

Изобретение относится к области измерительной техники и может найти применение для измерения группового времени запаздывания (ГВЗ) четырехполюсников.

Известно устройство измерения групповой задержки [Авт.св. СССР № 375621], содержащее два перестраиваемых генератора, два сумматора, два амплитудных детектора, исследуемый четырехполюсник эталонный четырехполюсник, фазовращатель и фазометр.

Недостатками указанного устройства являются нестабильность сформированного испытательного сигнала в диапазоне низких и инфранизких частот, дополнительная погрешность измерения за счет неидентичности фазовых характеристик каналов, а также низкое быстродействие.

Наиболее близким по технической сущности к изобретению является устройство для измерения группового времени запаздывания [Авт.св. СССР № 736041], содержащее генератор качающейся частоты, делитель частоты, амплитудный модулятор, исследуемый четырехполюсник, два амплитудных детектора, преобразователь "фаза - длительность импульса" и измеритель временных интервалов, причем выход генератора качающейся частоты подключен к первому входу амплитудного модулятора и входу делителя частоты, выход делителя частоты подключен ко второму входу амплитудного модулятора, выход амплитудного модулятора подключен ко входам исследуемого четырехполюсника и второго амплитудного детектора, выход исследуемого четырехполюсника подключен ко входу первого амплитудного детектора, выходы первого и второго амплитудного детектора подключены ко входам преобразователя "фаза - длительность импульса", к выходу которого подключен измеритель временных интервалов.

Недостатками указанного устройства являются узкополосность, уменьшение разрешающей способности при увеличении частоты, а также дополнительная погрешность измерения за счет неидентичности фазовых характеристик каналов и нарушения симметрии группового сигнала.

В основу изобретения поставлена задача усовершенствования компенсационного измерителя группового времени запаздывания четырехполюсников, в котором за счет формирования двухчастотного испытательного сигнала, введения цепи компенсации внесенного фазового сдвига и периодической коммутации исследуемого четырехполюсника, а также автоматизации управления измерителем временных интервалов, обеспечивается исключение дополнительной погрешности измерения за счет неидентичности фазовых характеристик каналов, нарушения симметрии группового сигнала и нестабильности частоты модуляции, и за счет этого повышаются точность и разрешающая способность измерения группового времени запаздывания четырехполюсников в диапазоне частот.

Поставленная задача решается тем, что в компенсационном измерителе группового времени запаздывания четырехполюсников, содержащем последовательно соединенные генератор качающейся частоты и амплитудный модулятор, первый амплитудный детектор, выход которого соединен с первым входом преобразователя "фаза и длительность импульса", второй амплитудный детектор и измеритель временных интервалов, согласно изобретению введены первый и второй электродвигатели, высокостабильный источник питания, электронный ключ, формирователь коммутирующих импульсов, индукционный фазовращатель, фильтр низких частот, усилитель постоянного тока и преобразователь "угол поворота - код", причем роторная обмотка амплитудного модулятора соединена с первым электродвигателем, подключенным к высокостабильному источнику питания, первый выход амплитудного модулятора подключен ко входу исследуемого четырехполюсника и первому входу электронного ключа, а второй выход - ко входу второго амплитудного детектора, выходы исследуемого четырехполюсника и электронного ключа соединены со входом первого амплитудного детектора, выход второго амплитудного детектора соединен со входами формирователя коммутирующих импульсов и индукционного фазовращателя, выход индукционного фазовращателя соединен со вторым входом преобразователя "фаза - длительность импульса", выход которого через фильтр низких частот и усилитель постоянного тока соединен со вторым электродвигателем, второй электродвигатель соединен с роторной обмоткой индукционного фазовращателя и преобразователем "угол поворота - код", выход которого подключен к первому входу измерителя временных интервалов, выход формирователя коммутирующих импульсов соединен с управляющими входами электронного ключа и измерителя временных интервалов.

На чертеже представлена структурная схема компенсационного измерителя группового времени запаздывания четырехполюсников.

Компенсационный измеритель группового времени запаздывания четырехполюсников содержит генератор качающейся частоты 1, последовательно соединенный с амплитудным модулятором 2, выполненный на первом синусно-косинусном вращающемся трансформаторе (СКВТ) с роторной 3 и статорными косинусной 4 и синусной 5 обмотками, первый электродвигатель 6, механически соединенный с роторной обмоткой 3 амплитудного модулятора 2 и подключенный к высокостабильному источнику питания 7, исследуемый четырехполюсник 8, вход которого подключен к первому выходу амплитудного модулятора 2, электронный ключ 9, первый вход которого подключен ко входу исследуемого четырехполюсника 8, первый амплитудный детектор 10, ко входу которого подключены выходы исследуемого четырехполюсника 8 и электронного ключа 9, второй амплитудный детектор 11, вход которого подключен ко второму выходу амплитудного модулятора 2, формирователь коммутирующих импульсов 12, вход которого подключен к выходу второго амплитудного детектора 11, индукционный фазовращатель 13, выполненный на цепи 90°-ного фазового сдвига 14 и втором СКВТ 15 с роторной 16 и статорными косинусной 17 и синусной 18 обмотками, причем вход косинусной 17 обмотки статора подключен к выходу второго амплитудного детектора 11 непосредственно, а вход синусной 18 обмотки статора - через цепь 90°-ного фазового сдвига 14, преобразователь "фаза - длительность импульса" 19, к первому входу которого подключен выход первого амплитудного детектора 10, а ко второму входу - выход индукционного фазовращателя 13 (роторная 16 обмотка второго СКВТ 15) Фильтр низких частот 20, вход которого подключен к выходу преобразователя "фаза - длительность импульса" 19, а выход - через усилитель постоянного тока 21 подключен ко входу второго электродвигателя 22, выход второго электродвигателя 22 механически соединен с роторной 16 обмоткой второго СКВТ 15, преобразователь "угол поворота - код" 23, вход которого механически соединен с

выходом второго электродвигателя 22, измеритель временных интервалов 24, первый вход которого подключен к выходу преобразователя "угол поворота - код" 23, а управляющий вход соединен с выходом формирователя коммутирующих импульсов 12 и управляющим входом электронного ключа 9.

Устройство работает следующим образом.

Напряжение с выхода генератора качающейся частоты 1, которое можно записать в виде $U_1(t) = U_m \cos \omega t$, подается на ротор 3 амплитудного модулятора 2. В результате вращения ротора 3 с угловой скоростью Ω , которая с высокой точностью определяется напряжением высокостабильного источника питания 7, взаимные индуктивности между статорными и роторной обмотками изменяются во времени и равны $M_1(t) = M \cos \Omega t$ и $M_2(t) = M \sin \Omega t$, так как статорные обмотки 4 и 5 амплитудного модулятора 2, который выполнен на первом СКВТ, сдвинуты в пространстве на 90° . Ток в роторной обмотке 3 при питании ее от источника напряжения

$$i_3 = \frac{U_m}{\omega L} \sin \omega t.$$

будет равен Так как $\Omega \ll \omega$ то можно пренебречь неравенством амплитуд спектральных составляющих и ЭДС, наведенные в статорных обмотках 4 и 5 (на первом и втором выходах амплитудного модулятора 2), будут равны

$$U_4(t) = \frac{d[M_1(t) i_3(t)]}{dt} = \\ = A \{ \cos[(\omega - \Omega)t + \varphi_{1k}] + \\ + \cos[(\omega + \Omega)t + \varphi_{2k}] \},$$

$$U_5(t) = \frac{d[M_2(t) i_3(t)]}{dt} = \\ = A \{ -\sin[(\omega - \Omega)t + \varphi_{1c}] + \\ + \sin[(\omega + \Omega)t + \varphi_{2c}] \},$$

где L - индуктивность роторной 3 обмотки амплитудного модулятора 2;

$A = MU_m / (2L)$ - амплитуда спектральных составляющих;

$\varphi_{1k}, \varphi_{2k}, \varphi_{1c}, \varphi_{2c}$ - начальные фазы ЭДС гармоник косинусной 4 и синусной 5 обмоток амплитудного модулятора 2 соответственно

Напряжение в опорном канале (на выходе второго амплитудного детектора 11, работающего в квадратичном режиме), имеет вид

$$U_{11}(t) = 0,5 A^2 K_{11} C_{12} R_{H2} \cos[2\Omega t + \Delta\varphi_c + \Delta\varphi_{11}] = U_{m11} \cos[2\Omega t + \Delta\varphi_c + \Delta\varphi_{11}],$$

где R_{H2} - сопротивление нагрузки второго амплитудного детектора 11;

a_2 - коэффициент аппроксимации нелинейной характеристики диода амплитудного детектора;

K_{11} - коэффициент передачи второго амплитудного детектора 11;

$\Delta\varphi_{11} = \varphi_{11}(\omega + \Omega) - \varphi_{11}(\omega - \Omega)$ - фазовый сдвиг, вносимый вторым амплитудным детектором 11;

$\Delta\varphi_c = \Delta\varphi_{2c} - \varphi_{1c}$.

Далее напряжение $U_{11}(t)$ поступает на вход индукционного фазовращателя 13, причем на косинусную обмотку статора 17 второго СКВТ 15 непосредственно, а на синусную обмотку статора 18 - через цепь 90° -ного фазового сдвига 14. Напряжение на выходе индукционного фазовращателя 13 имеет вид

$$U_{13}(t) = K_{13} U_{m11} \cos[2\Omega t + \Delta\varphi_c + \Delta\varphi_{11} + \alpha],$$

где α - угловое положение ротора 16 второго СКВТ 15;

K_{13} - коэффициент передачи индукционного фазовращателя 13.

Напряжение $U_4(t)$ подается на первый вход электронного ключа 9 и на вход исследуемого четырехполюсника 8. При разомкнутом электронном ключе 9 напряжение $U_4(t)$ проходит через исследуемый четырехполюсник 8, а при замкнутом электронном ключе 9 исследуемый четырехполюсник 8 отключается и напряжение $U_4(t)$ проходит непосредственно на первый амплитудный детектор 10.

Напряжение $U_{11}(t)$ подается на формирователь коммутирующих импульсов 12 и преобразуется в прямоугольные импульсы, длительность полупериода которых равна

$$0,5 T_k = 0,25 T_\Omega N = \frac{\pi N}{2\Omega},$$

где N - коэффициент деления делителя частоты в формирователе коммутирующих импульсов 12,

Коммутирующие импульсы, длительность которых $0,5 T_k > T_\Omega$, подаются на управляющие входы электронного ключа 9 и измерителя временных интервалов 24.

В первый полупериод коммутирующих импульсов (электронный ключ 9 разомкнут) напряжение на выходе первого амплитудного детектора 10 будет равно

$$U_{10}^1(t) = \\ = U_{m10}^1 \cos[2\Omega t + \Delta\varphi_k + \Delta\varphi_8 + \Delta\varphi_{10}],$$

где $U_{m10}^1 = 0,5 A^2 K_8 K_{10} C_{12} R_{H1}$;

K_8 - коэффициент передачи исследуемого четырехполюсника 8;

K_{10} - коэффициент передачи первого амплитудного детектора 10;

$\Delta\varphi_8 = \varphi_8(\omega + \Omega) - \varphi_8(\omega - \Omega)$ - фазовый сдвиг, вносимый исследуемым четырехполюсником 8;

$\Delta\varphi_{10} = \varphi_{10}(\omega + \Omega) - \varphi_{10}(\omega - \Omega)$ - фазовый сдвиг, вносимый первым амплитудным

$\Delta\varphi_k = \varphi_{2k} - \varphi_{1k}$; детектором 10;

R_{H11} - сопротивление нагрузки первого амплитудного детектора 10.

Во второй полупериод коммутирующих импульсов (электронный ключ 9 замкнут) напряжение на выходе первого амплитудного детектора. 10 будет равно

$$U''_{10}(t) = U''_{m10} \cos[2\Omega t + \Delta\varphi_k + \Delta\varphi_{10}],$$

$$\text{где } U''_{m10} = 0,5A^2 K_{10} C_{12} R_{H1}.$$

первый полупериод коммутирующих импульсов напряжения $U_{10}(t)$ и $U_{13}(t)$ поступают на входы преобразователя "фаза-длительность импульса" 19. Выходное напряжение преобразователя "фаза - длительность импульса" 19 поступает на вход фильтра низких частот 20, на выходе которого получим

$$U'_{20}(t) = U'_{m20} \cos[\Delta\varphi_8 + \Delta\varphi_{10} + \Delta\varphi_k + \Delta\varphi_{19} + \Delta\varphi_{20} - \Delta\varphi_c - \Delta\varphi_{11} - \alpha],$$

$$\text{где } U'_{m20} = 0,5K_{13}K_{19}K_{20}U_{m11}U''_{m10};$$

K_{19} и K_{20} - соответственно коэффициенты передачи преобразователя "фаза - длительность импульса" 19 и фильтра низких частот 20; $\Delta\varphi_{19}$ и $\Delta\varphi_{20}$ - соответственно фазовые сдвиги, вносимые преобразователем "фаза - длительность импульса" 19 и фильтром низких частот 20.

Далее напряжение $U'_{20}(t)$ через усилитель постоянного тока 21 поступает на второй электродвигатель 22, который поворачивает ротор 16 второго СКВТ 15 на угол

$$\alpha_1 = -\frac{\pi}{2} + \Delta\varphi_8 + \Delta\varphi_{10} + \Delta\varphi_k + \Delta\varphi_{19} + \Delta\varphi_{20} - \Delta\varphi_c - \Delta\varphi_{11}.$$

Угол α_1 преобразуется в цифровой код в преобразователе "угол поворота - код" 23 и поступает на первый вход измерителя временных интервалов 24 который измеряет время, равное

$$t_{измI} = \frac{\alpha_1}{2\Omega} = \frac{-\frac{\pi}{2} + \Delta\varphi_8 + \Delta\varphi_{10} + \Delta\varphi_k + \Delta\varphi_{19} + \Delta\varphi_{20} - \Delta\varphi_c - \Delta\varphi_{11}}{2\Omega}$$

Во второй полупериод коммутирующих импульсов напряжения $U''_{10}(t)$ и $U_{13}(t)$ сравниваются по фазе в преобразователе "фаза - длительность импульса" 19 и на выходе фильтра низких частот 20 появляется напряжение

$$U'_{20}(t) = U'_{m20} \cos[\Delta\varphi_{10} + \Delta\varphi_k + \Delta\varphi_{19} + \Delta\varphi_{20} - \Delta\varphi_c - \Delta\varphi_{11} - \alpha],$$

$$\text{где } U'_{m20} = 0,5 K_{13}K_{19}K_{20}U_{m11}U''_{m10}.$$

Далее напряжение (Пос.) через усилитель постоянного тока 21 поступает на второй электродвигатель 22, которые поворачивает ротор 16 второго СКВТ 15 на угол

$$\alpha_2 = -\frac{\pi}{2} + \Delta\varphi_{10} + \Delta\varphi_k + \Delta\varphi_{19} + \Delta\varphi_{20} - \Delta\varphi_c - \Delta\varphi_{11}.$$

Угол α_2 преобразуется в цифровой код в преобразователе "угол поворота - код" 23 и поступает на первый вход измерителя временных интервалов 24, который измеряет время, равное

$$t_{измII} = \frac{\alpha_2}{2\Omega} = \frac{-\frac{\pi}{2} + \Delta\varphi_{10} + \Delta\varphi_k + \Delta\varphi_{19} + \Delta\varphi_{20} - \Delta\varphi_c - \Delta\varphi_{11}}{2\Omega}.$$

В измерителе временных интервалов 24 сигналом управления с формирователя коммутирующих импульсов 12, поступающим на управляющий вход измерителя временных интервалов 24, устанавливается режим вычитания результатов измерения, при этом результат измерения за период коммутирующих импульсов равен ГВЗ исследуемого четырехполюсника 8

$$t_{rp}(\omega) = t_{измI} - t_{измII} = \frac{\Delta\varphi_8(\omega)}{2\Omega} = \frac{\varphi_8(\omega + \Omega) - \varphi_8(\omega - \Omega)}{2\Omega}.$$

Таким образом, в компенсационном измерителе ГВЗ четырехполюсников происходит формирование двухчастотных испытательных сигналов в каналах с малой и стабильной разностной частотой $2\Omega \ll \omega$ что увеличивает разрешающую способность и точность измерения ГВЗ. Кроме этого, исключаются фазовые набеги, возникающие в амплитудном модуляторе 2, в амплитудных детекторах 10 и 11, в преобразователе "фаза - длительность импульса" 19 и фильтре низких частот 20 при измерении ГВЗ в диапазоне частот, а также дополнительная погрешность за счет нарушения симметрии группового сигнала и нестабильности частоты модуляции Ω . Устройство может быть применено в диапазоне низким и инфранизких частот (частота вращения ротора 3 первого СКВТ 2 может составлять несколько Гц), где формирование двухчастотных сигналов электронным путем технически существенно затруднено.

