

### Л и т е р а т у р а

1. Куликовский Л.Ф., Конюхов Н.Е., Мелников Ф.И. Трансформаторные функциональные преобразователи с профилированными вторичными контурами. М., "Энергия", 1971.
2. Конюхов Н.Е., Мелников Ф.И. Трансформаторный преобразователь линейных перемещений повышенной точности. Авторское свидетельство № 199718. Бюллетень изобретений № 20, 1968.
3. Новицкий П.В. Основы информационной теории измерительных устройств. М.-Л., "Энергия", 1966

Ю.С. Быховский

#### ОЦЕНКА ДЛИТЕЛЬНОСТИ

#### ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА В ВИХРЕТОКОВОМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕ

В работе [1] предложена методика определения эквивалентных параметров вихрекового преобразователя (ВТП)  $L_2$  и  $R_2$  при питании его токами произвольной формы и при изменении параметров объекта контроля. Для оценки длительности переходного процесса в системе ВТП-объект контроля при изменении питающего тока используются  $\tau_2 = \frac{L_2}{R_2}$  и  $\tau_{02} = \frac{L_{2\text{внз}}}{R_{2\text{внз}}}$  - при изменении параметров объекта контроля ( $L_{2\text{внз}}$  и  $R_{2\text{внз}}$  - эквивалентные вносимые параметры ВТП). Однако приведенный в [1] расчет  $\tau_2$  и  $\tau_{02}$  сделан в предположении, что спектры питающего тока и изменения параметров объекта контроля узкополосные. В случае широкополосных спектров расчеты усложняются в связи с необходимостью вычисления интегралов, которые не выражаются через элементарные функции.

В настоящей работе приведен расчет  $L_{2\text{внз}}$ ,  $R_{2\text{внз}}$  и  $\tau_{02}$  для наиболее употребительных форм тока питания ВТП. Чтобы вычислить  $\tau_2$ , необходимо определить  $L_2 = L_0 - L_{2\text{внз}}$  и  $R_2 = R_0 + R_{2\text{внз}}$ , где  $L_0$  и  $R_0$  - индуктивность и сопротивление ВТП без влияния объекта контроля.

Расчеты эквивалентных параметров  $L_{2\text{внз}}$  и  $R_{2\text{внз}}$  приведены для случая питания ВТП импульсами тока  $i = I \cos 2\pi f_0 t$  при  $-\frac{T}{2} < t < \frac{T}{2}$  различной длительности  $T$  и частоты заполнения  $f_0 = \frac{1}{T_0}$  для трех значений электропроводности объекта контроля:  $\sigma_1 = 50 \cdot 10^6 \frac{1}{\text{Ом}\cdot\text{м}}$ ;  $\sigma_2 = 5 \cdot 10^6 \frac{1}{\text{Ом}\cdot\text{м}}$ ;  $\sigma_3 = 0,5 \cdot 10^6 \frac{1}{\text{Ом}\cdot\text{м}}$  при зазорах  $z_1 = 0,15R$  и  $z_2 = 0,075R$  ( $R$  - радиус катушки ВТП). Можно считать, что при  $T \gg T_0$  такой

импульс эквивалентен включению гармонического тока; при  $T < \frac{T_0}{2}$  - однополярному импульсу, а, если  $T$  больше длительности переходного процесса, то ток питания эквивалентен скачку тока.

Значения  $T$  и  $T_0$  охватывают все вышеуказанные случаи. Расчеты приведены для длительности импульсов  $T$  от  $10^{-3}$  до  $10$  с и для длительности периода от  $10^{-6}$  до  $1$  с ( $f_0 = 1\Gamma_4 \div 1M\Gamma_4$ ).

Эквивалентные вносимые параметры рассчитывались путем численного интегрирования выражений:

$$L_{внз} = \frac{\int_0^{\infty} J^2(\omega) L_{вн}(\omega) d\omega}{\int_0^{\infty} J^2(\omega) d\omega}; \quad (1)$$

$$R_{внз} = \frac{\int_0^{\infty} J^2(\omega) R_{вн}(\omega) d\omega}{\int_0^{\infty} J^2(\omega) d\omega}. \quad (2)$$

Для определения вносимой индуктивности  $L_{вн}(\omega)$  и вносимого сопротивления  $R_{вн}(\omega)$  использовались приближенные выражения [2]:

$$L_{вн}(\omega) = \frac{6 \cdot 10^{-7} W^2}{R \mu \sigma} e^{-3/2 \alpha} (4R^2 \omega \mu \sigma - 3\sqrt{2} \sqrt{81 + 16R^4 \omega^2 \mu^2 \sigma^2 - 9}); \quad (3)$$

$$R_{вн}(\omega) = \frac{18 \cdot 10^{-7} W^2}{R \mu \sigma} e^{-3/2 \alpha} (\sqrt{2} \sqrt{81 + 16R^4 \omega^2 \mu^2 \sigma^2 + 9} - 6), \quad (4)$$

где  $W$  - число витков катушки ВП;  $\mu$  - магнитная проницаемость объекта контроля;  $\alpha = \frac{L}{R}$  - относительное расстояние до объекта контроля.

Для вычисления спектральной плотности тока  $J(\omega)$  использовалось прямое преобразование Фурье для косинусоидального радиоимпульса:

$$J(\omega) = \frac{J}{\omega - \omega_0} \sin(\omega - \omega_0) \frac{T}{2} + \frac{J}{\omega + \omega_0} \sin(\omega + \omega_0) \frac{T}{2}, \quad (5)$$

здесь  $\omega_0 = \frac{2\pi}{T_0}$  - частота заполнения;  $\omega$  - текущая частота.

Выражения 1 и 2 вычислены с помощью ЭВМ. Верхний предел ограничивался частотой  $\omega_в = \omega_0 + 3 \frac{2\pi}{T}$ . Такое допущение приводит к ошибке, соизмеримой с ошибкой определения  $L_{вн}(\omega)$  и  $R_{вн}(\omega)$ .

Результаты расчетов эквивалентных вносимых параметров в зависимости от частоты  $f_0$  для объектов с различной электропроводностью приведены на рис.1, а в зависимости от зазора - на рис.2; влияние

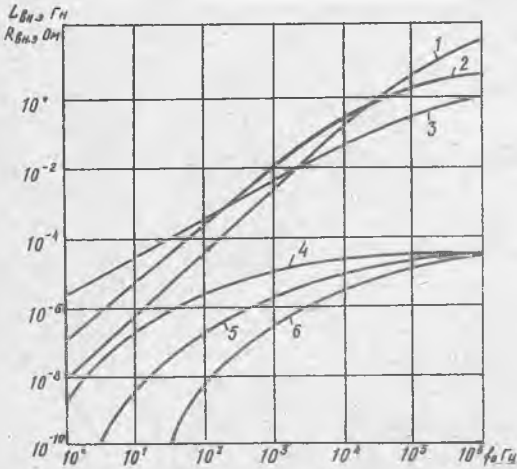


Рис.1. Зависимость эквивалентного сопротивления: 1 -  $\sigma_1 = 0,5 \cdot 10^6$ ; 2 -  $\sigma_2 = 5 \cdot 10^6$ ; 3 -  $\sigma_3 = 5 \cdot 10^6$  и эквивалентной индуктивности 4 -  $\sigma = 50 \cdot 10^6$ ; 5 -  $\sigma = 5 \cdot 10^6$ ; 6 -  $\sigma = 0,5 \cdot 10^6$  для  $\alpha = 0,3$ ,  $T = 10^{-3}$ С

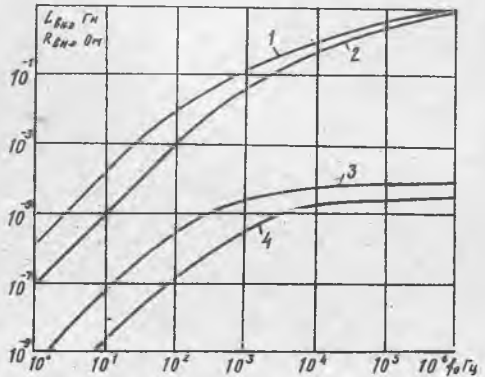


Рис.2. Зависимость эквивалентного сопротивления от частоты: 1 -  $\alpha_1 = 0,15$ ; 2 -  $\alpha_2 = 0,3$  и эквивалентной индуктивности: 3 -  $\alpha = 0,5$ ; 4 -  $\alpha = 0,3$

длительности питающих импульсов показано на рис.3; зависимость величины постоянной времени  $\tau_{0и}$  от частоты приведена на рис.4.

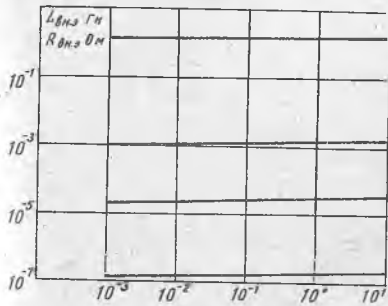
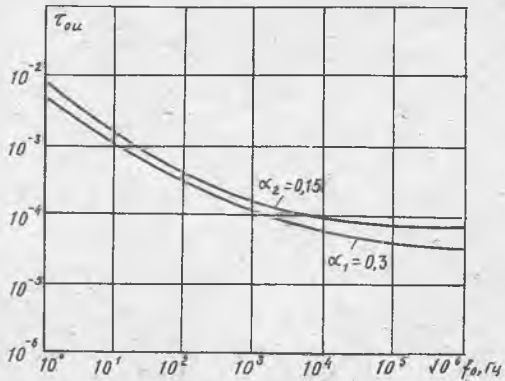


Рис.3. Зависимость эквивалентных вносимых параметров от длительности импульса питающего тока

Рис.4. Зависимость эквивалентной постоянной времени от частоты



На основании проведенного анализа и расчетов можно отметить, что эквивалентные параметры  $L_{ВНЭ}$  и  $R_{ВНЭ}$  зависят не только от параметров объекта контроля  $\mu$  и  $\sigma$ , расстояния до него  $z$ , радиуса катушки ВП  $R$ , но и от параметров питающего тока: длительности и частоты. С увеличением частоты питающего тока  $f_0$  эквивалентные параметры сигнала вначале растут относительно быстро (до  $f_0 = 10^2 + 10^3$  Гц для рассматриваемого ВП), а затем почти не изменяются.

Увеличение длительности импульса питающего тока  $T$  незначительно влияет на величину вносимых параметров. Электропроводность  $\sigma$ , величина зазора  $z$  влияют на  $L_{внз}$  и  $R_{внз}$  так же, как и на  $L_{вн(\omega)}$  и  $R_{вн(\omega)}$ . Поэтому увеличение  $z$  и уменьшение  $\sigma$  приводит к уменьшению  $\tau_{он}$ .

Постоянная времени  $\tau_{он}$ , характеризующая длительность переходного процесса в системе ВП - объект контроля слабо зависит от длительности импульса и сильно - от частоты заполнения. Наблюдается быстрое уменьшение  $\tau_{он}$  с увеличением  $f_0$ .

Полученные результаты показывают возможность оценки длительности переходного процесса и пути изменения его. При контроле перемещений, зазоров и вибраций скорость контроля может быть увеличена за счет повышения частоты питания ВП. При  $f_0 < 10^3$  Гц длительность переходного процесса имеет порядок  $\tau_{он} \sim (10^{-2} + 10^{-3})$  с, при  $f_0 \sim (10^5 + 10^6)$  Гц -  $\tau_{он} \sim (5 \cdot 10^{-4} + 10^{-6})$  с.

Если  $f_0$  изменять нельзя, то в относительно малых пределах можно изменять  $\tau_{он}$  за счет размеров преобразователя  $R$ .

### Л и т е р а т у р а

1. Быховский Ю.С. Динамические погрешности ТВП. - В сб.: Исследования по акустике, электрофизике и радиоэлектронике. Вып. 3 (72). КуАИ, 1975.
2. Соболев В.С., Шкарлет Ю.Н. Накладные и экранные датчики. Новосибирск, "Наука", 1967.

Н.И. Филимонов, Е.А. Муштаков

### О НЕКОТОРЫХ АСПЕКТАХ ПОСТРОЕНИЯ СРАВНИВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА С ПОВЫШЕННОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬЮ

В сравнивающих устройствах (СУ), построенных по схеме усилителя постоянного тока (УПТ) с модуляцией и демодуляцией (МДМ) сигнал на выходе демодулятора представляет собой последовательность импульсов в виде меандра. Если режим работы демодулятора - синхронный с работой модулятора, то выходной сигнал несет информацию как о величине разностного напряжения  $U_0 = U_s - U_x$ , так и о его знаке.

Здесь  $U_x$  - измеряемое напряжение;  $U_s$  - эталонное напряжение.