



Государственный комитет  
СССР  
по делам изобретений  
и открытий

# О П И С А Н И Е ИЗОБРЕТЕНИЯ

## К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

(11) 977935

(61) Дополнительное к авт. свид-ву -

(22) Заявлено 15.06.81 (21) 3305241/18-28

с присоединением заявки № -

(23) Приоритет -

Опубликовано 30.11.82. Бюллетень № 44

Дата опубликования описания 30.11.82

(51) М. Кл.<sup>3</sup>

G 01 N 7/06

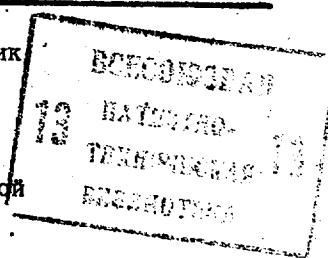
(53) УДК 621.317.  
.39:531.717  
(088.8)

(72) Авторы  
изобретения

Б. А. Иванов, В. И. Ручкин, Ю. А. Скрипник  
В. П. Марушкин и П. Т. Захаров

(71) Заявитель

Киевский технологический институт легкой  
промышленности



### (54) ИЗМЕРИТЕЛЬ ТОЛЩИНЫ ПОКРЫТИЯ ДВУХСЛОЙНЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

1  
Изобретение относится к измерительной технике и может быть использовано для контроля технологических параметров двухслойных диэлектрических материалов.

Известно устройство для контроля технологических параметров двухслойных диэлектрических материалов, содержащее два автогенератора, емкостный датчик, смеситель, полосовой фильтр и частотный детектор [1].

Недостатком этого устройства является невысокая точность измерения.

Наиболее близким по технической сущности к изобретению является измеритель толщины покрытия двухслойных диэлектрических материалов, содержащий измерительный и опорный генераторы, измерительный емкостной датчик, генератор синхросигналов, частотный модулятор, вход которого соединен с выходом генератора синхросигналов, а выход - с управляющим входом опорного генератора, смеситель, входы которого соединены с выходами измерительного и опорного генераторов,

2  
последовательно соединенные с выходом импульсов полосовой фильтр, формирователь импульсов, частотный детектор, избирательный усилитель, синхронный детектор, опорный вход которого соединен с выходом генератора синхросигналов, а выход - с управляющим входом измерительного генератора [2].

Недостатком этого измерителя является невысокая точность измерения вследствие наличия погрешности, вызванной дестабилизирующими факторами, изменяющими параметры первичного преобразователя и канала обработки измерительной информации.

Цель изобретения - повышение точности измерения.

Эта цель достигается тем, что измеритель толщины покрытия двухслойных диэлектрических материалов, содержащий измерительный и опорный генераторы, измерительный емкостной датчик, генератор синхросигналов, частотный модулятор, вход которого соединен с выходом

генератора синхросигналов, а выход — с управляющим входом опорного генератора смеситель, входы которого соединены с выходами измерительного и опорного генераторов, последовательно соединенные с выходом смесителя, полосовой фильтр, формирователь импульсов, частотный детектор, избирательный усилитель, синхронный детектор, опорный вход которого соединен с выходом генератора синхросигналов, а выход — с управляющим входом измерительного генератора, снабжен образцовым емкостным датчиком, первым коммутатором, входы которого соединены с выходами соответственно измерительного и образцового емкостных датчиков, а выход — с входом измерительного генератора, реверсивным счетчиком, счетный вход которого соединен с выходом формирователя импульсов, фазоинвертором, выход которого подключен к управляющему входу счетчика, вторым коммутатором, вход которого соединен с выходом генератора синхросигналов, а выходы соответственно с входом фазоинвертора и с управляющим входом счетчика, делителем частоты, вход которого подключен к выходу генератора синхросигналов, а выход — к управляющим входам коммутаторов, формирователем строб-импульсов, вход которого подключен к выходу делителя частоты, блоком задержки, вход которого подключен к выходу формирователя строб-импульсов, а выход — к установочному входу счетчика, элементом И, входы которого подключены соответственно к выходу счетчика и к выходу формирователя строб-импульсов, дешифратором, вход которого подключен к выходу элемента И и регистратором, вход которого соединен с выходом дешифратора.

На чертеже приведена блок-схема измерителя толщины покрытия.

Измеритель содержит измерительный 1 и опорный 2 генераторы, первый коммутатор 3, частотный модулятор 4, измерительный 5 и образцовый 6 емкостные датчики, смеситель 7, входы которого подключены к выходам генераторов 1 и 2, генератор 8 синхросигналов, полосовой фильтр 9, включенный на выходе смесителя 7, делитель 10 частоты, формирователь 11 импульсов, включенный на выходе полосового фильтра 9, второй коммутатор 12, фазоинвертор 13, формирователь 14 строб-импульсов, вход которого подключен к выходу делителя 10 частоты, частотный детектор 15, реверсивный счетчик 16, блок 17 задержки,

вход которого подключен к выходу формирователя 14, элемент И 18, избирательный усилитель 19, синхронный детектор 20, подключенный к выходу усилителя 19, дешифратор 21, включенный на выходе элемента И 18, и регистратор 22, включенный на выходе дешифратора 21.

Измеритель работает следующим образом.

Выходные сигналы с измерительного и опорного генераторов 1 и 2 поступают на смеситель 7. Выходной сигнал опорного генератора 2 модулируется напряжением прямоугольной формы с частотного модулятора 4. Частота модулирующего напряжения равна частоте  $\Omega$ , задаваемой сигналом с выхода генератора 8 синхросигналов. При этом в первый полупериод частоты  $\Omega$  выходной сигнал опорного генератора 2 имеет частоту  $\omega_2^1$ , а во второй полупериод  $\pi/\Omega = \omega_2$ . Частота сигнала измерительного генератора 1 определяется параметрами емкостных датчиков с измеряемым объектом и контрольным образцом, периодически подключаемых к частотодающей цепи измерительного генератора 1. Первый коммутатор 3 управляется сигналом прямоугольной формы с делителя 10, частота которого также задается генератором 8 синхросигналов и равна  $\Omega/n$ , где  $n$  — целое число. В первый полупериод частоты  $\Omega/n$ , когда подключен образцовый емкостной датчик 6 (режим коррекции), частота измерительного генератора 1 равна  $\omega_1^1$ , а при подключении измерительного емкостного датчика 5 (режим измерения) частота измерительного генератора 1 равна  $\omega_1$ . Параметры датчиков и частоты опорного генератора 2 подбираются так, чтобы в отсутствие измеряемого объекта и контрольного образца и при введении их в зоны чувствительности соответствующих датчиков сохранялось условие

$$\omega_2^1 \leq (\omega_1, \omega_1^1) \leq \omega_2. \quad (1)$$

После смешивания выходных напряжений генераторов 1 и 2 в смесителе 7 и выделения полосовым фильтром 9 сигнала разностной частоты на вход формирователя 11 импульсов с выхода полосового фильтра 9 поступает частотно-модулированное напряжение с частотой модуляции  $\Omega$  и несущими частотами  $\omega^1, \omega^2, \omega^3$ , и  $\omega^N$ , соответствующими полупериоду модулирующего сигнала  $\pi/\Omega$  и сигнала (с полупериодом  $\pi n/\Omega$ ), управляющего первым коммутатором 3 и задающего режимы ра-

боты измерителя. Следовательно в первый полупериод  $\pi/\Omega$  (режим коррекции) полосовым фильтром выделяется частотно-модулированный сигнал с несущими частотами, равными в первый полупериод

$$\omega' = \omega_1 - \omega_2$$

а во второй полупериод  $\pi/\Omega$

$$\omega'' = \omega_2 - \omega_1$$

Соответственно в режиме измерения (второй полупериод  $\pi/\Omega$ ) несущие частоты выделяемого частотно-модулированного сигнала равны в первый полупериод  $\pi/\Omega$

$$\omega''' = \omega_1 - \omega_2$$

а во второй полупериод  $\pi/\Omega$

$$\omega^{IV} = \omega_2 - \omega_1$$

На выходе формирователя 11 импульсов, являющегося одновременно амплитудным ограничителем, устраняющим паразитную амплитудную модуляцию сигнала, появляются периодические последовательности пакетов импульсов. Частота импульсов в пакете (длительность пакета  $\pi/\Omega$ ), равная частоте поступающего в данный полупериод  $\pi/\Omega$  входного разностного сигнала, периодически изменяется (с частотой модуляции  $\Omega$ ), принимая в пределах одной последовательности (одного полупериода  $\pi/\Omega$ ) поочередно два значения - либо  $\omega'$  и  $\omega''$ , либо  $\omega'''$  и  $\omega^{IV}$ . После преобразования импульсов частотно-модулированного напряжения в частотном детекторе 15 на выходе последнего выделяется амплитудно-модулированное напряжение с несущей частотой  $\Omega$  и огибающей частоты  $\Omega/n$ . Амплитуда сигнала несущей частоты будет пропорциональна девиации разностной частоты  $|\sigma^A|$  - в режиме коррекции (первый полупериод  $\pi/\Omega$ ) и  $|\sigma^A + \Delta\chi|$  - в режиме измерения, причем

$$|\sigma^A| = \left| \omega_1^0 - \omega_1' \right| = \frac{|\omega' - \omega''|}{2},$$

$$|\sigma^A + \Delta\chi| = \left| \omega_1^0 - \omega_1' \right| = \frac{|\omega'' - \omega^{IV}|}{2}, \quad (2)$$

где  $\sigma^A$  - суммарная расстройка частоты  $|\omega^0|$  измерительного генератора 1 с образцовым емкостным датчиком 6 в частотоподающей цепи, вызванная параметрами контрольного образца и аддитивной составляющей погрешности первичного преобразователя и прямого канала преобразования сигнала;

$\Delta\chi$  - дополнительная расстройка частоты  $\omega_1^0$ , вызванная подключением к частотоподающей цепи измерительного емкостного датчика 5 с измеряемым объектом и зависящая от различия технологических параметров измеряемого объекта и контрольного образца;

$\omega_1^0 = \frac{\omega_2^1 + \omega_2^2}{2}$  - частота измерительного генератора 1, соответствующая на частотной оси точке, симметричной относительно частот  $\omega_2^1$  и  $\omega_2^2$  опорного генератора 2.

При этом предлагается, что в отсутствие измеряемого объекта и контрольного образца параметры измерительного и образцового емкостных датчиков 5 и 6 идентичны (датчики выполнены на одной подложке по единой технологии и соединены по дифференциальной схеме), и что под воздействием внешних факторов (климатические условия и пр.) изменения их параметров эквивалентны.

Усиленный избирательным усилителем 19, настроенным на частоту  $\Omega$  и преобразующим напряжение прямоугольной формы в синусоидальное, сигнал поступает в синхронный детектор 20, на опорный вход которого подается напряжение с генератора 8 синхросигналов частоты  $\Omega$ . Так как выход синхронного детектора 20 соединен с управляющим входом измерительного генератора 1, то изменения амплитуды выходного сигнала детектора (имеющего форму пакетов выпрямленных полуволн длительностью  $\pi/n/\Omega$ ), пропорциональные измеряемой величине  $\Delta\chi$ , воздействуют на частоту измерительного генератора 1, изменяя ее таким образом, чтобы в оба полупериода  $\pi/n/\Omega$  (в оба такта работы измерителя) выполнялись условия баланса частот генераторов 1 и 2:

$$\omega_1^I - \omega_2^I = \omega_2 - \omega_1 \quad (4)$$

и

$$\omega_1 - \omega_2^I = \omega_2 - \omega_1, \quad (5)$$

с точностью до ошибки некомпенсации замкнутой системы, состоящей из звеньев 7, 9, 11, 15, 19, 20, 1. Причем величина некомпенсации пропорциональна величинам  $|\sigma^A|$  и  $|\sigma^A + \Delta\chi|$  в соответствующий полупериод  $\pi/n/\Omega$ . Измеряемый технологический параметр, пропорциональный величине  $\Delta\chi$ , определится, исходя из соотношений (2) и (3), как

$$|\Delta\chi| = \frac{1}{2} \left| |\omega' - \omega''| - |\omega''' - \omega^{IV}| \right| \quad (6)$$

Реверсивный счетчик 16, на счетный вход которого поступает импульсный частотно-модулированный сигнал с выхода формирователя 11 импульсов, выполняет операции вычисления величины  $\Delta x$  по заданному соотношению (6) алгоритму, при этом на его счетный вход периодически поступают пакеты импульсов (частота следования пакетов  $\Omega$ ), частота которых в первый полупериод  $\pi/\Omega$  равна  $\omega^I$  или  $\omega^{II}$ , а во второй полупериод  $\pi/\Omega$   $\omega^{III}$  или  $\omega^{IV}$ . Одновременно на управляющий вход реверсивного счетчика 16 поступают синхросигналы с генератора 8 через второй коммутатор 12, управляемый делителем 10 частоты, причем суммирование импульсов, поступающих на счетный вход, происходит при высоком уровне напряжения синхросигнала, а вычитание — при низком.

В первый полупериод  $\pi/\Omega$  (режим коррекции) в результате чередования операций сложения и вычитания импульсов числовое значение кода реверсивного счетчика будет равно

$$N_{\sigma} = \frac{n}{4\Omega} (\omega^I - \omega^{II}),$$

а во второй полупериод  $\pi/\Omega$  (режим измерения) к выходу генератора 8 синхросигналов подключается фазоинвертор 13 и происходит инверсия управляющего напряжения, т.е. очередность операций суммирования и вычитания изменится на противоположную, в результате чего показания реверсивного счетчика изменятся на величину

$$N = -\frac{n}{4\Omega} (\omega^{III} - \omega^{IV}).$$

При этом результирующий выходной код реверсивного счетчика за период  $2\pi/\Omega$  работы измерителя станет равным

$$N_x = \frac{n}{4\Omega} [(\omega^I - \omega^{II}) - (\omega^{III} - \omega^{IV})] = \frac{n}{2\Omega} \Delta x \quad (7)$$

и не будет зависеть от величины суммарной расстройки  $\sigma$ , которая определяется как параметрами контрольного образца, так и аддитивной погрешностью, связанной с дрейфом первичного преобразователя и прямого тракта усиления и выделения измерительной информации.

Как следует из описания режимов работы реверсивного счетчика и соотношений (6) и (7), однозначное соответствие выходного кода счетчика  $N_x$  измеряемому технологическому параметру  $\Delta x$  будет соблюдаться лишь при условии

$$\omega_2^0 \leq (\omega_1, \omega_1') \leq \omega_1^0$$

или

$$\omega_1^0 \leq (\omega_1, \omega_1') \leq \omega_2, \quad (8)$$

т.е. когда изменение частоты  $\omega_1^0$  измерительного генератора 1 под воздействием параметров измерительного и образцового емкостных датчиков 5 и 6 с измеряемым объектом и контрольным образцом будут одного знака. Это условие выполняется при соответствующем подборе параметров контрольного образца, относительно которого ведутся измерения.

По окончании управляющего импульса с делителя 10 частоты формирователь 14 строб-импульсов выдает сигнал, разрешающий прохождение информационного сигнала, с выхода реверсивного счетчика 16 через элемент И 18 на дешифратор 21 и, далее, на регистратор 22. Время индикации результата измерения определяется периодом  $2\pi/\Omega$ , а время перезаписи результата с выхода реверсивного счетчика 16 в дешифратор 21 определяется временем задержки блока 17, по истечении которого выходной сигнал с формирователя 14 строб-импульсов, пройдя блок 17 задержки, поступит на установочный вход реверсивного счетчика 16 и переведет все его разряды в состояние "0". Разрядность счетчика определяется максимальным числом импульсов, поступающих на его счетный вход за полупериод  $\pi/\Omega$ , и величиной коэффициента деления  $n$  делителя 10, т.е., исходя из соотношения (7), разрядность реверсивного счетчика должна быть не меньше, чем величина

$$\frac{1}{2\Omega} \times \max \left\{ \omega^I, \omega^{II}, \omega^{III}, \omega^{IV}, \frac{(\omega^I - \omega^{II})n}{2}, \frac{(\omega^{III} - \omega^{IV})n}{2} \right\}.$$

Для простоты отсчета результата измерений коэффициент деления  $n$  выбирается кратным двадцати, что приводит при считывании результата к переносу запятой. Кроме того, необходимо соблюдение условия, согласно которому частота синхросигналов должна быть меньше частоты переключаемых сигналов

$$\frac{\Omega}{n} \ll \Omega \ll \min \{ \omega^I, \omega^{II}, \omega^{III}, \omega^{IV} \} \ll \omega_2^I.$$

Для устранения погрешности измерения, связанной с неидентичностью параметров емкостных датчиков, производится предварительная "установка нуля". Измеряемый объект и контрольный образец вы-

водятся из зон чувствительности соответствующих емкостных датчиков и с помощью подстроечных элементов частотоподающих цепей измерительного 1 и опорного 2 генераторов добиваются выполнения условий баланса частот генераторов (4) и (5). В этом случае частоты измерительного генератора 1 станут равными между собой

$$\omega_1^I = \omega_1^0 = \omega_1$$

и установится равенство частот разностных сигналов

$$\omega^I = \omega^{II} = \omega_0 = \omega^{III} = \omega^{IV}$$

где  $\omega_1$  — среднее значение частоты разностного сигнала, выделяемого полосовым фильтром 9. Тогда, согласно выражению (7), показания регистратора 22 установятся в "0".

Таким образом, использование в измерителе замкнутой структуры аналогового тракта позволяет уменьшить влияние нестабильностей прямого канала усиления и выделения измерительной информации, а введение двухтактного режима работы с коррекцией измеряемого технологического параметра по образцу в цифровой части, реализующей операцию вычитания аддитивной составляющей погрешности из суммарного сигнала, дает возможность повысить точность измерения.

Кроме того, благодаря чередованию операций суммирования и вычитания, а также инверсии очередности этих операций между тактами коррекции и измерения уменьшается разрядность реверсивного счетчика, при этом заданная точность может быть обеспечена за счет увеличения коэффициента деления  $n$  делителя частоты.

#### Ф о р м у л а и з о б р е т е н и я

Измеритель толщины покрытия двухслойных диэлектрических материалов, содержащий измерительный и опорный генераторы, измерительный емкостный датчик, генератор синхросигналов, частотный модулятор, вход которого соединен с выходом

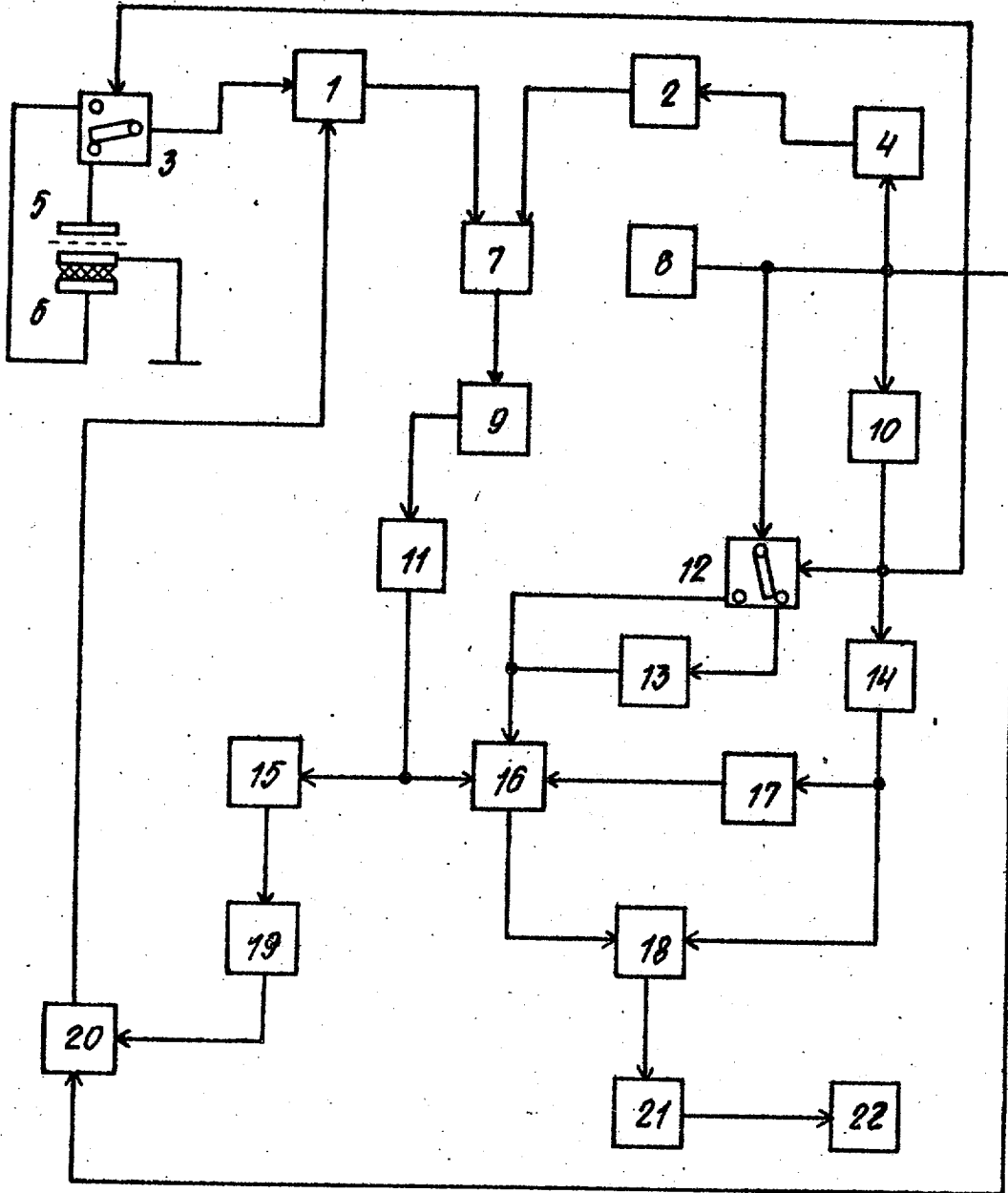
генератора синхросигналов, а выход — с управляющим входом опорного генератора, смеситель, входы которого соединены с выходами измерительного и опорного генераторов, последовательно соединенные с выходом смесителя, полосовой фильтр, формирователь импульсов, частотный детектор, избирательный усилитель, синхронный детектор, опорный вход которого соединен с выходом генератора синхросигналов, а выход — с управляющим входом измерительного генератора, отличающийся тем, что, с целью повышения точности измерения, он снабжен образцовым емкостным датчиком, первым коммутатором, входы которого соединены с выходами соответственно измерительного и образцового емкостного датчиков, а выход — с входом измерительного генератора, реверсивным счетчиком, счетный вход которого соединен с выходом формирователя импульсов, фазоинвертором, выход которого подключен к управляющему входу счетчика, вторым коммутатором, вход которого соединен с выходом генератора синхросигналов, а выходы соответственно с входом фазоинвертора и с управляющим входом счетчика, делителем частоты, вход которого подключен к выходу генератора синхросигналов, а выход — к управляющим входам коммутаторов, формирователем строб-импульсов, вход которого подключен к выходу делителя частоты, блоком задержки, вход которого подключен к выходу формирователя строб-импульсов, а выход — к установочному входу счетчика, элементом И, входы которого подключены соответственно к выходу счетчика и к выходу формирователя строб-импульсов, дешифратором, вход которого подключен к выходу элемента И и регистратором, вход которого соединен с выходом дешифратора.

#### Источники информации,

принятые во внимание при экспертизе

1. Патент США № 4048844, кл. G 01 N 27/22, 1977.

2. Авторское свидетельство СССР по заявке № 2868124/18-21 (003151) кл. G 01 N 27/22 (прототип).



Составитель В. Николаев  
 Редактор Н. Стащицина Техред Л. Пекарь Корректор Ю. Макаренко  
 Заказ 9198/54 Тираж 887 Подписное  
 ВНИИПИ Государственного комитета СССР  
 по делам изобретений и открытий  
 113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., д. 4/5  
 Филиал ППП "Патент", г. Ужгород, ул. Проектная, 4