

АНАЛИЗ СТАБИЛЬНОСТИ РЕГЕНЕРАТИВНОЙ СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ ВИХРЕТОКОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

А. В. ЕМЕЛЬЯНЕНКО, В. К. ЖУКОВ, И. Г. ЛЕЩЕНКО

(Представлена научно-техническим семинаром кафедры информационно-измерительной техники)

В [1, 2] показано, что компенсация активных потерь вихретокового преобразователя, включенного в параллельный колебательный контур, с помощью отрицательного сопротивления позволяет значительно повысить чувствительность и помехозащищенность электромагнитных дефектоскопов.

Однако использование принципа регенерации наряду с увеличением чувствительности к полезным параметрам ведет к значительному росту влияния различных дестабилизирующих факторов.

При использовании в качестве отрицательного сопротивления схемного элемента на основе транзисторного усилителя с положительной

обратной связью (ПОС) можно считать, что основное дестабилизирующее действие будут оказывать параметры активного четырехполюсника: коэффициент передачи K , входное $R_{вх}$ и выходное R_i сопротивления.

Для оценки влияния этих параметров на эквивалентные параметры регенерируемой схемы проведем анализ ее стабильности.

Влияние вариации параметров элементов схемы (рис. 1) будем оценивать

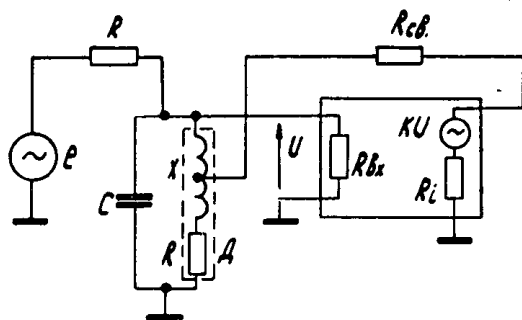


Рис. 1. Схема включения вихретокового преобразователя в регенерированный колебательный контур

по относительной нестабильности коэффициента передачи схемы α , который запишется в виде

$$\alpha = \frac{\rho |a|}{\sqrt{R_{\text{эКВ}}^2 + (X_{\text{эКВ}} - X_c)^2}} = \frac{U}{e}, \quad (1)$$

где ρ — характеристическое сопротивление;

$R_{\text{эКВ}} = r + R_{\text{вН}}$ — эквивалентное активное сопротивление обмотки преобразователя;

$X_{\text{эКВ}} = X + X_{\text{вН}}$ — эквивалентное реактивное сопротивление обмотки преобразователя.

Величина вносимого активного сопротивления $R_{\text{вн}}$ определяется выражением

$$R_{\text{вн}} = \frac{X^2 P (p - \kappa)}{R_{\text{св}} + R_i} + \frac{X^2}{R_{\text{вх}}}. \quad (2)$$

Первое слагаемое характеризует действие ПОС, второе — шунтирующее действие входного сопротивления усилителя.

Вносимое реактивное сопротивление

$$X_{\text{вн}} = - \frac{X^2 p \kappa}{R_{\text{св}} + R_i} \cdot \text{tg } \varphi_{\kappa} \quad (3)$$

определяется величиной фазового сдвига между выходным и входным напряжениями четырехполюсника.

В выражениях (2, 3) через p обозначен коэффициент включения активного элемента. $R_{\text{св}}$ — балластное сопротивление цепи ПОС.

Абсолютную нестабильность $\Delta \alpha$ найдем как сумму частных дифференциалов по $R_{\text{экв}}$ и $X_{\text{экв}}$:

$$\Delta \alpha = \frac{\partial \alpha}{\partial R_{\text{экв}}} dR_{\text{экв}} + \frac{\partial \alpha}{\partial X_{\text{экв}}} dX_{\text{экв}}. \quad (4)$$

В этом выражении первое слагаемое характеризует стабильность высоты резонансной кривой (амплитудная нестабильность), второе — стабильность собственной частоты колебательного контура, определяемой фазовым сдвигом (фазовая нестабильность).

Относительная нестабильность коэффициента передачи после дифференцирования выражения (4)

$$\frac{\Delta \alpha}{\alpha} = \frac{R_{\text{экв}}}{R_{\text{экв}}^2 + \Delta X_{\text{экв}}^2} dR_{\text{экв}} + \frac{\Delta X_{\text{экв}}}{R_{\text{экв}}^2 + \Delta X_{\text{экв}}^2} dX_{\text{экв}}, \quad (5)$$

где $\Delta X_{\text{экв}} = X_{\text{экв}} - X_c$,

$X_c = \frac{1}{\omega C}$ — сопротивление конденсатора C .

Нестабильность резонансного измерительного контура целесообразно оценивать вблизи его основного рабочего режима — вблизи настройки в резонанс, т. е. когда $R_{\text{экв}} \gg \Delta X_{\text{экв}}$.

Тогда

$$\frac{\Delta \alpha}{\alpha} = \frac{1}{R_{\text{экв}}} dR_{\text{экв}} + \frac{\Delta X_{\text{экв}}}{R_{\text{экв}}^2} dX_{\text{экв}}. \quad (6)$$

Для определения нестабильности коэффициента передачи найдем се частные производные, зависящие от κ , $R_{\text{вх}}$, R_i :

$$\left. \begin{aligned} d_{(\kappa)} R_{\text{экв}} &= \frac{\partial R_{\text{экв}}}{\partial \kappa} d\kappa = R_{\text{вн}} \frac{\kappa}{p - \kappa} \frac{d\kappa}{\kappa}; \\ d_{(\kappa)} X_{\text{экв}} &= \frac{\partial X_{\text{экв}}}{\partial \kappa} d\kappa = X_{\text{вн}} \frac{d\kappa}{\kappa}; \\ d_{(R_i)} R_{\text{экв}} &= \frac{\partial R_{\text{экв}}}{\partial R_i} dR_i = \frac{R_{\text{вн}}}{1 + R_{\text{св}}/R_i} \frac{dR_i}{R_i}; \\ d_{(R_i)} X_{\text{экв}} &= \frac{\partial X_{\text{экв}}}{\partial R_i} dR_i = \frac{X_{\text{вн}}}{1 + R_{\text{св}}/R_i} \frac{dR_i}{R_i}; \\ d_{(R_{\text{вх}})} R_{\text{экв}} &= \frac{\partial R_{\text{экв}}}{\partial R_{\text{вх}}} dR_{\text{вх}} = \frac{X^2}{R_{\text{вх}}}. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Подставляя эти производные в (6) и переходя к конечным приращениям, получим

$$\frac{\Delta \alpha}{\alpha} = \left[\frac{R_{вн}}{R_{экв}} \frac{\kappa}{(p - \kappa)} + \frac{X_{вн}}{R_{экв}} \frac{\Delta X_{экв}}{R_{экв}} \right] \frac{\Delta \kappa}{\kappa} + \left[\frac{R_{вн}}{R_{экв}} + \frac{X_{вн}}{R_{экв}} \frac{\Delta X_{экв}}{R_{экв}} \right] \frac{1}{1 + \frac{R_{св}}{R_i}} \frac{\Delta R_i}{R_i} + \frac{1}{1 + r R_{вх}/X^2} \frac{\Delta R_{вх}}{R_{вх}}. \quad (8)$$

Введем обозначения: $Q = \frac{X}{r}$ — добротность преобразователя;

$$\frac{Q_{экв}}{Q} \approx \frac{r}{R_{экв}} = \xi_p \text{ — коэффициент регенерации.}$$

$$\delta = \frac{\Delta X_{экв}}{X} \text{ — начальная расстройка.}$$

С учетом этих обозначений, производя некоторые преобразования, получим выражение для суммарной относительной нестабильности $\frac{\Delta \alpha}{\alpha}$, обусловленной нестабильностью основных характеристик транзисторного усилителя (K , R_i , $R_{вх}$);

$$\frac{\Delta \alpha}{\alpha} = \frac{\xi_p - 1}{p - \kappa} \cdot \kappa \frac{\Delta \kappa}{\kappa} + \frac{\xi_p - 1}{1 + \gamma_1} \frac{\Delta R_i}{R_i} + \frac{\xi_p Q}{\xi_p Q + \gamma_2} \frac{\Delta R_{вх}}{R_{вх}} + Q^2 \xi_p^2 \delta (m - 1) \frac{\Delta \kappa}{\kappa} + Q^2 \xi_p^2 \delta \frac{m - 1}{1 + \gamma_1} \frac{\Delta R_i}{R_i}; \quad (9)$$

где $\gamma_1 = \frac{R_{св}}{R_i}$; $\gamma_2 = \frac{R_{вх}}{X}$ — коэффициенты, характеризующие согласование соответственно по выходу усилителя с измерительным контуром; коэффициент m характеризует отношение $\frac{X_{экв}}{X}$.

Первые три слагаемых полученного выражения характеризуют амплитудную нестабильность схемы, причем первое слагаемое вносит наибольшую долю в изменение передаточного коэффициента, поскольку параметр K является наименее стабильным. Единственным условием обеспечения малости этой компоненты при заданном коэффициенте регенерации ξ_p является малость $\Delta \kappa / \kappa$, что может быть достигнуто жесткой стабилизацией коэффициента усиления.

Для уменьшения второго и третьего слагаемых необходимо обеспечить наилучшие условия согласования, когда $\gamma_1 \gg 1$ и $\gamma_2 \gg Q_{экв}$. Это требует использования усилителя с большим входным $R_{вх}$ и малым выходным R_i сопротивлениями. Когда же имеется достаточный запас усиления усилителя, величину γ_1 можно значительно повысить путем включения в цепь ПОС стабильного высокоомного балластного сопротивления, а γ_2 — выбором малого значения величины r .

Два последних слагаемых выражения (9) представляют собой фазовую нестабильность схемы. Эти составляющие будут тем меньше, чем меньше будет вносимое в обмотку преобразователя реактивное сопротивление. Условие максимальной стабильности для этих компонент совпадает с условием $m = 1$. Чтобы в максимальной степени уменьшить влияние этих компонент на суммарную нестабильность коэффициента передачи, необходимо, во-первых, обеспечить минимум фазовых сдвигов,

вызываемых как самим усилительным элементом, так и цепями связи, и, во-вторых, (когда это позволяют условия измерения) работать при расстройках контура δ , близких к нулю.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. В. Емельяненко, В. К. Жуков. Повышение чувствительности схем при электромагнитном контроле качества материалов и изделий. «Метрология», № 5, 1972.

2. А. В. Емельяненко, В. К. Жуков, И. Г. Лешенко. Применение вихретокового преобразователя с компенсацией его активных потерь для целей дефектоскопии. Сб. докладов I Межвузовской Всесоюзной конференции по электромагнитным методам контроля качества материалов и изделий, ч. II, МЭИ, 1972.
