

УДК: 621.314

doi 10.70769/3030-3214.SRT.2.4-1.2024.4

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ИСТОЧНИКА ТОКА



**Ускенбаев Дониёр
Эсанкулович**

PhD, доцент, кафедры,
Казахский агротехнический
исследовательский университет
имени С.Сейфуллина, Астана
Казахстан



**Мендыбаев Сергазы
Амергалиевич**

PhD, доцент, доцент кафедры,
Казахский агротехнический
исследовательский университет
имени С.Сейфуллина, Астана
Казахстан



**Тошмуродов Ёркин
Кахрамонович**

доктор технических наук,
доцент, директор, Каршинский
институт ирригации и
агротехнологий национального
исследовательского
университета "ТИИИМСХ",
Карши, Узбекистан

Аннотация. В данной статье исследованы динамические характеристики параметрического источника тока (ПИТ) и его математическая модель. На основе математической модели ПИТ анализируются электромагнитные процессы, описываемые основными уравнениями. В работе проведена симуляция динамических процессов ПИТ при изменении нагрузки и параметров резонансного контура. Результаты исследования могут быть использованы для повышения эффективности ПИТ и его применения в различных технических устройствах.

Ключевые слова: параметрический источник тока, режим короткого замыкания, сопротивление нагрузки, демпфирование.

PARAMETRIK TOK MANBAINING O'TISH JARAYONLARINI TADQIQ QILISH

**Uskenbayev Doniyor
Esankulovich**

S.Seyfullin nomidagi Qozog'iston
agrotexnika tadqiqot universiteti
PhD, dotsent, Ostona Qozog'iston

**Mendibayev Sergazi
Amergalievich**

S.Seyfullin nomidagi Qozog'iston
agrotexnika tadqiqot universiteti
PhD, dotsent, Ostona Qozog'iston

**Toshmurodov Yorqin
Qahramonovich**

Texnika fanlari doktori, dotsent,
"TIQXMMI" milliy tadqiqot
universiteti Qarshi irrigatsiya va
agrotexnologiyalar instituti
direktori, Qarshi, O'zbekiston

Аннотация. Ушбу мақоллада параметрик ток манбaining (PTM) динамик xususiyatlari va uning matematik modeli o'rganilgan. PTM ning matematik modeli orqali elektromagnit jarayonlarni tavsiflovchi asosiy tenglamalar va bu tenglamalarning yechimlari tahlil qilindi. Yozuvda yuklamaning har xil qiymatlari va rezonans konturi parametrlari o'zgartirilganda PTM ning dinamik jarayonlari simulyatsiya qilingan. Tadqiqot natijalari PTM ning samaradorligini oshirish bo'yicha amaliy tavsiyalar ishlab chiqishga imkon beradi.

Калит so'zlar: Parametrik oqim manbai, qisqa tutashuv rejimi, yuk qarshiligi, damping.

STUDYING TRANSIENT PROCESSES OF A PARAMETRIC CURRENT SOURCE

**Uskenbaev Doniyor
Esankulovich**

Kazakh Research Agronomic
University named after S. Saifullin,
PhD, Docent, Astana, Kazakhstan

**Mendibaev Sergazi
Amergaliyevich**

Kazakh Research Agronomic
University named after S. Saifullin,
PhD, Docent, Astana, Kazakhstan

**Toshmurodov Yorkin
Kahramonovich**

Doctor of Technical Sciences,
Docent, Director of the Karshi
Institute of Irrigation and
Agrotechnologies of the National
Research University "TIAME,"
Karshi, Uzbekistan

Abstract. This article investigates the dynamic characteristics of a parametric current source (PCS) and its mathematical model. The electromagnetic processes described by the fundamental equations are analyzed using the PCS mathematical model. Simulations of PCS dynamic processes are performed under varying load and resonance circuit parameters. The research findings provide practical recommendations for improving the efficiency of PCS and its application in various technical devices.

Keywords: Parametric current source, short-circuit mode, load resistance, damping.

Введение. Параметрический источник тока (ПИТ) представляют собой резонансную схему, которая преобразует m - фазную систему переменных напряжений в n - фазную систему переменных токов. На рисунке 1, 2 приведены схема замещения трехфазно - однофазного ПИТ и схема его математической модели.

Работа параметрического источника тока (ПИТ) в статистическом режиме изучена довольно широко [3], однако характер динамических переходных процессов в ПИТ исследовано недостаточно. Поэтому возникла необходимость в исследовании его динамики. Параметрический источник, как правило, относится к техническим устройствам больших мощностей, анализ и синтез которых представляет собой сложную задачу. Процесс этот трудоемкий и требует значительные материальных затрат. Помимо этого, возникают трудности для проведения универсального эксперимента, в ходе которого варьируются и выбираются основные параметры технической схемы.

Физическое моделирование не позволяет исследовать режимы при изменении реактивных параметров в широких пределах, не обеспечивает учета нелинейностей, особенно при аварийных режимах. В связи с этим большое внимание уделяется математическому моделированию. Анализ силовых схем с помощью математических моделей позволяет существенно сократить объем, исследований по сравнению с физическим моделированием, обеспечивает возможность просмотра большого количества вариантов, интересных для анализа

объекта.

Материалы и методы. С этой целью была построена его математическая модель, с учетом характерных особенностей источника (коммутация только нулевых значений выходного тока). Нагрузка менялась: от $Z_H=0$ (короткозамкнутый режим) до $Z_H=Z_{H\text{ ном}}$ (номинальный режим), при различных значениях добротностей Q резонансного контура параметрического источника ($Q=\omega L/R_L$).

На схеме замещения параметрического источника тока (рисунок 1), обозначено: R_H – сопротивление нагрузки; r_{TP} – активное сопротивление трансформатора; L_{TP} – индуктивность рассеяния трансформатора; R_L – активное сопротивление дросселя параметрического источника. i_H, i_L, i_C - токи через R_H, L, C ; U_{AB}, U_{BC}, U_{CA} – линейные напряжения питающей сети.

Электромагнитные процессы в параметрическом источнике, описываются следующей системой уравнений:

$$\begin{aligned} L \cdot di/dt &= U_C - U_{BC} - i_L \cdot R_L \\ i_C &= -i_L - i_H \end{aligned} \quad (1)$$

$$i_C = C \cdot dU_C/dt$$

$$L_H \cdot di_H/dt + i_H \cdot (R_H + r_{TP}) = U_C + U_{CA} = U_1$$

Структурная схема математической модели параметрического источника, реализующая систему уравнений (1), приведена на рисунке 2. Усилители 1, 2, 3 представляют собой модель колебательного звена, настроенного на частоту сети, в котором имеются два контура отрицательной обратной связи:

- контур, связанный с добротностью дросселя;
- контур, моделирующий нагрузку.

На рисунках 3 и 4 приведены результаты решения (осциллограммы тока параметрического источника), полученные на математической модели при различных значениях величины нагрузки, добротности резонансного контура источника и отклонений емкости параметрического источника от резонансного значения.

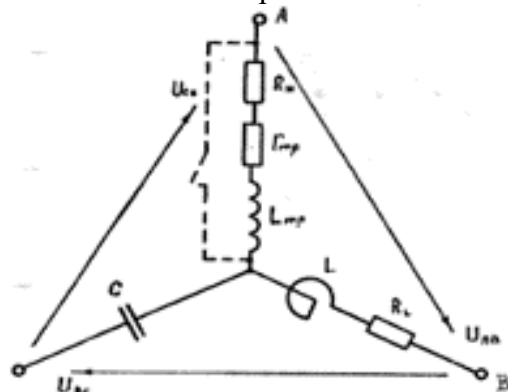


Рис.1. Схема замещения трехфазного параметрического источника тока.

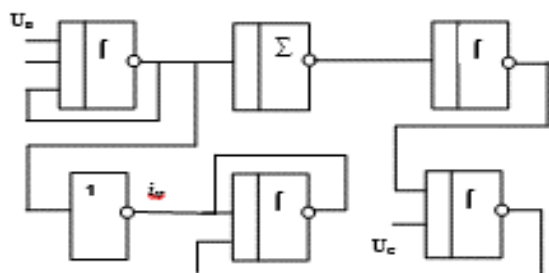


Рис.2. Схема математической модели параметрического источника.

На рисунках 3 и 4 обозначено:

i_A – ток фазы А;

t_0 – момент времени, соответствующий изменению нагрузки с $R_H=0.5R_{H\text{ ном}}$ до $R_H=0$ (короткозамкнутый режим нагрузки);

t_3 – момент времени соответствующий окончанию короткого замыкания нагрузки.

Практические исследования. Результаты моделирования показали:

1) При $(R_H+r_{TP}) \gg R_L$ изменение добротности в широких пределах не влияет на переходный процесс при коммутациях нагрузки.

2) При замыкании нагрузки, в начальный момент появляются значительные броски токов, вследствие ненулевых начальных условий переключения.

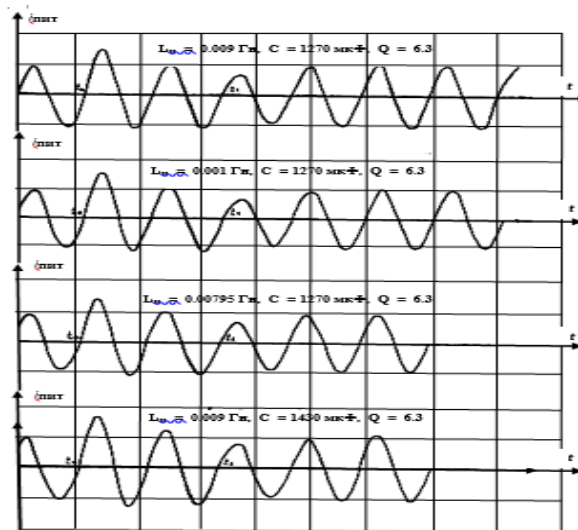


Рис.3. Осциллограммы тока ПИТ при различных добротностях и параметрах резонансного контура.

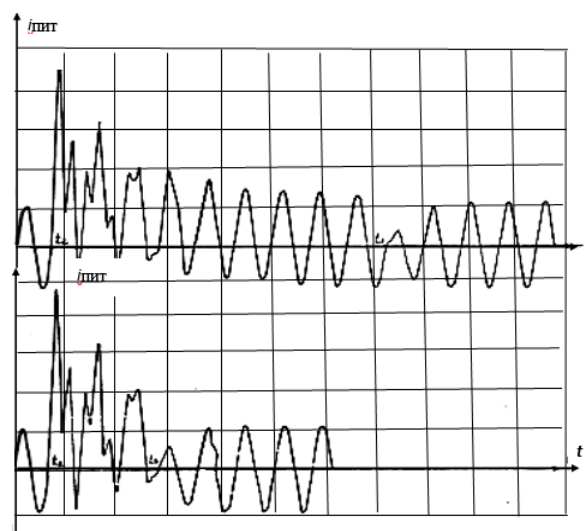


Рис.4. Осциллограммы тока ПИТ в переходных режимах.

Время переходного процесса определяется коэффициентом демпфирования, который зависит от величины суммарного активного сопротивления $R=r_{TP}+r_{СП}+r_B$, где r_{TP} – сопротивление трансформатора; $r_{СП}$ – сопротивление соединительных проводов, r_B – сопротивление вентилля. Так как величина суммарного сопротивления незначительна, время затухания в сильноточных схемах составляет 5-6 периодов сети (рисунок 4).

При переходе от короткого замыкания к нагрузочному режиму, момент времени t_3 на рисунке 3.4, выходной ток ПИТ достигает своего установившегося значения в течении

времени $t \approx 1.5 \cdot T_{CEH}$.

3) Длительность переходного процесса T_{II} , при выполнении:

$$R_H \gg R_L, R_H \gg r_{TP}$$

можно с достаточной степенью точностью оценить постоянной времени равной:

$$T_{II} = L / (R_H + L_{TP}) = 1 / \omega \cdot x / R_H = T_C / 2\pi \cdot x / R_H, \quad (2)$$

$x = \omega L = 1 / \omega C$ – реактивные сопротивления элементов резонансного контура параметрического источника.

$$T_{II} / T_C = 1 / 2\pi \cdot x / R_H \quad (3)$$

4) При отклонениях емкости C параметрического источника тока от своего резонансного значения, коэффициент демпфирования контура нагрузки меняется в C/C_1 раз, также меняется и время переходного процесса равно:

$$T_{II} = T_{II} \cdot C / C_1 \quad (4)$$

5) Контур, состоящий из усилителей (рисунок 2) является моделью звена второго порядка с передаточной функцией:

$$W(p) = T_1 \cdot p / (T_1 \cdot p^2 + 2\xi \omega_{II} p + 1) = T_1 \cdot p / (T_1 \cdot T_2 + T_2 \cdot p + 1), \quad (5)$$

где $T_1 = L_{TP} / (L_{TP} + R_H)$, $T_2 = C / (r_{TP} + R_H)$ – постоянные времени;

$\omega_{II} = \sqrt{1 / (T_1 \cdot T_2)}$ – угловая частота свободных колебаний;

$\xi = 1/2 \cdot \omega_{II} \cdot T_2 = \sqrt{T_2 / 4T_1}$ – коэффициент демпфирования.

Так как $L_{TP} \ll L$, то можно считать, что постоянная времени на переходной процесс не влияет. Тогда скачкообразное изменение соп-

ротивления нагрузки будет создавать такое же воздействие как и ступенчатое возмущение на входе звена второго порядка.

6) В зависимости от соотношений T_1 и T_2 переходной процесс будет апериодическим или колебательным. Условие апериодического переходного процесса записывается:

$$\xi \geq 1 \Rightarrow T_2 / T_1 \geq 4 \quad (6)$$

$$(r_{TP} + R_H)^2 \cdot C / L_{TP} \geq 4$$

$$(r_{TP} + R_H) \geq 2 \cdot \sqrt{C / L_{TP}} \quad (7)$$

Время переходного процесса (t_{II}) определяется суммой постоянных времени T_1 и T_2 . При значениях коэффициента демпфирования равно:

$$\xi \geq \sqrt{2} / 2;$$

Колебательный характер переходного процесса незаметен и переходной процесс становится близким к апериодическому [5].

Условие колебательного переходного процесса записывается:

$$\xi < \sqrt{2} / 2 = 0,707 \quad (8)$$

$$(R_H + r_{TP}) \geq 2 \cdot \sqrt{C / L_{TP}}.$$

При этом ток в фаза A изменяется с частотой колебания:

$$\omega = \omega_{II} \cdot \sqrt{1 - \xi^2}.$$

Выводы. Проведенные в статье исследования, могут быть использованы при практическом проектировании источников питания для наиболее энергоемких потребителей электро-технологии: дуговые печи, электролиз цветных металлов и другие потребители электроэнергии [2,4].

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Б.Ю. Семенов. Силовая электроника. - М.: 2019 г.
2. Сенчанский А.Д., Смелянский М.Я. Электрические промышленные печи. М.:1985г.
3. Волков И.А. Основы теории и расчета индуктивно – емкостных преобразователей. Автореферат диссертации на соискание ученой степени д.т.н.- К.: Академия наук, 1993 г.
4. Сальников В.Г. и др. Тиристорная преобразовательная техника в цветной металлургии. - М.: 1995 г.
5. Сукер К. Силовая электроника. – М.: 2017 г.