

1. Никитенко М.И., Соболевский Д.Ю. Перспективы применения грунтовых анкеров в Белоруссии с учетом мирового опыта анкерования конструкций // Строительство и архитектура Белоруссии. – 1980. – № 4. – С. 32–34.

УДК 621.314.26

В.М. БЛАДЫКО, канд. техн. наук,  
Л.И. СОНЧИК, Л.И. ДЕМИДЕНКО (БПИ)

## РАСЧЕТ ПЕРИОДИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ В УТРОИТЕЛЕ ЧАСТОТЫ

При сравнении различных типов вторичных источников питания, к которым относятся и утроители частоты, установлено, что преобразователи на ферромагнитных элементах обладают высоким коэффициентом полезного действия, устойчивостью к коротким замыканиям нагрузки и другими достоинствами [1].

Известно, что при решении задач физического характера, основная трудность заключается, как правило, в составлении дифференциальных уравнений [2].

Физические процессы в утроителе частоты характеризуются магнитными и электрическими значениями. Связь между ними устанавливается посредством законов электромагнитной индукции и полного тока.

При расчете периодических колебаний в первом приближении можно пренебречь потерями в стали магнитопровода, в сопротивлениях обмоток, рассеянием магнитного потока. Схема замещения такого идеализированного утроителя частоты для третьей гармоники представлена на рис. 1.

Для вторичной цепи схемы замещения утроителя частоты можно записать уравнения по законам Кирхгофа:

$$i_3 = i_c + i_n; \quad (1)$$

$$w_3 S_3 \frac{d}{dt} \sum_{k=1}^3 b_k + i_n R_n = 0; \quad (2)$$

$$\frac{1}{C} \int i_c dt - i_n R_n = 0, \quad (3)$$

где  $w_3$  — число витков вторичной обмотки;  $S_3$  — сечение магнитопровода;  $R_n$  — сопротивление нагрузки утроителя частоты;  $b_k$  — мгновенное значение индукции в элементах магнитопровода.

Кроме этого, можно записать уравнение для намагничивающих сил сердечников:

$$3i_3 w_3 = l \sum_{k=1}^3 F(b_k). \quad (4)$$

Полученную систему уравнений (1)–(4) разрешим относительно индукции в сердечниках. В результате получим нелинейное дифференциальное уравнение второй степени:

$$\frac{d^2}{dt^2} \sum_{k=1}^3 b_k + \frac{1}{CR_H} \frac{d}{dt} \sum_{k=1}^3 b_k + \frac{p}{C} \sum_{k=1}^3 F(b_k) = 0, \quad (5)$$

где  $p$  – коэффициент, зависящий от параметров устройства.

Решение уравнения (5) можно выполнить графически с помощью метода, аналогичного приведенным в [3, 4].

Аппроксимируем кривую намагничивания сердечника утроителя частоты выражением гиперболического синуса:

$$h = F(b) = \text{sh} b.$$

Выполнив преобразования, разложив выражения гиперболических функций периодического аргумента в ряд Фурье и пренебрегая воздействием высших гармоник на низшие, получим соотношение для составляющей уравнения (5):

$$\sum_{k=1}^3 F(b_k) = 3 [I_{01} I_{13} \cos(3t + \psi_3) - I_{31} I_{03} \cos 3t], \quad (6)$$

где  $I_{n1}, I_{n3}$  – модифицированные функции Бесселя  $n$ -го порядка от амплитудного значения индукции соответственно первой и третьей гармоник.

Подставляя выражение (6) в уравнение (5) и приравнявая коэффициенты при  $\sin 3t$  и  $\cos 3t$  в обеих частях полученного уравнения, запишем в виде:

$$K_3 \cos \psi_3 + 9B_{3m} \sin \psi_3 = K_4; \quad (7)$$

$$9B_{3m} \cos \psi_3 - K_3 \sin \psi_3 = 0,$$

где  $K_3 = 3R_H (9CB_{3m} - pI_{01} I_{13})$ ;  $K_4 = -3pR_H I_{31} I_{03}$ .

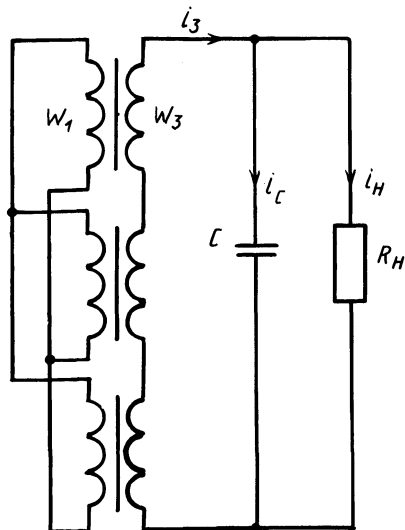


Рис. 1. Схема замещения утроителя частоты для третьей гармоники.

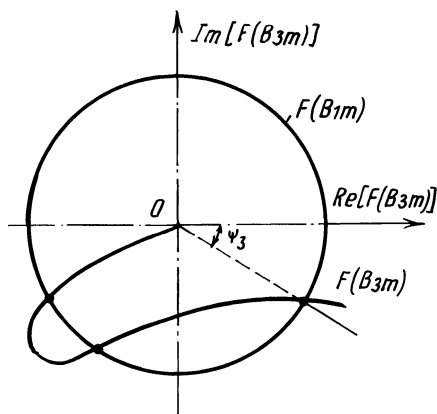


Рис. 2. Графическое определение амплитуды и фазы индукции третьей гармоники утроителя частоты.

После преобразований с учетом формулы Эйлера полученная система уравнений (7) может быть приведена к виду

$$\frac{1}{I_{03}} (I_{01} I_{13} - \frac{gC}{p} B_{3m}) - j \frac{3}{p R_{H} I_{03}} B_{3m} = I_{31} e^{j\psi_3} \quad (8)$$

Правая часть выражения (8) представляет собой окружность радиуса  $I_{31}$  на комплексной плоскости.

Построив график функции от амплитудного значения индукции третьей гармоники согласно левой части выражения (8), на комплексной плоскости в точках пересечения его с окружностью радиуса  $I_{31}$  (рис. 2) определяются значения амплитуды индукции  $B_{3m}$  и начальной фазы  $\psi_3$ , которые и являются решениями уравнения (5).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. B e s s h o К. Characteristics of a ferroresonance circuit and a parametric circuit and its application. – Kanasawa University, Kanasawa, Japan, 1976. – P.37–54. 2. Б е р м а н т А.Ф., А р а м а н о в и ч И.Г. Краткий курс математического анализа. – М.: Наука, 1971. – 555 с. 3. П о п о в Е.П., П а л ь т о в И.Е. Приближенные методы исследования нелинейных автоматических систем. – М.: Физматгиз, 1960. – 792 с. 4. В о р о н о в А.А. Основы теории автоматического управления. – М.; Л.: Энергия, 1966. – Ч. 2. – 372 с.

УДК 621.315.21:537.312.62

И.А.СТУПАК, канд. техн. наук (БПИ)

### ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И СРАВНЕНИЕ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОЕМКИХ ПРОИЗВОДСТВ С РАЗЛИЧНЫМИ НЕТРАДИЦИОННЫМИ ТОКОПРОВОДАМИ

Существуют различные подходы к расчету и оценке технико-экономических показателей (ТЭП) нетрадиционных токопроводов в схемах электроснабжения электроемких производств. Это определение оптимальных областей применения различных конструкций криогенных кабелей в зависимости от передаваемой мощности и длины, выявление зон экономичных номинальных напряжений, а также конкретное проектирование, в процессе которого дополнительно решается ряд других задач. Однако для выяснения возможной области применения конкретной схемы электроснабжения необходим анализ ее различных ТЭП в зависимости от передаваемой мощности, длины и напряжения. Не всегда можно получить указанную математическую зависимость из-за многосвязности между собой параметров криогенных кабелей. Поэтому ТЭП можно производить путем расчленения задачи исследования и выяснения влияния каждого фактора на результирующие технико-экономические показатели. В процессе данного исследования в целевую функцию вводится одно переменное значение, по которому оцениваются другие параметры и результирующее значение функции.

В данном случае для технико-экономического анализа принята модель электроснабжения, состоящая из обычного генератора постоянного тока и не-