

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПЕРВИЧНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ (ДАТЧИКИ)

УДК 621.317.7.001.5

Л. А. ЖУК, А. М. ЛУЧУК

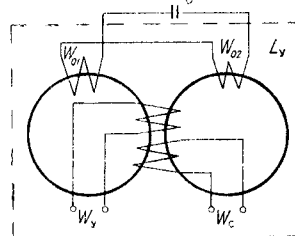
(Киев)

ЛИНЕАРИЗАЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЧАСТОТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С УПРАВЛЯЕМОЙ ИНДУКТИВНОСТЬЮ

Применение управляемых током сигнала i_y индуктивностей L_y , выполненных на сердечниках из ферромагнетика, для построения преобразователей тока в частоту сопряжено с рядом трудностей [1, 2]. В частности, необходимо linearизовать характеристики преобразования $f = \varphi(i_y)$. Linearизацию характеристик $f = \varphi(i_y)$ можно осуществлять, применяя либо отрицательную обратную связь по частоте для каждого преобразователя [1], либо устанавливая общее для нескольких преобразователей функциональное linearизующее устройство.

Для этих целей можно было бы воспользоваться специальной программой и соответствующим вычислительным устройством или машиной, если в системе автоматизации они имеются. Однако все перечисленные способы linearизации ведут к усложнению аппаратуры, и, кроме того, функциональный преобразователь и машинную linearизацию в данном случае применить затруднительно из-за значительного разброса параметров L_y .

Для преобразователей тока в частоту, выполненных на основе L_y с пермалловым сердечником в виде LC-генераторов, возможен и более простой метод linearизации. Принципиальная схема частотнозадающей цепи для указанного случая представлена на рисунке. Здесь управляемая индуктивность выполнена на двух сердечниках с расположением обмоток, как у магнитных усилителей, причем $\omega_{01} = \omega_{02} = \omega_0$ — обмотки, входящие непосредственно в частотнозадающую цепь, с емкостью C образуют параллельный колебательный контур. Обмотки ω_y и ω_c управляющие. Индуктивность L_y может быть выражена через обратимую проницаемость $\mu \Delta(i_y)$ следующим образом:



$$L_y = 2\gamma \omega_0^2 \mu \Delta(i_y), \quad (1)$$

где γ — постоянный коэффициент, зависящий от конструкции сердечни-

ка L_y ; тогда характеристика преобразования $f = \varphi(i_y)$ может быть представлена выражением

$$f = \varphi(i_y) = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L_y C}} = \frac{1}{2\pi \sqrt{2\gamma \omega_0^2 C \mu \Delta(i_y)}}. \quad (2)$$

Предположим, что обмотки w_y и w_c обтекает ток управления i_y и вспомогательный ток смещения i_c так, что магнитные поля $H(i_y)$ и $H(i_c)$, создаваемые этими токами, совпадают по направлению. Тогда, если применить импульсное воздействие для устранения неоднозначности $f = \varphi(i_y)$, рабочая точка будет находиться на предельной петле гистерезиса [1, 2]. Область, в которую таким образом попадает рабочая точка при намагничении магнитного материала, описывается так называемыми процессами вращения [3]. Намагниченность j в области действия процессов вращения выражается зависимостью [4]

$$j = j_s \left(1 - \frac{a_1}{H} - \frac{a_2}{H^2} - \frac{a_3}{H^3} - \dots \right) + j_n, \quad (3)$$

где j_s — намагниченность насыщения; j_n — намагниченность парапроцесса; a_1, a_2, a_3, \dots — постоянные, величины которых, как можно судить по [5], убывают с увеличением индекса и в ряде работ определены теоретически по данным об энергии анизотропии и энергии упругих напряжений; выражение справедливо для $H > H_0$, где H_0 — некоторая постоянная величина.

Тогда функция $B = B(H)$ в рассматриваемом случае определяется соотношением

$$B = H + 4\pi j = H + 4\pi j_s \left(1 - \frac{a_1}{H} - \frac{a_2}{H^2} - \frac{a_3}{H^3} - \dots \right) + 4\pi j_n. \quad (4)$$

Учитывая то, что амплитуда переменной составляющей магнитного поля [частоты $f = \varphi(i_y)$] достаточно мала, значение проницаемости $\mu \Delta(i_y)$ запишем в виде

$$\mu \Delta(i_y) = \frac{\Delta B}{\Delta H} = \frac{dB}{dH} = 1 + 4\pi j_s \left(\frac{a_1}{H^2} + \frac{2a_2}{H^3} + \frac{3a_3}{H^4} + \dots \right). \quad (5)$$

Если в качестве сердечника L_y применен пермаллой, то выражение (5) с достаточной степенью точности может быть переписано так ($\mu \Delta \gg 1$):

$$\mu \Delta(i_y) = 4\pi j_s \left(\frac{a_1}{H^2} + \frac{2a_2}{H^3} + \frac{3a_3}{H^4} + \dots \right). \quad (6)$$

В свою очередь, зависимость (6) легко приводится к виду

$$\mu \Delta(i_y) = 4\pi j_s \left\{ \frac{a_1}{[H_0 + a_0(w_y i_y + w_c i_c)]^2} + \frac{2a_2}{[H_0 + a_0(w_y i_y + w_c i_c)]^3} + \dots \right\}, \quad (7)$$

где a_0 — постоянный коэффициент в выражении для определения напряженности магнитного поля, вызываемой токами i_y и i_c : $H_{y,c} = a_0(w_y i_y + w_c i_c)$.

Учитывая то, что для ферромагнитных материалов после отжига a_2 значительно уменьшается [3], а также выбрав $w_c i_c$ достаточно большой величины, действием членов более высокого порядка в управлении (7) можно пренебречь, что дает

$$\mu \Delta = \frac{4\pi j_s a_1}{[H_0 + a_0(w_y i_y + w_c i_c)]^2}. \quad (8)$$

Подставляя (8) в (2), получим функцию преобразования $f = \varphi(i_y)$:

$$f = \frac{1}{4\pi \omega_0 \sqrt{2\pi \gamma j_s a_1 C}} [H_0 + a_0 (\omega_y i_y + \omega_c i_c)]. \quad (9)$$

Следовательно, $\varphi(i_y)$ может быть представлена выражением

$$f = f_0 + \alpha i_y, \quad (10)$$

где характеристика преобразования $f = \varphi(i_y)$ приближается к линейной. Степень ее нелинейности аналитически определить трудно главным образом из-за неопределенности значений коэффициентов a_1, a_2, a_3, \dots . Поэтому выбирать величину i_c и производить оценку нелинейности следует по данным эксперимента.

При разработке способа построения многоканальных измерительных устройств на основе L_y [1, 2] наиболее тщательно были исследованы сердечники из пермаллоя 79-НМ. В частности, экспериментальная проверка преобразователей с такими сердечниками показала, что для диапазона изменения частоты $F = \frac{1}{3} f_0$ нелинейность характеристики преобразования не превышала 0,2%. При этом минимальная величина тока смещения i_c выбиралась из условия

$$\frac{2 \omega_c i_c}{\pi (D_1 + D_2)} \geq 0,4 a \cdot \text{вт/см}, \quad (11)$$

где D_1 и D_2 — соответственно внешний и внутренний диаметры сердечников L_y .

Получение линейной зависимости $f = \varphi(i_y)$ путем ввода по ω_c тока смещения i_c сопряжено с дополнительной составляющей приведенной погрешности преобразования тока в частоту:

$$\delta = \frac{\Delta i_c}{i_c} \frac{\omega_c i_c}{\omega_y i_y}, \quad (12)$$

где $\frac{\Delta i_c}{i_c}$ — относительная нестабильность тока смещения. Снижения требований к стабильности i_c наиболее удобно достигнуть установкой опорного генератора, так чтобы в качестве выходной использовалась разностная частота $F = f - f_0$, где f_0 — частота опорного преобразователя. В этом случае погрешность от нестабильности i_c имеет величину

$$\delta_0 = \frac{\alpha - \alpha_0}{\alpha} \frac{\Delta i_c}{i_c} \frac{\omega_c i_c}{\omega_y i_y}, \quad (13)$$

где α_0 — коэффициент преобразования опорного преобразователя.

Следовательно, относительное уменьшение погрешности преобразования в этом случае по сравнению с аналогичной погрешностью одиночного преобразователя составит

$$\frac{\delta_0}{\delta} = \frac{\alpha - \alpha_0}{\alpha}. \quad (14)$$

Таким образом, погрешность, вызванная нестабильностью тока смещения i_c , определяется величиной разброса значений коэффициентов преобразования отдельных образцов преобразователей и даже при разбросе $\pm 10\%$ от среднего уменьшается на порядок.

Описанный способ получения линейности и уменьшения погрешностей наиболее эффективен при построении многоканальных измерительных устройств [1, 2], поскольку позволяет использовать один источник смещения, к стабильности которого высоких требований не предъявляется, и один на все устройство опорный преобразователь, не отличающийся от измерительных. Это позволяет существенно сократить расход аппаратуры на один канал и, следовательно, повысить надежность системы.

Приведенное теоретическое доказательство линейности характеристик $f = \varphi(i_y)$ преобразователей тока в частоту, выполненных на LC-генераторе, основано на общих свойствах ферромагнетиков, и результаты, полученные в [1, 2] для частного случая, позволяют надеяться, что на основе специальных магнитных материалов станет возможным разрабатывать весьма простые, достаточно высокого класса точности измерительные устройства.

Учитывая переход от уравнения (7) к (8) и далее к (9), можно утверждать, что нелинейность $f = \varphi(i_y)$ уменьшается с увеличением отношения коэффициентов $\frac{a_1}{a_2}$. Этот факт может оказаться полезным разработчикам соответствующих магнитных материалов, поскольку коэффициенты a_1 и a_2 определяются структурой материала, которая, в свою очередь, зависит от технологии его изготовления.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. М. Лучук, Л. А. Жук. Принципы построения устройств преобразования сигналов низкого уровня в цифровые коды.— Труды Международной конференции по многомерным и дискретным системам автоматического управления. Секция В. Прага, 1965.
2. Л. А. Жук, А. М. Лучук. О возможностях построения частотных преобразователей на базе управляемой индуктивности.— VII Всесоюзная конференция по автоматическому контролю и методам электрических измерений. Тезисы. Новосибирск, 1965.
3. Р. Бозорт. Ферромагнетизм. М., Изд-во иностр. лит., 1956.
4. К. М. Поливанов. Ферромагнетики. М., Госэнергоиздат, 1957.
5. С. В. Вонсовский. Современное учение о магнетизме. М., Гостехиздат, 1952.

Поступила в редакцию
14 февраля 1967 г.