

ПРОСТАЯ СХЕМА ДЛЯ ИНДИКАЦИИ ФАЗОВОГО СДВИГА 90°

(Представлена научным семинаром АВТФ)

А. И. КРАМНЮК, В. Н. СТУДЕНИКИН

Описываемый индикатор позволяет в широком диапазоне частот регистрировать фазовый сдвиг $\varphi = 90^\circ$. Блок-схема приведена на рис. 1.

Испытываемые напряжения \dot{U}_1, \dot{U}_2 через согласующие идентичные усилители (в простейшем случае катодные повторители) поступают

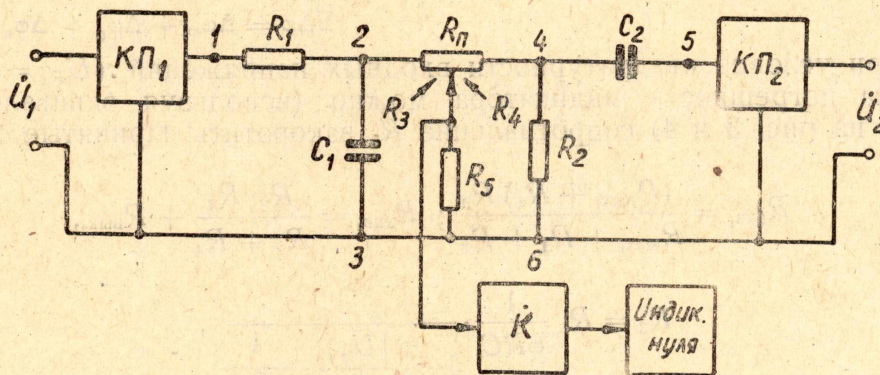


Рис. 1. Блок-схема индикатора

на измерительную схему. К имеющемуся фазовому сдвигу между напряжениями \dot{U}_1 и \dot{U}_2 добавляется еще угол $\gamma = 90^\circ$. Для этого напряжение \dot{U}_1 подается на цепочку R_1C_1 , напряжение \dot{U}_2 соответственно на цепочку R_2C_2 .

Вектор напряжения \dot{U}_{23} на емкости C_1 отстает от вектора \dot{U}_1 на угол γ_1 (рис. 2), вектор напряжения \dot{U}_{46} опережает на угол γ_2 . При соблюдении условия $C_1 = C_2$ и $R_1 = R_2$ $\gamma = \gamma_1 + \gamma_2 = 90^\circ = \text{const}$, причем это условие справедливо для любой частоты. Если угол $\varphi = 90^\circ$, то между векторами $\dot{U}_{23}, \dot{U}_{46}$ фазовый сдвиг равен 180° , но амплитуды этих напряжений в общем случае не равны между собой. На потенциометре $R_п$, включенном между этими напряжениями, всегда можно найти точку, где потенциал относительно земли равен 0, т. е. $U_{R_5} = 0$, что будет свидетельствовать о наличии квадратурности напряжений \dot{U}_1 и \dot{U}_2 . Если же невозможно найти такое положение, при котором $U_{\text{вых}} = U_{R_5} = 0$, то угол отличается от 90° . Данное уст-

ройство может служить только в качестве индикатора, но дать количественную оценку отклонения от 90° нельзя, так как величина напряжения U_{R_5} является сложной функцией частоты, соотношения амплитуд и величины фазового сдвига.

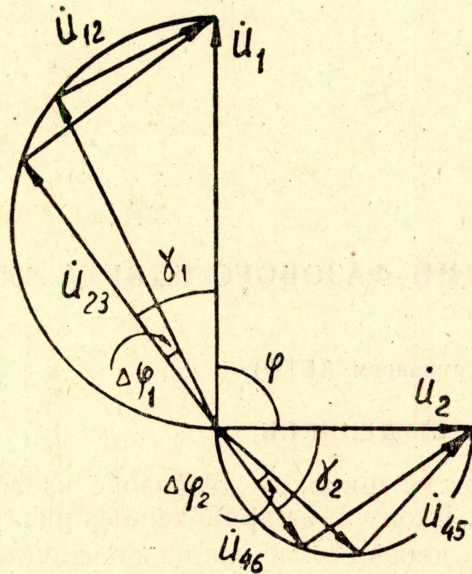


Рис. 2.

Для повышения точности индикации напряжение U_{R_5} усиливается и подается на нуль-индикатор.

Основными факторами, определяющими погрешность индикации, являются:

1. Разброс параметров цепочек $R_{1,2}C_{1,2}$ и шунтирующее действие $R_{\Pi} - \Delta\varphi_{\varphi}$.

2. Разрешающая способность нуль-индикатора $-\Delta\varphi_0$.

3. Неидентичность фазовых характеристик катодных повторителей $-\Delta\varphi_{\kappa}$.

Так как значения $\Delta\varphi_{\varphi}$, $\Delta\varphi_0$, $\Delta\varphi_{\kappa}$ имеют небольшую величину, взаимным влиянием между ними можно пренебречь и результирующая погрешность равна сумме:

$$\Sigma\Delta\varphi = \Delta\varphi_{\varphi} + \Delta\varphi_0 + \Delta\varphi_{\kappa}.$$

При условии квадратурности входных напряжений ($U_{R_5} = 0$) для анализа погрешности индикатора можно (используя эквивалентные схемы на рис. 3 и 4) сопротивление R_5 закортить. Принятые обозначения:

$$R_{\text{экв1}} = \frac{(R_{\text{вых1}} + R_1) R_3}{R_{\text{вых1}} + R_1 + R_3}; \quad R_{\text{экв2}} = \frac{R_2 \cdot R_4}{R_2 + R_4} + R_{\text{вых2}},$$

где

$$R_3 = R_{\Pi} \frac{1}{\omega RC} \cdot \frac{1}{1 + \frac{|\dot{U}_1|}{|\dot{U}_2|} \cdot \frac{1}{\omega RC}},$$

$$R_4 = R_{\Pi} \frac{|\dot{U}_1|}{|\dot{U}_2|} \cdot \frac{1}{1 + \frac{|\dot{U}_1|}{|\dot{U}_2|} \cdot \frac{1}{\omega RC}}.$$

Дополнительный угол $\gamma = |\gamma_1| + |\gamma_2| = \text{arctg } \omega_{1\text{экв}} C_1 + \text{arctg } \frac{1}{\omega R_{2\text{экв}} C_2}$.

Для уменьшения влияния выходного сопротивления согласующих усилителей и шунтирующего действия R_{Π} , необходимо выполнение неравенств:

$$R_{\text{вых1,2}} \ll R_{1,2} \ll R_{\Pi}.$$

В простейшем случае в качестве усилителя используется катодный повторитель, его $R_{\text{вых}} = 100 \text{ ом}$ при крутизне $S = 10 \text{ ма/в}$.

Если схема симметричная, то достаточным условием выполнения вышеприведенного неравенства является $R_1 = R_2 = 3 \text{ ком}$ и $R_{\Pi} = 1 \text{ мом}$. Сопротивление R_{Π} выбирать большим не следует для того, чтобы избежать влияния распределенных емкостей в области верхних частот. При выборе величин C_1 и C_2 необходимо выполнение неравенств-

ва $C_{1,2} \ll C$ пар с тем, чтобы величина последних меньше сказывалась на точности измерительной схемы. Так, при $C_1 = C_2 = 1000$ пф и коэффициенте перекрытия диапазона $Q = 3$, верхняя граничная частота определится следующим образом:

$$f_B = V\bar{Q} \frac{1}{2\pi RC}$$

при $Q = 3$, $R_1 = R_2 = 3$ ком, $C = 1000$ пф, $f_B = 100$ кГц.

Если принять, что амплитуды входных напряжений отличаются не более, чем в два раза, разброс $R_{\text{вых}}$ равен $\pm 10\%$ и допуски на сопротивления и емкости измерительной схемы не превышают $\pm 0,3\%$,

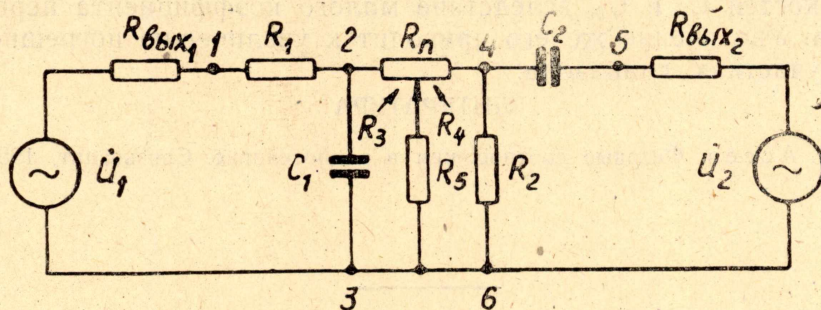


Рис. 3. Эквивалентная схема индикатора

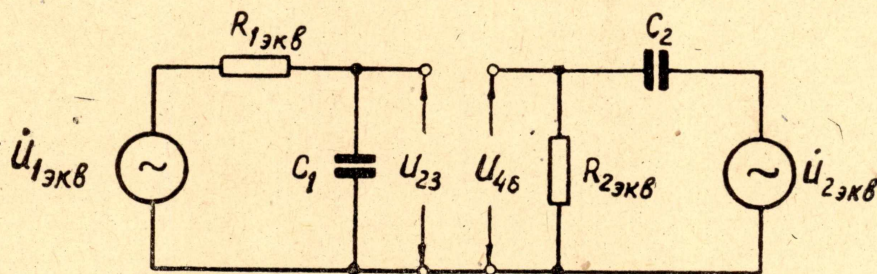


Рис. 4. Приведенная эквивалентная схема

тогда максимальная погрешность индикации, обусловленная перечисленными причинами, составит $\Delta\varphi_\varphi = 1^\circ 10'$. При равенстве амплитуд входных напряжений $\Delta\varphi_\varphi = 50'$.

При расчете погрешности неидентичностью фазовых характеристик катодных повторителей можно пренебречь.

Погрешность, вносимую нуль-индикатором, можно оценить из выражения:

$$\Delta\varphi_0 = \text{arctg} \frac{2\Delta U_0}{KU_{\min}}$$

где ΔU_0 — разрешающая способность нуль-индикатора;

K — коэффициент усиления усилителя;

U_{\min} — минимальное значение входного напряжения.

При $\Delta U_0 = 0,05$ в $K = 200$ $U_{\min} = 1$ в имеем $\Delta\varphi_0 = 20'$.

Максимальная суммарная погрешность, таким образом, составит

$$\Sigma\Delta\varphi = 1^\circ 30'$$

Выводы

1. Приведенная схема индикатора позволяет с достаточно высокой точностью оценить квадратурность двух напряжений.
2. Для расширения частотного диапазона и повышения точности индикации желательно применять элементы измерительной схемы с допуском не более 0,1%.
3. Усилители на входе устройства должны иметь идентичные фазовые характеристики и малое выходное сопротивление.
4. Для повышения точности индикации желательно равенство входных амплитуд.
5. Недостатком данного типа индикатора является необходимость смены емкостей C_1 и C_2 , вследствие малого коэффициента перекрытия диапазона. Увеличение же его приводит к увеличению погрешности на крайних участках диапазона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. П. Асеев. Фазовые соотношения в радиотехнике. Связьиздат, 1951.