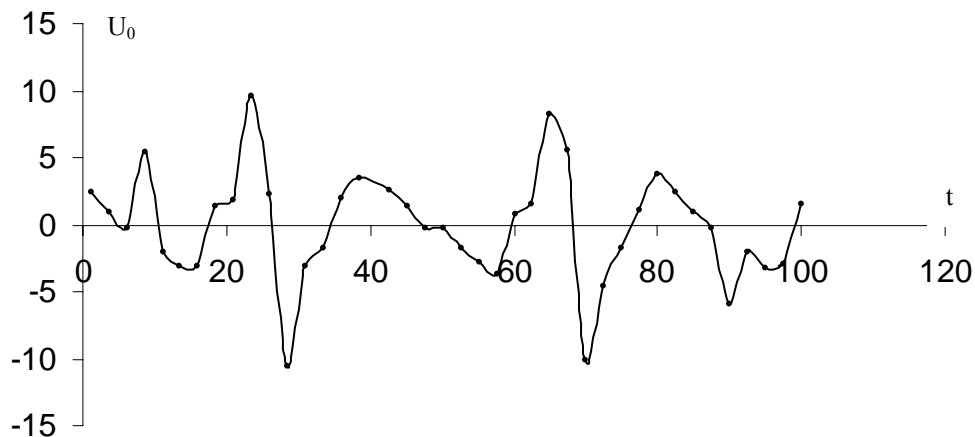


Рис.6. Изменение напряжения в нейтрали

Вопросы влияния высокочастотных гармоник на старение изоляции, на работу устройств, компенсирующих реактивную мощность, на увеличение активных потерь и т.д. в литературе проанализированы.

Как видно из рисунка, во время работы печи возникает существенное смещение нейтрали питающей сети.

1. Марков Н.А. Электрические цепи и режимы дуговых электрических установок. М.: Энергия, 1975. 208 с.
2. Бронштейн Б.В., Минеев Р.В. Высшие гармоники токов и напряжений в рабочих режимах дуговых сталеплавильных печей. "Электротехника", №3, 1980. С.60-62.
3. А.Ә.Әфәндизадә. Fırye metodunun elektrotexnika məsələlərinə tətbiqi. Bakı, 1970.118 s.

## POLADƏRİDƏN QÖVS SOBALARININ ENERJİ TƏCHİZİ ELEKTRİK DÖVRƏSİNİN NEYTRAL REJİMİNİN ANALİZİ

**BABAYEVA N.R.**

Poladəridən qövs sobasının iş prosesində elektrik dövrəsində neytralin yerdəyişməsi baş verir ki, bu da PQS-də qövsün dayanıqlı yanmasına mənfi təsir göstərir. Neytralin yerdəyişməsi elektrik şəbəkəsinin yüksək tərəfində də baş verir və PQS ilə paralel qoşulmuş tələbatçının işinə mənfi təsir göstərir.

## **ANALYSIS OF REGIME OF NEUTRAL OF ELECTRIC CIRCUIT OF ENERGY SUPPLY OF STEEL-SMELTING FURNACE**

**BABAYEVA N.R.**

It has been determined that significant displacements of neutral of electric circuit occurs in the process of work of arch steel-smelting furnace that may negatively effect stable arching in steel-smelting furnace.

Displacements of neutral arise also at the side of high-voltage of supply, negatively effecting work of consumers, connected to electric network in parallel to steel-smelting furnace.