

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ФАЗОВЫХ УГЛОВ С НЕПРЕРЫВНОЙ ФОТОРЕГИСТРАЦИЕЙ

Е. И. ФИАЛКО

(Представлено научным семинаром радиотехнического факультета)

Предварительные замечания

Известен ряд способов измерения разностей фаз э. д. с. с использованием двухканального усиления. Для обеспечения высокой точности измерения в некоторых случаях требуется идентичность фазочастотных характеристик каналов. Обеспечение идентичности фазочастотных характеристик усилительных каналов при наличии большого числа каскадов связано со значительными техническими затруднениями. Поэтому определенный интерес представляют способы измерения фазовых углов, не связанные с жесткими требованиями к усилительным каналам с точки зрения идентичности фазочастотных характеристик.

В ряде случаев необходимо непрерывно фиксировать результаты измерений. Это удобно осуществить, фотографируя экран индикатора на непрерывно движущуюся пленку. При этом желательно иметь линейную (диаметральную) развертку и отметку угла в виде точки (пленка движется перпендикулярно линии развертки).

Ниже приводится краткое изложение простого метода измерения разностей фаз двух сигналов, основанного на применении двухканального усиления.

Основные соотношения

Блок-схема фазометра, реализующего указанный метод, изображена на рис. 1.

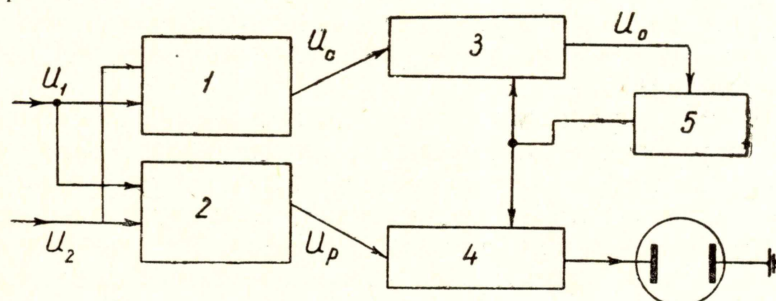


Рис. 1. Упрощенная блок-схема фазометра. 1 — „суммарное“ устройство, 2 — „разностное“ устройство, 3, 4 — основные усилительные каналы, 5 — каскад автоматической регулировки усиления.

Исследуемые напряжения

$$u_1 = U \cdot \sin \omega t \quad \text{и} \quad u_2 = U \cdot \sin (\omega t + \varphi)$$

подаются на соответствующие входные устройства, в которых выделяются суммарное и разностное напряжения

$$u_{свх} = u_1 + u_2 = 2 \cdot U \cdot \sin \left(\omega t + \frac{\varphi}{2} \right) \cdot \cos \frac{\varphi}{2},$$

$$u_{рвх} = u_1 - u_2 = 2 \cdot U \cdot \cos \left(\omega t + \frac{\varphi}{2} \right) \cdot \sin \frac{\varphi}{2},$$

усиливаемые в различных каналах приемника.

Выходное суммарное напряжение подается на каскад автоматической регулировки усиления (АРУ), управляющий усилением как суммарного, так и разностного каналов. Так как амплитуда напряжения на выходе суммарного канала поддерживается постоянной

$$U_{свых} = U_{свх} \cdot k_c = U_o,$$

то коэффициент усиления суммарного канала обратно пропорционален амплитуде входного суммарного напряжения $k_c = \frac{U_o}{U_{свх}}$.

Если усилительные каналы приемника идентичны с точки зрения амплитудных и амплитудночастотных искажений, т. е. $k_c = k_p$, то амплитуда напряжения на выходе разностного канала будет равна

$$U_{рвых} = U_{рвх} \cdot k_p = \frac{U_{рвх}}{U_{свх}} \cdot U_o.$$

Нетрудно видеть, что

$$\frac{U_{рвх}}{U_{свх}} = \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}.$$

Таким образом,

$$U_{рвых} = U_o \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} \quad \text{или} \quad \varphi = 2 \cdot \operatorname{arctg} \left(\frac{U_{рвых}}{U_o} \right),$$

то есть напряжение на выходе приемника пропорционально тангенсу половины измеряемого фазового угла. Это напряжение подается на пикдетектор индикатора.

Для измерения угла может быть использована схема сравнения. Постоянное напряжение, снимаемое с пикдетектора, запирает по управляющей сетке лампу блока отметки угла. На управляющую сетку этой лампы подается также пилообразное напряжение (от генератора пилообразного напряжения), которое является напряжением развертки и прикладывается к горизонтально-отклоняющим пластинам катодно-лучевой трубки.

Когда напряжение „пилы“ скомпенсирует напряжение, снимаемое с пикдетектора, в аноде лампы выделится импульс, подвергающийся далее дифференцированию и усилению. Узкий положительный им-

пульс подается на модулирующий электрод трубки. На линии развертки появится яркая точка, расстояние которой от начала развертки будет соответствовать величине измеряемого угла φ .

На модулирующий электрод трубки периодически или постоянно подаются также масштабные отметки, облегчающие считывание угла φ . Для этой цели служит генератор масштабных отметок.

Для определения знака угла суммарные и разностные напряжения вначале дополнительно усиливаются, затем поворачиваются в „разные стороны“ на 45° . Таким образом, в зависимости от „знака угла“ разностное напряжение будет либо в фазе, либо в противофазе с суммарным. Затем суммарное и разностное напряжения складываются и вычитаются. Результирующая сумма будет больше или меньше, чем результирующая разность, в зависимости от знака фазового угла. Подавая оба эти напряжения на вход балансной схемы, получим на ее выходе напряжение, величина и знак которого соответствуют величине и знаку фазового угла. Это выходное напряжение может быть использовано для управления реле, которое включает лампочку, дающую отметку за перфорацией киноплёнки (например, при положительном угле отметка подается, при отрицательном — отсутствует).

Инструментальные погрешности

При амплитудной и фазовой разбалансировках каналов приемника и индикатора могут возникать ошибки в определении фазовых углов. Как показывает несложный анализ, инструментальная погрешность, создаваемая входной системой и приемником, будет равна

$$\Delta\varphi = \sqrt{\Delta\varphi_{\text{вх}}^2 + \Delta\xi^2 + \Delta\psi^2},$$

где $\Delta\varphi_{\text{вх}}$ — различие фазовых искажений во входной части (до усилительных каналов);

$$\Delta\xi = \frac{k_c}{k_p} - 1,$$

k_c и k_p — коэффициенты усиления каналов приемника; $\Delta\psi$ — коэффициент, оценивающий отклонение АРУ от идеально-эффективной АРУ:

$$\Delta\psi = \frac{U_{\text{с вых max}}}{U_0} - 1.$$

Таким образом, амплитудная разбалансировка усилительных каналов, фазовая разбалансировка входной части и неэффективность АРУ существенно влияют на инструментальную погрешность. Амплитудная разбалансировка (малая) входной цепи и фазовая разбалансировка (любая) усилительных каналов несущественны. Влияние цепей индикатора на инструментальную погрешность здесь не рассматривается.

Описанный способ измерения фазовых углов был предложен автором в 1950 году.

Выводы

1. Достоинством предложенного метода измерения фазовых углов являются: допустимость значительной фазовой разбалансировки основных усилительных каналов; возможность непрерывной фоторегистра-

ции измеряемой разности фаз; простота схемы в случае, когда требуется определять лишь модуль разности фаз.

2. Недостатки метода: наличие „мертвых зон“, связанных с неэффективностью работы блока определения знака угла; понижение точности измерения при понижении отношения сигнал/шум.
