

АНАЛИТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ УСТАНОВИВШИХСЯ ПРОЦЕССОВ В ДЕЛИТЕЛЕ ЧАСТОТЫ В ТРИ РАЗА

Статические ферромагнитные делители частоты в три раза находят широкое применение в новых установках автоматики и телеуправления [1]. Однако расчет субгармонических колебаний, возникающих в делителях частоты в три раза, представляет собой довольно сложную задачу [2,3].

В данной работе предлагается инженерная методика аналитического расчета установившихся процессов в однофазном делителе частоты в три раза в нагрузочном режиме. Схема этого делителя частоты приведена на рис. 1. Все расчеты будем вести в относительных единицах [4]. Зависимость тока нелинейной индуктивности от потокосцепления аппроксимируем некоторой функцией, например гиперболическим синусом

$$i = \operatorname{sh} \Psi. \quad (1)$$

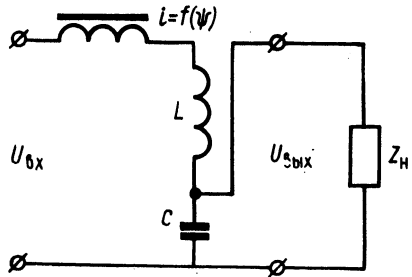


Рис. 1. Схема однофазного делителя частоты в три раза.

Пренебрегая высшими гармониками, запишем закон изменения потокосцепления в виде

$$\Psi = \Psi_1 + \Psi_3, \quad (2)$$

где $\Psi_1 = \Psi_{1m} \cos(\tau + \alpha_1)$ — потокосцепление третьей субгармоники; $\Psi_3 = \Psi_{3m} \cos(3\tau + \alpha_3)$ — потокосцепление основной частоты.

Согласно [5] точность, достаточная для инженерных расчетов, достигается в том случае, когда Ψ_3 не превышает 10% от субгармоники потокосцепления. В тех же случаях, когда эта величина больше 10%, следует воспользоваться итерационным методом [6].

Подставим (2) в (1) и разложим полученное выражение в ряд Тейлора по малому параметру ψ_3 . Ограничиваясь линейным приближением, получим

$$i = \text{sh } \psi_1 + \psi_3 \text{ ch } \psi_1. \quad (3)$$

Разложим $\text{sh } \psi_1$ и $\text{ch } \psi_1$ в ряд Фурье

$$\left. \begin{aligned} \text{sh } \psi_1 &= \sum_{k=1,3,\dots}^{\infty} A_{km} \cos(k\tau + \varphi_k); \\ \text{ch } \psi_1 &= D_0 + 2 \sum_{k=2,4,\dots}^{\infty} D_{km} \cos(k\tau + \theta_k). \end{aligned} \right\} (4)$$

Подставим (4) в (3) и, выделив третью субгармонику и первую гармонику тока, получим (индекс m для простоты записи опускаем)

$$\dot{i}_1 = \dot{A}_1 + \dot{\psi}_3 \dot{D}_2^* + \dot{\psi}_3^* \dot{D}_4; \quad (5)$$

$$\dot{i}_3 = \dot{A}_3 + \dot{\psi}_3 \dot{D}_0 + \dot{\psi}_3^* \dot{D}_6. \quad (6)$$

Пренебрегаем в (5) и (6) произведениями, содержащими $\dot{\psi}_3^*$, из-за их малости.

Для третьей субгармоники можно записать

$$\dot{i}_1 = -j\dot{\psi}_1 Y_1, \quad (7)$$

где Y_1 — проводимость линейной части схемы для третьей субгармоники со стороны нелинейного элемента при коротком замыкании первичных зажимов.

Подставив (7) в (5) получим

$$-j\dot{\psi}_1 Y_1 = \dot{A}_1 + \dot{\psi}_3 \dot{D}_2^*,$$

откуда

$$\dot{\psi}_3 = -\frac{1}{\dot{D}_2^*} (\dot{A}_1 + j\dot{\psi}_1 Y_1). \quad (8)$$

Подставив (8) в (6), получим величину тока основной частоты, протекающего через нелинейный элемент

$$\dot{i}_3 = \dot{A}_3 - \frac{D_0}{D_2^*} (\dot{A}_1 + j\dot{\psi}_1 Y_1). \quad (9)$$

Напряжение на входе схемы для основной частоты с учетом (8) и (9) можно записать в виде

$$\begin{aligned} \dot{U}_{3\text{вх}} = j3\dot{\psi}_3 + Z_3 \dot{i}_3 = \frac{1}{D_2^*} (3\dot{\psi}_1 Y_1 - j3\dot{A}_1 + \\ + Z_3 \dot{A}_3 D_2^* - Z_3 \dot{A}_1 D_0 - jZ_3 Y_1 D_0 \dot{\psi}_1), \end{aligned} \quad (10)$$

где

$$Z_3 = j3L + \frac{Z_{\text{ЭН}} \left(-j \frac{1}{3C} \right)}{Z_{\text{ЭН}} - j \frac{1}{3C}}.$$

Напряжение на нагрузке для третьей субгармоники с учетом (7) можно записать

$$\dot{U}_{1\text{вых}} = \dot{i}_1 Z_1 = -j\dot{\psi}_1 Y_1 Z_1, \quad (11)$$

где

$$Z_1 = \frac{Z_{1\text{н}} \left(-j \frac{1}{C} \right)}{Z_{1\text{н}} - j \frac{1}{C}}.$$

Таким образом, задаваясь величиной $\dot{\psi}_1$, по формулам (10) и (11) находим напряжение на входе схемы и на нагрузке. Это позволяет построить зависимость выходного напряжения с частотой $16 \frac{2}{3}$ Гц от входного напряжения с частотой 50 Гц $U_{1\text{вых}} = f(U_{3\text{вх}})$ для данного делителя частоты в три раза.

По предлагаемой методике был просчитан ряд режимов работы однофазного делителя частоты в три раза. Расхождение результатов расчета с экспериментальными данными не превышало 10--15%.

Л и т е р а т у р а

1. Бамдас А.М., Шапиро С.В., Давыдова Л.Н. Ферромагнитные делители частоты. М., 1967. 2. Бессонов Л.А. Нелинейные электрические цепи. М., 1964. 3. Хаяси Т. Нелинейные колебания в физических системах. М., 1968. 4. Бамдас А.М., Кулинич В.А., Шапиро С.В. Статические ферромагнитные преобразователи частоты и числа фаз. М., 1961. 5. Либкинд М.С. Высшие гармоники, генерируемые трансформаторами. М., 1962. 6. Vladyko W.M., Moshar W.I. Die iterative Methode bei der harmonischen Analyse in Ferroresonanzkreisen.-- XX. Intern. Wiss. Koll. TH Pfenau 1975, Heft 2.

Л.И. Сончик, В.Ф. Мехедко, П.С. Гладышевский

ТРАНСФОРМАТОР-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ С ВИТЫМ ПРОСТРАНСТВЕННЫМ МАГНИТОПРОВОДОМ

Трансформатор с витым пространственным магнитопроводом (рис. 1) состоит из трех одинаковых O -образных элементов, называемых рамами. Рамы магнитопровода изготавливаются витым способом из ленты холоднокатанной стали различного сечения. Отдельные рамы стыкуются плоскостями боковых сторон, называемых полустержнями, а верхние и нижние части рам образуют равносторонний треугольник.

Особенностью работы подобных трансформаторов [1] является наличие в магнитном потоке полустержней третьей гармоники. Эта особенность позволяет, кроме использования трансформатора по прямому назначению, получать на выходе энергию с частотой 150 Гц. Для использования трансформатора в качестве источника энергии повышенной частоты первичные обмотки наматываются на полустержни, а вторичные — на ярма.

Из [2,3] вытекает, что внешняя характеристика ферромагнитных умножителей частоты мягкая, а для получения более жесткой характеристики применяется емкостная компенсация.

Проведены исследования влияния поперечной и продольной емкостной компенсации на величину коэффициента мощности и коэффициента полезного действия при изменении нагрузки обмотки повышенной частоты.