

УДК 621.317.39

**СИНХРОДИННЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ СИГНАЛА ДАТЧИКА
МЕХАНИЗМА КОНТРОЛЯ ТЕКСТИЛЬНОГО ПРОДУКТА**

Е.Ф. РАЗУМОВА, А.К. РАСТОРГУЕВ

(Ивановская государственная текстильная академия)

В системах автоматического контроля текстильного продукта с учетом его свойств применяются датчики слабой энергии взаимодействия с продуктом [1]. Необходимыми свойствами обладают полевые (емкостные) датчики [2], что позволяет использовать их в системах автоматического контроля на всех переходах текстильного производства. При этом для уменьшения области взаимодействия с продуктом (например, тканью) датчики проектируются с возможно малыми размерами рабочих электродов. Уменьшение площади электродов приводит к уменьшению выходного сигнала датчика [2]. С целью получения необходимого уровня полезного сигнала измерительная система с датчиком подключается к источнику напряжения повышенной частоты [3]. Для управления исполнительным механизмом системы контроля высокочастотный сигнал датчика должен быть усилен до необходимого уровня и преобразован в однополярный сигнал управления. Таким образом, обобщенная структура преобразователя сигнала (ПС) может быть представлена на схеме, изображенной на рис. 1 и состоящей: усилитель высокой частоты 1, детектор 2 и фильтр нижних частот 3.

Для обеспечения работы детектора в линейном режиме напряжение, подаваемое на его вход, должно быть не менее одного вольта. При напряжении сигнала датчика

$U_c = 0,5 \dots 1,0$ мВ усиление высокочастотного усилителя должно быть порядка $K_0 = 1000 \dots 2000$.

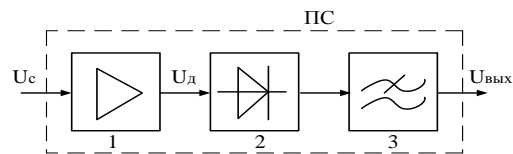


Рис. 1

Коэффициент устойчивого усиления каскада усилителя при коэффициенте устойчивости $K_y = 0,876$ определяется выражением:

$$\hat{E}_{0\text{офнб}} = 6,3 \sqrt{\frac{Y_{21y}}{f_{0\text{max}} C_{12y}}}, \quad (1)$$

где Y_{21y} , мА/В; $f_{0\text{max}}$, МГц; C_{12y} , пФ. У транзистора КТ315А $Y_{21y} = 25$ мСм, $C_{12y} = 3,5$ пФ. При $f_{0\text{max}} = 2$ МГц по (1) находим $K_{0\text{уст}} = 11,9$. В этом случае для получения необходимого усиления усилитель должен состоять из трех резонансных каскадов, что существенно усложняет конструкцию, наладку и настройку преобразователя сигнала.

Значительно упростить конструкцию устройства можно путем использования в качестве преобразователя синхродина, который при одном активном элементе (рис.2) имеет усиление $10^3 \dots 10^4$.

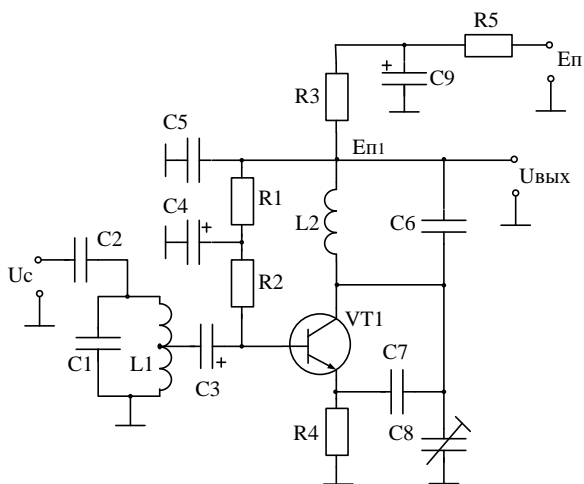


Рис. 2

Синхродин по схеме рис. 2 осуществляет преобразование частоты, генерирование колебаний, усиление и фильтрацию сигнала. Функцию преобразователя частоты выполняет транзистор VT1, включенный по схеме с общим эмиттером и нагруженный цепью R3C5. В схеме гетеродина транзистор VT1 включен с общей базой, частота колебаний определяется параметром контура L2C6C8. Самовозбуждение гетеродина обеспечивается положительной обратной связью через конденсатор C7.

Гетеродин синхронизируется прямым захватом на второй гармонике, так как ток коллектора транзистора содержит составляющую с частотой сигнала. Таким образом, в синхродине реализуется и функция ФАПЧ.

Коллекторный и эмиттерный переходы транзистора выполняют функции ключевых элементов синхронного детектора, выходное напряжение которого выделяется на резисторе R4. Относительно него транзистор является усилителем постоянного тока и сигнала моделирующей частоты. Фильтр нижних частот образует внутреннее сопротивление транзистора в рабочем режиме и конденсатор C5.

Для определения основных параметров синхродина допустим, что напряжение сигнала и гетеродина соответственно равны:

$$U_c(t) = U_{\text{нм}}(t) \cos \omega_c t, \quad (2)$$

$$U_{\text{а}}(t) = U_{\text{ам}}(t) \cos \omega_{\text{а}} t.$$

Тогда в результате нелинейного преобразования в выходной цепи активного элемента формируется ток:

$$i = S_0 U_c(t) \cos \omega_c t + \frac{1}{2} K_S U_{\text{ам}} U_c(t) \cos(\omega_{\text{а}} - \omega_c)t + \frac{1}{2} K_S U_{\text{а}} U_c(t) \cos(\omega_{\text{а}} + \omega_c)t. \quad (3)$$

Здесь S_0 – постоянная составляющая крутизны АЭ; K_S – чувствительность крутизны АЭ к изменению амплитуды $U_{\text{ам}}$, в мА/В².

В случае захвата сигналом колебаний гетеродина:

$$\omega_{\text{а}} = \omega_{\text{н}} \quad (4)$$

и выражение (3) принимает вид:

$$i = S_0 U_c(t) \cos \omega_c t + \frac{1}{2} K_S U_{\text{ам}} U_c(t) + \frac{1}{2} K_S U_{\text{а}} U_c(t) \cos 2\omega_{\text{н}} t. \quad (5)$$

Фильтр нижних частот подавляет высокочастотные составляющие с частотами $\omega_{\text{н}}$ и $2\omega_{\text{н}}$. В результате с учетом (2) получаем

$$i(t) = \frac{1}{2} K_S U_{\text{ам}} U_{\text{нм}}(t) \cos \omega_{\text{н}} t. \quad (6)$$

При равенстве фаз сигнала и гетеродина величина тока достигает максимального значения, а амплитуда суммарного напряжения колебаний U_c и $U_{\text{г}}$ при $U_{\text{нм}} \ll U_{\text{ам}}$ равна:

$$U_{m\Sigma} = \sqrt{U_{\dot{n}m}^2 + U_{\dot{a}m}^2} \approx U_{\dot{a}m}. \quad (7)$$

Коэффициент усиления синхродина:

$$\hat{E}_{\dot{n}i} = \frac{U_{m\Sigma}}{U_{\dot{n}m}} \approx \frac{U_{\dot{a}m}}{U_{\dot{n}m}} \gg 1. \quad (8)$$

Амплитуда колебаний гетеродина зависит от коэффициента использования напряжения питания $E_{п1}$ в критическом режиме [4]:

$$\xi_{\dot{E}D} = 0,5 + 0,5 \sqrt{1 - \frac{8D_{1m\dot{a}o}}{\alpha_1(\theta)S_{\dot{E}D}\dot{A}_{11}^2}}, \quad (9)$$

где $D_{1m\dot{a}o}$ – колебательная мощность гетеродина в максимальном режиме; $\alpha_1(\theta)$ – коэффициент Берга; $S_{\dot{E}D}$ – крутизна линии критического режима; θ – угол отсечки тока; $E_{п1}$ – напряжение питания (рис.2).

С учетом (9) амплитуда 1-й гармоники колебаний гетеродина:

$$U_{\dot{a}1m} = \xi_{\dot{E}D}\dot{A}_{11}, \quad (10)$$

При этом амплитуда 1-й гармоники коллекторного тока и его постоянная составляющая соответственно равны:

$$I_{\dot{e}m1} = \frac{2D_{1m\dot{a}o}}{U_{\dot{a}1m}}; \quad I_{\dot{e}o} = \frac{\alpha_0(\theta)}{\alpha_1(\theta)} I_{\dot{e}m1}. \quad (11)$$

Поддержание равенства (4) достигается следующим образом. В случае отклонения частоты гетеродина изменяется резонансное сопротивление контура и колебательная мощность P_1 . В результате в соответствии с выражениями (9), (10) и (11) изменяется ток коллектора и напряжение на коллекторе $U_{кз}$. Изменение напряжения $U_{кз}$ вызывает изменение динамической емкости коллекторного перехода $C_{к,дин}$ транзистора (рис. 3 – вольтфарадная характеристика транзистора КТ315).

Так, при уменьшении частоты гетеродина выходная мощность P_1 уменьшается, что приводит к уменьшению тока коллек-

тора и падению напряжения на резисторе R_3 и, следовательно, к увеличению напряжения на коллекторном переходе $U_{кз}$. Это вызывает уменьшение емкости $C_{к,дин}$ (рис. 3) и увеличение частоты до прежнего уровня, так как система ФАПЧ является астатической по отношению к изменению частоты. В результате равенство (4) восстанавливается.

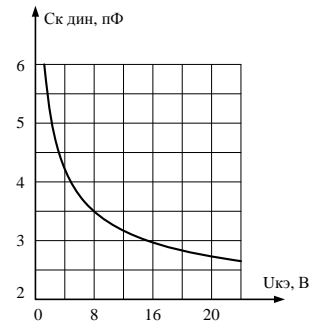


Рис. 3

Переходная характеристика системы ФАПЧ синхродина при начальном возмущении по частоте, равном Δf_i , определяется выражением [5]:

$$\Delta f(t) = \Delta f_i \dot{a}^{-4\hat{E}_\delta t}, \quad (12)$$

где

$$\hat{E}_\delta = 4U_{\dot{a}2m}\hat{E}_{\dot{o}i\delta}S_\delta \quad (13)$$

– коэффициент передачи всей разомкнутой системы по частоте.

Усиление сигналов синхродинного детектора осуществляется транзистором VT1 по схеме с ОБ:

$$\hat{E}_{\dot{o}i\delta} = \frac{Y_{21\dot{y}}R_i}{1 + (Y_{11\dot{y}} + Y_{21\dot{y}})R_y} \cong \frac{R_i}{R_y} = \frac{R_3}{R_4}. \quad (14)$$

Чувствительность управляющего элемента системы ФАПЧ синхродина (транзистора VT1) находится с учетом вольтамперной характеристики транзистора (рис. 3) по формуле [5]:

$$S_\delta = 0,5 \frac{f_0}{C_{cx}} \frac{\Delta C_{\dot{e},\dot{a}i}}{\Delta U_{\dot{e}y}}, \text{ МГц/В.} \quad (15)$$

Здесь f_0 – частота сигнала датчика, МГц; $C_{сх}$ – емкость схемы контура гетеродина, пФ.

Время переходного процесса в синхродине до получения допустимого отклонения $\Delta f(t) = \Delta f_{\text{аит}}$ от заданной частоты (см. формулу (12)):

$$t_i = \frac{1}{4K_\delta} \ln \frac{\Delta f_i}{\Delta f_{\text{аит}}}. \quad (16)$$

Работа синхродина как усилителя сигнала датчика механизма контроля текстильного продукта возможна в пределах полосы удержания системы ФАПЧ, равной [5]:

$$\ddot{I}_{\text{оа}} = 2S_{\text{оа}} \hat{E}_{\text{оа}} S_{\text{о}}, \quad (17)$$

где $S_{\text{оа}}$ – крутизна рабочего участка фазового детектора синхродина, равная (0,1...0,5) В/рад.

Максимальная величина первоначальной расстройки (например, в момент включения устройства), при которой обеспечивается подстраивающее действие системы ФАПЧ синхродина, определяется полосой схватывания [6]:

$$\ddot{I}_{\text{н\text{о}а}} = (1,3...1,7) \sqrt{\frac{\ddot{I}_{\text{оа}}}{\dot{O}_{\text{оф}\times}}}, \quad (18)$$

где $\dot{O}_{\text{оф}\times}$ – постоянная времени фильтра нижних частот, образованного емкостью конденсатора $C5$ и внутренним сопротивлением транзистора в рабочем режиме.

Общее усиление синхродина зависит от уровня сигнала синхродинного детектора, определяемого соотношением (15), и коэффициента усиления преобразователя сигнала:

$$\hat{E}_{\text{ID}} = Y_{21\text{yID}} R_3, \quad (19)$$

где $Y_{21\text{yID}}$ – крутизна проходной характеристики транзистора в режиме преобразования; R_3 – сопротивление нагрузки.

На основании (14) и (19) находим выражение, определяющее общий коэффициент усиления синхродина:

$$\hat{E}_{\text{н\text{а}}} = Y_{21\text{yID}} \frac{R_3^2}{R_4}. \quad (20)$$

Для оценки усиления синхродина по схеме рис. 2 примем $Y_{21\text{yID}} = 15$ мСм; $R_3 = 5,1$ кОм; $R_4 = 0,1$ кОм. Подставив значения параметров в (20), находим $\hat{E}_{\text{н\text{а}}} = 3901,5$.

Значительное усиление, развиваемое синхродинным каскадом, позволяет создавать простые высокочувствительные системы преобразования сигнала датчиков различных механизмов контроля продукта при его обработке на текстильных машинах.

ВЫВОДЫ

Определены основные аналитические соотношения, определяющие методику расчета синхродинного преобразователя сигнала датчиков слабой энергии, входящих в состав механизмов оперативного контроля текстильного продукта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Робототехнические схемы в текстильной и легкой промышленности /В.А. Климов, В.Н. Гончаренко, А.А. Ганулич и др. – М.: Легпромбытиздат, 1991.
2. Разумова Е.Ф., Распоргуев А.К.// Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2008, №4.
3. Разумова Е.Ф., Распоргуев А.К.// Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2008, №3.
4. Судаков Ю.И. Амплитудная модуляция и автомодуляция транзисторных генераторов. – М.: Энергия, 1969.
5. Распоргуев А.К. Линейные системы автоматического слежения за частотой колебаний (расчет, экспериментальное исследование, задачи). – Иваново: ИГТА, 2006.
6. Крохин В.В. Элементы радиоприемных устройств сверхвысоких частот. – М.: Советское радио, 1964.

Рекомендована кафедрой автоматизации и радиоэлектроники. Поступила 10.02.09.