

Номинальный ток — 10 А;
Коэффициент гармоник — не более 12 %;
Частота переключения ключей — 10 кГц;
К.п.д. — 80 %.

Преобразователь работает совместно с электродвигателем 4А63В2У3, который снабжен датчиком ВЕ-178.

Управление приводом осуществляется или с пульта ручного задания или от управляющей машины ДЗ-28. На рис. 4 приведены осциллограммы, снятые с преобразователя частоты.

В ы в о д ы

Замена аналоговых способов формирования синусоидальных колебаний цифровыми позволяет получить высокую стабильность и низкий коэффициент гармоник.

Способ получения выходного напряжения путем отслеживания опорного напряжения обеспечивает получение высоких характеристик преобразователей частоты для питания асинхронных электродвигателей.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Структуры систем управления автоматизированным электроприводом/ О.П. И л ь и н, В.И. П а н а с ю к, Ю.Н. П е т р е н к о, В.П. Б е л я е в. — Минск: Наука и техника, 1978. — 367 с. 2. Б е л я е в В.П., И л ь и н О.П., П е т р е н к о Ю.Н. Синтез цифровой системы управления автономным инвертором с ШИМ на основе микропроцессора. — Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. Киев, 1979, т. III. — 260 с.

УДК 621.318.435.001.24

Т.Т. РОЗУМ, канд.техн.наук (БПИ)

РАСЧЕТ ДВУХКОНТУРНОЙ ФЕРРОРЕЗОНАНСНОЙ ЦЕПИ С ПОМОЩЬЮ НАПРАВЛЕННОГО ГРАФА

Двухконтурная феррорезонансная цепь (рис. 1) вызывает интерес исследователей [1–3] благодаря возможности возникновения в цепи как ультрагармонических, так и субгармонических колебаний. В некоторых случаях они нежелательны и предварительный расчет режима работы цепи позволяет избежать нежелательных явлений. Эти колебания находят и практическое использование. Так, возможность применения схемы в качестве преобразователя частоты без подмагничивания рассмотрена в [2], для осциллографического контроля магнитных свойств ферромагнетиков — в [3]. Авторы проводят экспериментальное исследование процессов в феррорезонансной цепи либо пользуются приближенными аналитическими методами анализа установившихся режимов.

В данной статье рассматривается методика расчета режимов работы цепи (рис. 1) на основе направленного графа. Алгоритм расчета позволяет получить как установившиеся, так и переходные процессы, при этом выбор типа аппроксимации кривой намагничивания стальных сердечников не имеет принципиального значения.

Уравнения состояния электрических и магнитных цепей записываем в относительных единицах. Учтем имеющие существенное значение для переходного режима малые активные сопротивления соединительных проводов и конденсаторов r , обмоток дросселей r_d :

$$\left. \begin{aligned} u &= r i_{c1} + u_{c1} + r i_{c2} + u_{c2}; \\ r i_{c1} + u_{c1} &= p \Psi_1 + r_d i_1; \\ r i_{c2} + u_{c2} &= p \Psi_2 + r_d i_2; \\ i &= i_{c1} + i_1; \quad i = i_{c2} + i_2; \\ -u_H &= p \Psi_1 - p \Psi_2; \\ i_1 + i_H &= sh \Psi_1; \quad i_2 - i_H = sh \Psi_2 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

(здесь $p = \frac{d}{dt}$ — оператор дифференцирования).

Решая уравнения (1) относительно каждой зависимой переменной в следующем виде:

$$i = \frac{u}{2r} - \frac{u_{c1}}{2r} - \frac{u_{c2}}{2r} + \frac{1}{2} i_1 + \frac{1}{2} i_2;$$

$$i_{c1} = i - i_1; \quad i_{c2} = i - i_2;$$

$$\Psi_1 = \frac{u_{c1}}{p} + \frac{r}{p} i_{c1} - \frac{r_d}{p} i_1;$$

$$\Psi_2 = \frac{u_{c2}}{p} + \frac{r}{p} i_{c2} - \frac{r_d}{p} i_2;$$

$$i_1 = sh \Psi_1 - i_H; \quad i_2 = sh \Psi_2 + i_H;$$

$$u_H = u_{c1} - u_{c2} - (r + r_d) i_1 + (r + r_d) i_2$$

и, воспользовавшись вспомогательными соотношениями

$$u_{c1} = \frac{1}{C_p} i_{c1}; \quad u_{c2} = \frac{1}{C_p} i_{c2}; \quad i_H = \frac{u_H}{r_H},$$

строим направленный граф исследуемой цепи (рис. 2).

Предложенная структура направленного графа обеспечивает наиболее устойчивую расчетную схему, наилучшую сходимость итераций в процессе вычислений, так как обратные связи графа отрицательны, передачи обратных связей не содержат операторов дифференцирования, а контуры обратной связи имеют не менее одного оператора интегрирования.

Наличие ненулевых начальных условий учтено путем введения в узлы графа u_{c1} , u_{c2} дополнительных ветвей с сигналами u_{c1}^0 и u_{c2}^0 , соответствующими

щами напряжению конденсаторов до момента коммутации, а в узлы Ψ_1, Ψ_2 — дополнительных ветвей с сигналами Ψ_1^0 и Ψ_2^0 , обусловленных остаточной намагиченностью сердечников.

Согласно структурной схеме графа расчет исследуемых величин в первом приближении на $(k + 1)$ -м интервале осуществляется следующим образом.

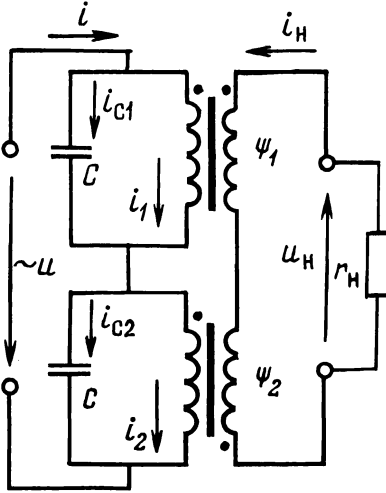


Рис. 1.

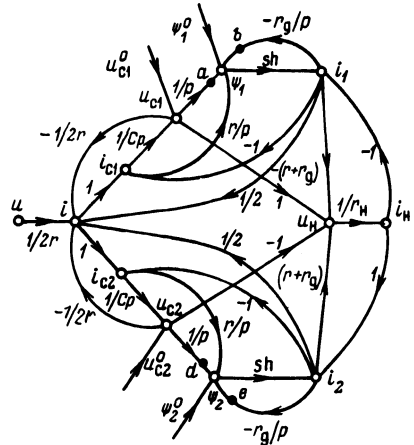


Рис. 2.

Токи источника питания и ветвей с конденсаторами

$$i_{k+1} = \frac{U_m \sin(t_{k+1} + a)}{2r} - \frac{u_{c1k}^{III}}{2r} - \frac{u_{c2k}^{III}}{2r} + \frac{1}{2} i_{1k}^{III} + \frac{1}{2} i_{2k}^{III};$$

$$i_{c1(k+1)} = i_{k+1} - i_{1k}^{III};$$

$$i_{c2(k+1)} = i_{k+1} - i_{2k}^{III}$$

(полагаем, что расчет в предыдущем интервале ограничивается третьей итерацией).

Напряжения на конденсаторах

$$u_{c1(k+1)} = \frac{1}{2C} (i_{c1(k+1)} + i_{c1k}^{III}) \Delta t + u_{c1k}^{III};$$

$$u_{c2(k+1)} = \frac{1}{2C} (i_{c2(k+1)} + i_{c2k}^{III}) \Delta t + u_{c2k}^{III}.$$

При этом следует учесть, что на первом интервале

$$u_{c1}^{III} = u_{c1}^0; u_{c2}^{III} = u_{c2}^0.$$

Потокоцепления дросселей

$$\Psi_{1(k+1)} = a_{k+1} + b_{k+1}^{\text{III}} + \Psi_1^0 ;$$

$$\Psi_{2(k+1)} = d_{k+1} + e_{k+1}^{\text{III}} + \Psi_2^0 .$$

где

$$a_{k+1} = \frac{1}{2} (u_{c1(k+1)} + u_{c1k}^{\text{III}}) \Delta t + a_k^{\text{III}} ;$$

$$d_{k+1} = \frac{1}{2} (u_{c2(k+1)} + u_{c2k}^{\text{III}}) \Delta t + d_k^{\text{III}} .$$

Токи дросселей и соответствующие им приращения потокоцепления по ветвям обратных связей — $\frac{r_d}{p}$

$$i_{1(k+1)} = \text{sh } \Psi_{1(k+1)} - i_{\text{HK}}^{\text{III}} ;$$

$$i_{2(k+1)} = \text{sh } \Psi_{2(k+1)} + i_{\text{HK}}^{\text{III}} ;$$

$$b_{k+1} = - \frac{1}{2} r_d (i_{1(k+1)} + i_{1k}^{\text{III}}) \Delta t + b_k^{\text{III}} ;$$

$$e_{k+1} = - \frac{1}{2} r_d (i_{2(k+1)} + i_{2k}^{\text{III}}) \Delta t + e_k^{\text{III}} .$$

Напряжение и ток нагрузки

$$u_{\text{H}(k+1)} = u_{c1(k+1)} - u_{c2(k+1)} - (r + r_d) i_{1(k+1)} + (r + r_d) i_{2(k+1)} ;$$

$$i_{\text{H}(k+1)} = u_{\text{H}(k+1)} / r_{\text{H}} .$$

Контуры обратной связи графа определяют следующий порядок расчета на первой итерации:

$$i_{k+1}^{\text{I}} = \frac{U_m \sin(t_{k+1} + a)}{2r} - \frac{u_{c1(k+1)}}{2r} - \frac{u_{c2(k+1)}}{2r} + \frac{1}{2} i_{1(k+1)} +$$

$$+ \frac{1}{2} i_{2(k+1)} ;$$

$$i_{c1(k+1)}^{\text{I}} = i_{k+1}^{\text{I}} - i_{1(k+1)} ;$$

$$i_{c2(k+1)}^{\text{I}} = i_{k+1}^{\text{I}} - i_{2(k+1)} ;$$

$$u_{c1(k+1)}^{\text{I}} = \frac{1}{2C} (i_{c1(k+1)}^{\text{I}} + i_{c1k}^{\text{III}}) \Delta t + u_{c1k}^{\text{III}} ;$$

$$u_{c2(k+1)}^{\text{I}} = \frac{1}{2C} (i_{c2(k+1)}^{\text{I}} + i_{c2k}^{\text{III}}) \Delta t + u_{c2k}^{\text{III}} ;$$

$$a_{k+1}^{\text{I}} = \frac{1}{2} (u_{c1(k+1)}^{\text{I}} + u_{c1k}^{\text{III}}) \Delta t + a_k^{\text{III}} ;$$

$$\Psi_1^I(k+1) = a_{k+1}^I + b_{k+1} + \Psi_1^0;$$

$$d_{k+1}^I = \frac{1}{2} (u_{c2}^I(k+1) + u_{c2}^{III}k) \Delta t + d_k^{III};$$

$$\Psi_2^I(k+1) = d_{k+1}^I + e_{k+1} + \Psi_2^0;$$

$$i_1^I(k+1) = \text{sh} \Psi_1^I(k+1) - i_H(k+1);$$

$$i_2^I(k+1) = \text{sh} \Psi_2^I(k+1) + i_H(k+1);$$

$$b_{k+1}^I = -\frac{1}{2} r_g (i_1^I(k+1) + i_1^{III}k) \Delta t + b_k^{III};$$

$$e_{k+1}^I = -\frac{1}{2} r_g (i_2^I(k+1) + i_2^{III}k) \Delta t + e_k^{III};$$

$$u_H^I(k+1) = u_{c1}^I(k+1) - u_{c2}^I(k+1) - (r + r_d) i_1^I(k+1) + (r + r_d) i_2^I(k+1);$$

$$i_H^I(k+1) = u_H^I(k+1) / r_H.$$

Уточнение полученных значений осуществляем в процессе итерационной обработки.

Для практической реализации предложенной методики расчета использована двухконтурная феррорезонансная цепь, исследованная на АВМ в работе [2]. На рис. 3 приведены расчетные кривые магнитной индукции одного из

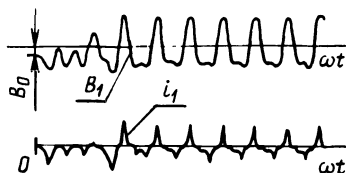


Рис. 3.

сердечников $B_1(\omega t)$ и тока $i_1(\omega t)$ при включении цепи на напряжение $u = 300 \sin(\omega t + 30^\circ)$, В и наличии остаточной индукции в сердечниках $B_0 = \pm 0,8$ Тл. Расчет выполнен с интервалом $\Delta t = 10^0$ при трех итерациях. Расчетные характеристики практически совпадают с результатами осциллографирования в [2].

ЛИТЕРАТУРА

1. Хаяси Т. Нелинейные колебания в физических системах. — М.: Мир, 1968. — 420 с.
2. Горбарук В.Н., Тишечкин А.А. Исследование двухконтурной феррорезонансной схемы на аналоговой вычислительной машине. — Изв. вузов СССР. Энергетика, 1975, № 2, с. 105—109.
3. Саврасов В.Н. К вопросу исследования колебаний в двухконтурной феррорезонансной схеме. — Изв. вузов СССР. Электромеханика, 1963, № 8, с. 899—906.