

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

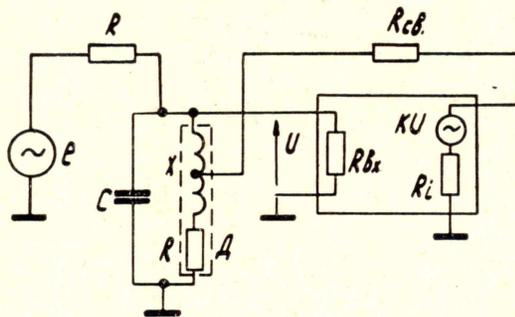


Рис. 1. Схема включения вихретокового преобразователя в регенерированный колебательный контур

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

$$\frac{\Delta \alpha}{\alpha} = \left[\frac{R_{BH}}{R_{ЭKB}} \frac{\kappa}{(p - \kappa)} + \frac{X_{BH}}{R_{ЭKB}} \frac{\Delta X_{ЭKB}}{R_{ЭKB}} \right] \frac{\Delta \kappa}{\kappa} + \left[\frac{R_{BH}}{R_{ЭKB}} + \frac{X_{BH}}{R_{ЭKB}} \frac{\Delta X_{ЭKB}}{R_{ЭKB}} \right] \frac{1}{1 + \frac{R_{CB}}{R_i}} \frac{\Delta R_i}{R_i} + \frac{1}{1 + r R_{BX}/X^2} \frac{\Delta R_{BX}}{R_{BX}}. \quad (8)$$

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

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

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

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

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

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

Первые три слагаемых полученного выражения характеризуют амплитудную неустойчивость 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 $\gamma_2 \gg Q_{ЭKB}$. Это требует использования усилителя с большим входным R_{BX} 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 неустойчивость 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 неустойчивость 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. Лещенко. 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.
