

Изобретение относится к технике измерений на сверхвысоких частотах и может быть использовано для измерения влажности листовых, рулонных и других материалов.

Известен сверхвысокочастотный влагомер [1], содержащий управляемый по частоте СВЧ генератор, низкочастотный управляющий генератор, развязывающий аттенуатор, регулятор мощности, блок выделения отраженного сигнала, два СВЧ детектора, дифференциальный усилитель, излучающую и приемную антенны, полупрозрачный отражатель, логарифмический преобразователь, усредняющий фильтр, регулируемый видеоусилитель, усилитель огибающей, синхронный детектор, индикаторный прибор и источник опорного напряжения.

Данный сверхвысокочастотный влагомер имеет сравнительно низкую точность измерения влажности потому, что при ступенчатом изменении частоты, а значит и генерируемой мощности СВЧ генератора, регулятор мощности работает в импульсном режиме, что вызывает появление дополнительной динамической погрешности при стабилизации мощности, а значит увеличивает погрешность измерения влажности. Дополнительные погрешности измерения влажности возникают также из-за амплитудно-частотных искажений в приемном тракте вследствие конечного времени перестройки СВЧ генератора.

Известен также сверхвысокочастотный влагомер [2], содержащий НЧ-парафазный импульсный генератор, первый и второй манипулируемые СВЧ генераторы, регуляторы мощности, два двойных волноводных тройника, два СВЧ детектора, две согласованные нагрузки, фильтры нижних частот, дифференциальные усилители, усилители огибающей видеосигналов, синхронные детекторы, регулируемый аттенуатор, передающую и приемную антенны, логарифмический преобразователь, регулируемый видеоусилитель, индикатор, источник опорного напряжения, два волноводных тройника.

Влагомер имеет тот недостаток, что в нем используется видеоусилитель, регулировка коэффициента передачи которого осуществляется с использованием нелинейных элементов, что не позволяет достичь долговременной стабильности и точности регулировочной характеристики, что снижает точность измерения влажности, так как не позволяет в полной мере реализовать потенциальные возможности алгоритма коррекции погрешностей. СВЧ тракт влагомера, содержащий два двойных волноводных тройника, два простых волноводных тройника, регулируемый аттенуатор, согласованные нагрузки, весьма громоздок, сложен в изготовлении и настройке, в производственных условиях не обеспечивает стабильность своих характеристик.

В основу настоящего изобретения положена задача создать сверхвысокочастотный влагомер, обеспечивающий повышение точности измерения влажности при одновременном упрощении конструкции влагомера.

Поставленная задача решается тем, что в СВЧ влагомере, содержащем последовательно соединенные первый СВЧ генератор и первый управляемый аттенуатор, последовательно соединенные второй СВЧ генератор и второй управляемый аттенуатор, причем выход первого управляемого аттенуатора подсоединен к Е-входу, а выход второго управляемого аттенуатора - к Н-входу двойного волноводного тройника, первый выход которого через последовательно соединенные первый СВЧ детектор, первый дифференциальный усилитель, к второму входу которого подключен первый выход регулируемого источника опорного напряжения, а первый фильтр нижних частот подсоединен к управляющему входу первого управляемого аттенуатора, а второй выход - к передающей антенне, приемную антенну, второй СВЧ детектор, логарифмический преобразователь, усилитель низкой частоты, первый синхронный детектор, управляющие входы которого соединены с управляющими входами второго синхронного детектора и с выходами парафазного генератора, соединенными также с модулирующими входами первого и второго СВЧ генератора, второй дифференциальный усилитель, первый вход которого соединен с вторым выходом регулируемого источника опорного напряжения, второй и третий фильтры нижних частот и индикатор, согласно изобретению, выход второго дифференциального усилителя соединен с входом второго фильтра нижних частот, а второй вход - с выходом первого синхронного детектора, выход третьего фильтра нижних частот соединен с первым входом индикатора, а его вход - с выходом второго синхронного детектора, при этом выход логарифмического преобразователя соединен с вторым дополнительным входом индикатора, а модулирующий вход первого СВЧ генератора соединен с третьим дополнительным входом индикатора, в свою очередь, индикатор содержит последовательно соединенные интегрирующий аналого-цифровой преобразователь и регистр памяти, выход которого подсоединен к коловому входу цифро-аналогового преобразователя, и суммирующий усилитель постоянного тока, первый вход которого является первым входом индикатора, второй вход его соединен с выходом цифроаналогового преобразователя, а выход с управляющим входом цифроаналогового преобразователя и одновременно является информационным выходом индикатора, при этом вход интегрирующего аналого-цифрового преобразователя является вторым дополнительным входом индикатора, а управляющий вход регистра памяти - его третьим дополнительным входом.

Введение в схему влагомера второго дифференциального усилителя, включенного между вторым фильтром нижних частот и первым синхронным детектором, позволяет путем подачи на его второй вход напряжения от источника опорного напряжения регулировать уровень мощности СВЧ колебаний на Н-входе двойного волноводного тройника и тем самым устанавливать в "нуль" влагомера, при этом исключаются из СВЧ тракта влагомера регулируемый аттенуатор, два волноводных тройника и согласованные нагрузки, один двойной волноводный тройник, при условии согласования входов и выходов первого двойного волноводного тройника, что помимо существенного упрощения конструкции влагомера одновременно способствует повышению точности измерения влажности.

Использование в схеме СВЧ влагомера индикатора с цифро-аналоговым делительным устройством, включающим интегрирующий аналого-цифровой преобразователь, цифровой регистр памяти, цифро-аналоговый преобразователь и суммирующий усилитель тока, подключенного основным и дополнительными входами к выходу логарифмического преобразователя, модулирующему входу первого СВЧ генератора и через третий фильтр нижних частот - к выходу второго синхронного детектора, позволяет повысить точность измерения влажности за счет уменьшения погрешности измерения отношения сигналов в делительном устройстве индикатора. Включение третьего фильтра нижних частот обеспечивает также снижение пульсации выпрямленного напряжения на выходе второго синхронного детектора.

На чертеже представлена блок-схема сверхвысокочастотного влагомера.

СВЧ влагомер содержит первый и второй СВЧ генераторы 1 и 2, модулирующие входы которых подключены

к парафазным выходам низкочастотного генератора 3. СВЧ генераторы 1 и 2 через управляемые аттенюаторы 4 и 5 соединены с Е и Н-входами двойного волноводного тройника 6, к второму выходу которого подключена излучающая антенна 7, а к первому выходу - первый СВЧ детектор 8. который своим входом соединен с первым входом первого дифференциального усилителя 9 и входом усилителя низкой частоты 10. Второй вход дифференциального усилителя 9 соединен с источником опорного напряжения, а выход его соединен с управляющим входом управляемого аттенюатора 4 через первый фильтр нижних частот 11. Выход усилителя низкой частоты 10 соединен с входом первого синхронного детектора 12, выход которого подключен к второму входу второго дифференциального усилителя 13, соединенного первым своим входом с источником опорного напряжения, а выходом - с управляемым аттенюатором 5 через второй фильтр нижних частот 14. Опорное напряжение поступает от источника 15. Контролируемый влажный материал 16 располагается между излучающей 7 и приемной антенной 17, к которой подключен второй СВЧ детектор 18, соединенный с логарифмическим преобразователем 19, к выходу которого последовательно подключены второй усилитель низкой частоты 20, второй синхронный детектор 21 и третий фильтр нижних частот 22. Управляющие входы первого 12 и второго 21 синхронных детекторов соединены с выходами парафазного генератора 3. Выход третьего фильтра нижних частот 22 соединен с первым входом индикатора, выход логарифмического преобразователя 19 соединен со вторым дополнительным входом индикатора, а модулирующий вход первого СВЧ генератора 1 соединен с третьим дополнительным входом индикатора, который включает в себя интегрирующий аналого-цифровой преобразователь 23 с регистром памяти 24, цифроаналоговый преобразователь 25 и суммирующий усилитель тока 26.

СВЧ влагомер работает следующим образом: СВЧ генераторы 1 и 2, работающие поочередно под действием модулирующего напряжения парафазного генератора 3, генерируют СВЧ колебания с длинами волн λ_1 и λ_2 , которые через регулируемые аттенюаторы 4 и 5 поступают на Е и Н-входы двойного волноводного тройника 6, где происходит их суммирование. Часть мощности СВЧ колебаний используется на излучение антенной 7 в виде зондирующего сигнала, а часть - детектируется СВЧ детектором 8, на нагрузке которого выделяется постоянная составляющая детектирования и видеоимпульсы, амплитуда которых пропорциональна мощности СВЧ колебаний, поступающих в Е и Н-входы двойного волноводного тройника 6. Постоянная составляющая усиливается дифференциальным усилителем 9 и через фильтр нижних частот 11 воздействует на управляемый аттенюатор 4 так, чтобы скомпенсировать изменение уровня мощности СВЧ колебаний в Е-входе тройника 6. Изменяя опорное напряжение на втором входе дифференциального усилителя 9, можно регулировать уровень мощности СВЧ колебаний в Е-входе двойного волноводного тройника 6. Огибающая видеоимпульсов, которая усиливается усилителем низкой частоты 10, пропорциональна разности уровней мощности СВЧ колебаний с длинами волн λ_1 и λ_2 , поступающих на Е и Н-входы тройника 6, детектируется синхронным детектором 12, усиливается дифференциальным усилителем 13 и воздействует через фильтр нижних частот 14 на управляемый аттенюатор 5 таким образом, чтобы свести к минимуму различие в уровнях мощности СВЧ колебаний на Е и Н-входах двойного волноводного тройника 6, а значит и на выходе излучающей антенны 7. Изменяя уровень опорного напряжения на первом входе дифференциального усилителя 13, можно вводить разбаланс между каналами волноводного тракта и регулировать "нуль" влагомера. Данная часть СВЧ влагомера представляет двухчастотный источник зондирующего СВЧ сигнала с автоматической стабилизацией уровня излучаемой мощности СВЧ колебаний.

Импульсы СВЧ колебаний с длинами волн λ_1 и λ_2 , прошедшие с затуханием, пропорциональным величине влажности, через контролируемый материал 16, воспринимаются приемной антенной 17, детектируются вторым СВЧ детектором 18 и с выхода логарифмического преобразователя 19 поступают на вход усилителя низкой частоты 20 и первый вход индикатора - вход интегрирующего аналого-цифрового преобразователя 23. Амплитуды видеоимпульсов на выходе логарифмического преобразователя пропорциональны степени затухания СВЧ колебаний с длинами волн λ_1 и λ_2 во влажном материале и равны соответственно U_1 , U_2 . Усилитель низкой частоты 20 усиливает сигнал огибающей видеоимпульсов, амплитуда которого определяется разностью U_1 и U_2 , поэтому сигнал на выходе фильтра нижних частот 22 будет равен:

$$\tilde{U} = K_{20}K_{21}K_{22} (U_2 - U_1),$$

где K_{20} , K_{21} , K_{22} - коэффициенты передачи усилителя низкой частоты 20, синхронного детектора 21, фильтра нижних частот 22 соответственно.

Выходной код интегрирующего аналого-цифрового преобразователя 23 пропорционален среднему значению входного видеосигнала:

$$\tilde{U} = \frac{U_1 + U_2}{2}$$

Выходной код N аналого-цифрового преобразователя 23 запоминается регистром памяти 21 на время преобразования, а перезапись кода осуществляется фронтом импульсного сигнала, поступающего с модулирующего входа СВЧ генератора 1. Цифро-аналоговый преобразователь 25 формирует на своем выходе напряжение, пропорциональное входному коду N и образцовому напряжению $U_{обр}$:

$$U_n = \frac{N}{N_0} U_{обр},$$

где N_0 - разрядность цифроаналогового преобразователя.

На первый вход суммирующего усилителя 26, являющийся одновременно первым входом индикатора, поступает напряжение U , которое преобразуется во входной ток при помощи резистора R_1 , на второй его вход поступает выходное напряжение цифроаналогового преобразователя 25 U_n , которое преобразуется во входной ток при помощи резистора R_2 . Выходное напряжение суммирующего усилителя тока 26, являясь выходным информативным сигналом влагомера, служит образцовым напряжением цифроаналогового преобразователя 25 и определяется следующим выражением:

$$U_{\text{вых.}} = \frac{R_1 U_n}{R_2} =$$

$$= 2 \frac{R_1 K_{20} K_{21} K_{22} (U_2 - U_1)}{R_2 (U_1 + U_2)}.$$

Полученное выражение для выходного сигнала влагомера свидетельствует о том, что данная схема (индикатор) является аналого-цифровым делительным устройством и реализует алгоритм обработки измерительного сигнала, предусмотренный в прототипе, за счет чего обеспечивается автоматическая коррекция погрешности измерения влажности, обусловленной изменением толщины, плотности и температуры контролируемого материала. Погрешность выполнения операции деления определяется стабильностью резисторов R1 и R2 и разрядностью аналого-цифрового и цифроаналогового преобразователей (для 12-ти разрядов погрешность составит 0,05-0,1%). Лучшие аналоговые делительные устройства имеют на порядок большую погрешность.

Таким образом, предлагаемая схема СВЧ влагомера позволяет повысить точность измерения влажности при одновременном упрощении конструкции влагомера.

Функциональные узлы и блоки СВЧ влагомера могут быть выполнены на серийных электронных элементах широкого применения: СВЧ генераторы - на диодах Ганна или ЛДЦ, управляемые аттенкуаторы - на р-п-п диодах, СВЧ тракт - на базе волноводных или полосковых конструкций, логарифмический преобразователь, усилители низкой частоты, дифференциальные усилители, фильтры и др. - на микросхемах серий К140, К1101, К544, аналого-цифровой и цифро-аналоговый преобразователь, регистр памяти - на микросхемах серий К561, К572, К427 и др. В качестве прецизионных резисторов R1 и R2 можно использовать резистивные матрицы цифроаналогового преобразователя.

Настройка предлагаемого влагомера сводится к установке требуемого уровня мощности СВЧ колебаний в передающей антенне и регулировке "нуля" влагомера по сухому материалу или без него,

Испытания макета влагомера показали, что по сравнению с прототипом погрешность измерения влажности картона ДСП, ДВП и др. уменьшается в 2-3 раза и составляет 0.5-1.0% в диапазоне влагосодержания от 5% до 150%.

