РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** (11) **2 516 697**(13) **C2**

(51) МПК
G01S 1/18 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: **2012133593/07, 06.08.2012**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
06.08.2012

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: **06.08.2012**

(43) Дата публикации заявки: **20.02.2014** Бюл. № **5**

(45) Опубликовано: **20.05.2014** Бюл. № **14**

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **АГАДЖАПОВ П.А. и др. Автоматизация самолетовождения и управления воздушным движением. Москва, Транспорт, 1980, 357 с. SU 1251003 A1, 15.08.1986. RU 2302006 C1, 27.06.2007. RU 2139553 C1, 10.10.1999. RU 2191351 C1, 20.10.2002. US 7672758 B2, 02.03.2010. US 7894948 B2, 22.02.2011. EP 1794660 B1, 01.09.2010**

Адрес для переписки:
634050, г.Томск, пр. Ленина, 40, ТУСУР, патентно-информационный отдел

(72) Автор(ы):
Гулько Владимир Леонидович (RU)

(73) Патентообладатель(и):
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники" (ТУСУР) (RU)

(54) СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ УГЛА КРЕНА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО РЕАЛИЗАЦИИ

(57) Реферат:

Изобретение может использоваться в пилотажно-навигационных системах ориентации летательного аппарата при заходе на посадку по приборам. Способ измерения угла крена летательного аппарата заключается в том, что из точки с известными координатами излучают горизонтально линейно поляризованные электромагнитные волны, на борту летательного аппарата принимают электромагнитные волны в круговом поляризационном базисе, разделяют принятые электромагнитные волны на две ортогонально поляризованные по кругу составляющие правого и левого направления вращения и измеряют разность фаз между ними, по измеренной разности фаз рассчитывают угол крена летательного аппарата. Достигаемый технический результат - исключение постоянного накапливания с течением времени ошибки измерения угла крена летательного аппарата. 2 н.п. ф-лы, 2 ил.

RU 2516697 C2

RU 2516697 C2



Фиг. 1

RU 2516697 C2

RU 2516697 C2

RUSSIAN FEDERATION

FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(19) **RU** (11) **2 516 697** (13) **C2**

(51) Int. Cl.
G01S 1/18 (2006.01)

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21)(22) Application: **2012133593/07, 06.08.2012**

(24) Effective date for property rights:
06.08.2012

Priority:
(22) Date of filing: **06.08.2012**

(43) Application published: **20.02.2014** Bull. № **5**

(45) Date of publication: **20.05.2014** Bull. № **14**

Mail address:
634050, g.Tomsk, pr. Lenina, 40, TUSUR, patentno-informatsionnyj otdel

(72) Inventor(s):
Gul'ko Vladimir Leonidovich (RU)

(73) Proprietor(s):
Federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego professional'nogo obrazovanija "Tomskij gosudarstvennyj universitet sistem upravlenija i radioehlektroniki" (TUSUR) (RU)

(54) METHOD OF AIRCRAFT BANK MEASUREMENT AND DEVICE TO THIS END

(57) Abstract:

FIELD: aircraft engineering.

SUBSTANCE: proposed method consists in horizontal irradiation of linearly polarised electromagnetic waves from the points with known coordinates. Aircraft receives said electromagnetic waves in circular polarisation basis. Received electromagnetic waves are divided into two circularly orthogonal-polarisation components of the right and left rotating sense to measure phase difference there between. Measured phase difference is used to calculate aircraft bank.

EFFECT: ruled out accumulated errors.

2 cl, 2 dwg



Фиг. 1

RU 2516697 C2

RU 2516697 C2

Изобретение относится к радионавигации и может использоваться в пилотажно-навигационных системах ориентации летательного аппарата (ЛА), например, при заходе ЛА на посадку по приборам.

Известные способы и устройства измерения угла крена ЛА основаны на использовании инерциальных систем навигации, в частности гироскопических систем ориентации [1-4]. Таким способам измерения и устройствам, их реализующих, присущ ряд недостатков. Во-первых, с течением времени происходит постоянное накапливание ошибки измерений и за один час полета она составляет величину единицы градусов [2-3]. Во-вторых, если ЛА развивает значительные перегрузки, то происходит увеличение собственной скорости прецессии гироскопа, что в ряде случаев может привести к полной потере его работоспособности [2].

Поскольку известные способы измерения угла крена ЛА и устройства, их реализующие, основаны на другом физическом принципе, по сравнению с заявляемым, то они не могут рассматриваться в качестве аналогов, так как не имеют общих признаков.

Сущность заявляемого способа измерения угла крена ЛА заключается в следующем.

Из точки с известными координатами излучают горизонтально линейно поляризованные электромагнитные волны, вектор напряженности электрического поля $\vec{E}$ которых совпадает с горизонтальной плоскостью, и совместно с нормалью к этой плоскости образуют неподвижную декартовую прямоугольную систему прямоугольных координат.

На борту ЛА приемная антенна принимает электромагнитные волны в круговом ортогональном синфазном поляризационном базисе, в котором осуществляется одновременное разделение принятых электромагнитных волн на две ортогонально поляризованные по кругу составляющие правого $\vec{E}_R$ и левого $\vec{E}_L$ направления вращения вектора напряженности электрического поля $\vec{E}$. После чего одновременно измеряют разность фаз между ними $\Delta\varphi_{RL}=\varphi_R-\varphi_L$ и по измеренной разности фаз $\Delta\varphi_{RL}$ рассчитывают угол крена γ ЛА между поперечной осью ЛА и горизонтальной плоскостью.

Очевидно, что для измерения угла крена γ ЛА необходимо установить связь между разностью фаз $\Delta\varphi_{RL}$ ортогонально поляризованных по кругу волн правого $\vec{E}_R$ и левого $\vec{E}_L$ направления вращения составляющих вектора электрического поля $\vec{E}$ и углом крена ЛА.

Для установления этой связи воспользуемся известным [5-8] формализмом векторов и матриц Джонса.

Поскольку прием электромагнитных волн на борту ЛА производится в собственном круговом поляризационном базисе, где происходит разделение принятых электромагнитных волн на две волны круговой поляризации с противоположным направлением вращения, представим для наглядности излучаемую горизонтально линейно поляризованную электромагнитную волну в линейном ортогональном поляризационном базисе в виде суммы таких волн. Тогда получим:

$$\dot{\vec{E}} = \begin{bmatrix} \dot{E}_x \\ \dot{E}_y \end{bmatrix} \cdot e^{j\omega t} = \begin{bmatrix} \frac{E_{m_x}}{2} e^{j\omega t} \\ \frac{E_{m_x}}{2} e^{j\left(\omega t-\frac{\pi}{2}\right)} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{E_{m_x}}{2} e^{j\omega t} \\ \frac{E_{m_x}}{2} e^{j\left(\omega t+\frac{\pi}{2}\right)} \end{bmatrix}, \qquad (1)$$

где $\dot{E}_x$, $\dot{E}_y$ - комплексные амплитуды двух проекций электрического поля $\vec{E}$ на оси

декартовой системы прямоугольных координат,

ω - круговая частота,

t - время.

Анализируя (1), видим, что первая группа составляющих представляет собой электромагнитную волну, поляризованную по кругу с левым направлением вращения $\vec{E}_L$ вектора электрического поля, в то время как вторая группа составляющих представляет волну, поляризованную по кругу с правым $\vec{E}_R$ направлением вращения вектора электрического поля. При этом необходимо отметить, что направление вращения поляризации определено с точки зрения наблюдателя, рассматривающего волну против ее распространения. Подставляя в (1) t=0 и $E_{m_x} = 1$, а также используя формализм векторов Джонса [5-8], получим выражение для вектора Джонса $\vec{\dot{E}}$ излучаемых электромагнитных волн в линейном ортогональном поляризационном базисе в виде:

$$\vec{\dot{E}} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \frac{1}{2}\left\{\begin{bmatrix} 1 \\ -j \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ j \end{bmatrix}\right\}. \qquad (2)$$

Тогда вектор Джонса принимаемой линейно горизонтально поляризованной электромагнитной волны (2), заданной своими проекциями в линейном поляризационном базисе суммой двух волн, поляризованных по кругу с противоположным направлением вращения вектора электрического поля, может быть определен на борту ЛА, имеющего положительный +γ или отрицательный -γ крен, при переходе в круговой синфазный ортогональный поляризационных базис на входе приемника в виде:

$$\vec{\dot{E}}_{RL} = \begin{bmatrix} \vec{\dot{E}}_L \\ \vec{\dot{E}}_R \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \begin{bmatrix} 1 & j \\ 1 & -j \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} -\cos\gamma & \pm\sin\gamma \\ \mp\sin\gamma & \cos\gamma \end{bmatrix} \cdot \vec{\dot{E}}, \qquad (3)$$

где $\vec{\dot{E}} = \frac{1}{2}\left\{\begin{bmatrix} 1 \\ -j \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ j \end{bmatrix}\right\}$ - вектор Джонса $\vec{\dot{E}}$ излучаемых электромагнитных волн, заданный своими проекциями в линейном ортогональном поляризационном базисе в виде суммы двух волн, поляризованных по кругу с противоположным направлением вращения,

$\begin{bmatrix} -\cos\gamma & \pm\sin\gamma \\ \mp\sin\gamma & \cos\gamma \end{bmatrix}$ - оператор перехода из линейного поляризационного базиса, в котором записан вектор Джонса $\vec{\dot{E}}$ излучаемых электромагнитных волн, в линейный поляризационный базис, повернутый на произвольный угол крена ±γ относительно исходного,

±γ - соответствует положительному углу крена ЛА, когда его правое крыло или поперечная ось находится ниже горизонтальной плоскости,

-γ - соответствует отрицательному углу крена ЛА, когда его правое крыло или поперечная ось находится выше горизонтальной плоскости,

$\begin{bmatrix} 1 & j \\ 1 & -j \end{bmatrix}$ - оператор перехода из линейного поляризационного базиса повернутого на произвольный угол крена ±γ относительно исходного в синфазный круговой поляризационный базис, в котором базисные единичные векторы соответствуют волнам с левой и правой круговой поляризацией, электрические векторы которых в момент времени t=0 совпадают с направлением вектора электрического поля $\vec{\dot{E}}$.

После преобразований получим аналитические выражения для ортогонально поляризованных по кругу составляющих правого $\dot{\vec{E}}_R$ и левого $\dot{\vec{E}}_L$ направления вращения вектора электрического поля $\vec{E}$ на входе приемника в виде:

$$\dot{\vec{E}}_L = \frac{1}{2\sqrt{2}} \cdot \begin{bmatrix} 1 & j \\ 1 & -j \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} -\cos\gamma & \pm\sin\gamma \\ \mp\sin\gamma & \cos\gamma \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ -j \end{bmatrix}, \qquad (4)$$

$$\dot{\vec{E}}_R = \frac{1}{2\sqrt{2}} \cdot \begin{bmatrix} 1 & j \\ 1 & -j \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} -\cos\gamma & \pm\sin\gamma \\ \mp\sin\gamma & \cos\gamma \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ -j \end{bmatrix}. \qquad (5)$$

Подставляя в (4) и (5) значения $+\gamma$, получим соответственно выражения для $\dot{\vec{E}}_L$, и $\dot{\vec{E}}_R$ на входе приемника в виде:

$$\dot{\vec{E}}_L = \frac{1}{\sqrt{2}}(\cos\gamma - j\sin\gamma), \qquad (6)$$

$$\dot{\vec{E}}_R = \frac{1}{\sqrt{2}}(\cos\gamma + j\sin\gamma). \qquad (7)$$

Используя известные соотношения [7], амплитуды A_L и A_R, а также фазы φ_L и φ_R ортогонально поляризованных по кругу составляющих $\dot{E}_L$ и $\dot{E}_R$ на выходе приемника имеют вид:

$$A_L = \frac{1}{\sqrt{2}}, \qquad (8)$$

$$\varphi_L = -\mathrm{arctg}\frac{\sin\gamma}{\cos\gamma}, \qquad (9)$$

$$A_R = \frac{1}{\sqrt{2}}, \qquad (10)$$

$$\varphi_R = -\mathrm{arctg}\frac{\sin\gamma}{\cos\gamma}, \qquad (11)$$

а их разность фаз после преобразований имеет вид:

$$\Delta\varphi_{RL} = \varphi_R - \varphi_L = 2\gamma, \qquad (12)$$

откуда следует, что

$$\gamma = \frac{\Delta\varphi_{RL}}{2}. \qquad (13)$$

Из анализа (8) и (10) следует, что амплитуды A_L и A_R ортогонально поляризованных по кругу составляющих $\dot{E}_L$ и $\dot{E}_R$ на выходе приемника равны между собой $A_L=A_R$ и не зависят от угла крена γ ЛА. В то же время из анализа (13) видно, что наличие фазового сдвига между ортогональными волнами круговой поляризации обусловлено углом крена γ ЛА.

Подставляя в (4) и (5) или в (6) и (7) значение $-\gamma$, получим выражения для $\dot{E}_L$ и $\dot{E}_R$ на входе приемника в виде:

$$\dot{\vec{E}}_L = \frac{1}{\sqrt{2}}(\cos\gamma + j\sin\gamma), \qquad (14)$$

$$\dot{\vec{E}}_R = \frac{1}{\sqrt{2}}(\cos\gamma - j\sin\gamma), \qquad (15)$$

Соответственно амплитуды A_L и A_R, а также фазы φ_L и φ_R ортогонально поляризованных по кругу составляющих $\dot{E}_L$ и $\dot{E}_R$ на выходе имеют вид:

$$A_L = \frac{1}{\sqrt{2}}, \qquad (16)$$

$$\varphi_L = -\mathrm{arctg}\frac{\sin\gamma}{\cos\gamma}, \qquad (17)$$

$$A_R = \frac{1}{\sqrt{2}}, \qquad (18)$$

$$\varphi_R = -\mathrm{arctg}\frac{\sin\gamma}{\cos\gamma}, \qquad (18)$$

а их разность фаз после преобразований имеет вид:

$$\Delta\varphi_{RL} = \varphi_R - \varphi_L = -2\gamma, \qquad (19)$$

откуда следует, что

$$\gamma = -\frac{\Delta\varphi_{RL}}{2}. \qquad (20)$$

Из анализа (16) и (18) следует, что на выходе приемника амплитуды A_L и A_R ортогонально поляризованных по кругу составляющих $\dot{E}_L$ и $\dot{E}_R$ для отрицательных углов крена $-\gamma$ также равны между собой $A_L=A_R$ и не зависят от угла крена γ ЛА. В то же время разность фаз $\Delta\varphi_{RL}$ (20) определяется углом крена γ ЛА. Сравнивая (13) и (20), окончательно имеем выражение для определения угла крена γ ЛА в виде:

$$\gamma = \pm\frac{\Delta\varphi_{RL}}{2}, \qquad (21)$$

где «+» - соответствует положительному углу крена γ, когда правое крыло или поперечная ось ЛА находится ниже горизонтальной плоскости,

«-» - соответствует отрицательному углу крена ЛА, когда его правое крыло или поперечная ось находится выше горизонтальной плоскости,

$\Delta\varphi_{RL}=\varphi_R-\varphi_L$ - разность фаз между ортогонально поляризованными по кругу волнами $\dot{E}_L$ и $\dot{E}_R$.

Таким образом, проводя сравнительный анализ полученных выражений (12) и (19), видим, что при появлении крена ЛА возникает одновременно фазовый сдвиг между ортогонально поляризованными по кругу составляющими $\dot{E}_L$ и $\dot{E}_R$ на входе приемной антенны, что неизменно приводит к изменению угла ориентации вектора напряженности электрического поля $\vec{E}$ принимаемых на борту ЛА электромагнитных волн, или, иначе говоря, одновременно изменяется ориентация плоскости поляризации принимаемых электромагнитных волн. Последнее определяет физическую основу для определения угла крена ЛА по измеренной на выходе приемника разности фаз $\Delta\varphi_{RL}$ между ортогонально поляризованными по кругу составляющими $\dot{E}_L$ и $\dot{E}_R$.

Использование заявляемой совокупности признаков для измерения угла крена ЛА в известных решениях автором не обнаружено.

На фиг.1 представлена структурная электрическая схема устройства, реализующего предложенный способ измерения угла крена ЛА.

Устройство содержит передатчик 1 и передающую антенну 2, расположенные в точке с известными координатами. На борту ЛА устройство содержит приемную антенну 3, секцию круглого волновода со встроенной четвертьволновой фазовой пластиной 4, линейный поляризационный разделитель 5, фазовый угловой дискриминатор 6 и индикатор 7.

На фиг.2 представлена структурная электрическая схема фазового углового дискриминатора 6, включающего в себя первый и второй смесители частоты 8 и 9, первый усилитель промежуточной частоты (УПЧ) с ограничением по амплитуде 10, гетеродин 11, второй усилитель промежуточной частоты (УПЧ) с ограничением по амплитуде 13, фазовращатель на 90° 12, фазовый детектор 14.

Устройство работает следующим образом.

Передатчик 1 через передающую антенну 2 излучает в направлении ЛА горизонтально линейно поляризованные электромагнитные волны, вектор напряженности электрического поля E которых совпадает с горизонтальной плоскостью и задан своими проекциями в линейном поляризационном базисе суммой двух волн, ортогонально поляризованных по кругу в виде (2).

На борту ЛА, имеющего в общем случае положительный $+\gamma$ либо отрицательный $-\gamma$ угол крена, электромагнитные волны, вектор Джонса которых имеет вид (2), принимаются приемной антенной 3 и поступают на последовательно соединенные секцию круглого волновода со встроенной во внутрь четвертьволновой фазовой пластиной 4 и линейный поляризационный разделитель 5, выполненный в виде перехода с круглого волновода на два ортогонально расположенных по отношению друг к другу прямоугольных волноводов, орты собственной системы координат которого совпадают с осями плеч прямоугольных волноводов и совпадают также с вертикальной и поперечной осями ЛА соответственно. Причем четвертьволновая фазовая пластина ориентирована под углом $\theta=-45°$ к одной из стенок прямоугольного волновода линейного поляризационного разделителя 5. Сочетание секции круглого волновода со встроенной во внутрь четвертьволновой фазовой пластиной 4 и линейного поляризационного разделителя 5 позволяет, как известно [7], осуществить на борту ЛА прием электромагнитных волн в круговом поляризационном базисе и, таким образом, разделить поступающие на вход электромагнитные волны, вектор Джонса которых задан в виде (2), на две ортогонально поляризованные по кругу волны. В этом случае сигналы на выходах плеч линейного поляризационного разделителя 5 определяются с помощью преобразований вида:

$$\dot{\vec{E}}_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & j \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos\gamma & \pm\sin\gamma \\ \mp\sin\gamma & \cos\gamma \end{bmatrix} \cdot \dot{\vec{E}}, \quad (22)$$

$$\dot{\vec{E}}_y = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & j \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} -\cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos\gamma & \pm\sin\gamma \\ \mp\sin\gamma & \cos\gamma \end{bmatrix} \cdot \dot{\vec{E}}, \quad (23)$$

где $\dot{\vec{E}} = \frac{1}{2}\left\{\begin{bmatrix} 1 \\ -j \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ j \end{bmatrix}\right\}$ - вектор Джонса $\dot{\vec{E}}$ излучаемых электромагнитных волн, заданный своими проекциями в линейном поляризационном базисе в виде суммы двух волн, ортогонально поляризованных по кругу,

$\begin{bmatrix} \cos\gamma & \pm\sin\gamma \\ \mp\sin\gamma & \cos\gamma \end{bmatrix}$ - оператор перехода из линейного поляризационного оазиса, в котором записан вектор Джонса $\vec{E}$ излучаемых электромагнитных волн, в линейный поляризационный базис, повернутый на произвольный угол крена ±γ относительно исходного,

$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -j \end{bmatrix}$ - оператор Джонса четвертьволновой фазовой пластины, записанный в собственной системе координат, в которой он имеет диагональный вид,

$\begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix}$ - обратный оператор перехода из собственной системы координат четвертьволновой фазовой пластины в опорную систему координат, в которой представлен вектор Джонса $\vec{E}$ излучаемых электромагнитных волн,

$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$ - оператор первого плеча линейного поляризационного разделителя (переход с круглого волновода на прямоугольный), собственная поляризация которого совпадает с вектором $\vec{E}$,

$\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ - оператор второго плеча линейного поляризационного разделителя, собственная поляризация которого ортогональна вектору $\vec{E}$.

Подставляя в (22) и (23) значения +γ и θ=-45°, и, проделав необходимые матричные преобразования, получим аналитические выражения для ортогонально линейно поляризованных сигналов $\dot{\vec{E}}_x$ и $\dot{\vec{E}}_y$ на выходах линейного поляризационного разделителя 5 вида:

$$\dot{\vec{E}}_x = \frac{1}{2}\{(\cos\gamma + \sin\gamma) + j(\cos\gamma - \sin\gamma)\}, \qquad (24)$$

$$\dot{\vec{E}}_y = \frac{1}{2}\{\cos\gamma + \sin\gamma) + j(\cos\gamma - \sin\gamma)\}. \qquad (25)$$

Уместно пояснить суть полученных выражений (24) и (25). Для этого обратимся к соотношению (2), из которого следует, что вектор Джонса $\vec{E}$ излучаемых горизонтально линейно поляризованных электромагнитных волн представлен своими проекциями в линейном ортогональном поляризационном базисе в виде суммы двух волн ортогонально поляризованных по кругу с левым $\dot{\vec{E}}_L$ и правым $\dot{\vec{E}}_R$ направлением вращения вектора электрического поля, которые, с учетом введенного в радиолокационный канал угла крена ЛА, принимаются на борту ЛА приемной антенной 2 и поступают на вход секции круглого волновода со встроенной во внутрь четвертьволновой фазовой пластиной. При прохождении этой секции ортогонально поляризованные по кругу электромагнитные волны $\dot{\vec{E}}_L$ и $\dot{\vec{E}}_R$ на выходе секции преобразуются, как известно [7], в линейно ортогонально поляризованные электромагнитные волны $\dot{\vec{E}}_x$ и $\dot{\vec{E}}_y$ с горизонтальной и вертикальной поляризациями

соответственно и имеют, с учетом (22) и (23), вид:

$$\dot{\vec{E}}_x = \frac{1}{2}\begin{bmatrix}(\cos\gamma + \sin\gamma) + j(\cos\gamma - \sin\gamma)\\ 0\end{bmatrix}, \qquad (26)$$

и

$$\dot{\vec{E}}_y = \frac{1}{2}\begin{bmatrix}(\cos\gamma + \sin\gamma) + j(\cos\gamma - \sin\gamma)\\ 0\end{bmatrix}. \qquad (27)$$

С выхода секции круглого волновода со встроенной во внутрь четвертьволновой фазовой пластиной сигналы (26) и (27) поступают на соответствующие им входы прямоугольных волноводов линейного поляризационного разделителя 5. Таким образом, на выходе линейного поляризационного разделителя 5 формируются ортогонально линейно поляризованные сигналы, имеющие вид (24) и (25). Причем, как известно [7], амплитуды A_x и A_y, а также фазы φ_x и φ_y этих ортогонально линейно поляризованных составляющих $\dot{\vec{E}}_x$ и $\dot{\vec{E}}_y$ и будут характеризовать собой амплитуды A_L и A_R, а также фазы φ_L, и φ_R ортогонально поляризованных по кругу составляющих $\dot{\vec{E}}_L$ и $\dot{\vec{E}}_R$ соответственно. Тогда используя известные соотношения [7]. найдем амплитуды A_x и A_y, а также фазы φ_x и φ_y ортогонально линейно поляризованных сигналов $\dot{\vec{E}}_x$ и $\dot{\vec{E}}_y$ на выходе линейного поляризационного разделителя 5:

$$A_x = \frac{\sqrt{2}}{2}, \qquad (28)$$

$$\varphi_x = 45 - \gamma, \qquad (29)$$

$$A_y = \frac{\sqrt{2}}{2}, \qquad (30)$$

$$\varphi_y = -(45 - \gamma), \qquad (31)$$

а их разность фаз

$$\Delta\varphi_{yx} = \varphi_y - \varphi_x = -90 + 2\gamma, \qquad (32)$$

или, с учетом ввода в канал $\dot{E}_y$ постоянного фазового сдвига 90°, окончательно получим:

$$\gamma = -\frac{\Delta\varphi_{yx}}{2}. \qquad (33)$$

Из анализа (28) и (30) следует, что амплитуды A_x и A_y ортогонально линейно поляризованных составляющих $\dot{\vec{E}}_x$ и $\dot{\vec{E}}_y$ на выходе линейного поляризационного разделителя 5 постоянны, равны между собой A_x-A_y и не зависят от угла крена γ ЛА. В то же время фазовый сдвиг $\Delta\varphi_{yx}$ между сигналами $\dot{\vec{E}}_x$ и $\dot{\vec{E}}_y$ на выходе линейного поляризационного разделителя определяется углом крена γ ЛА.

Подставляя в (22) и (23) или в (24) и (25) значения γ, получим выражения для ортогонально линейно поляризованных сигналов $\dot{\vec{E}}_x$ и $\dot{\vec{E}}_y$ на выходе линейного поляризационного разделителя в виде:

$$\dot{\bar{E}}_x = \frac{1}{2}\{(\cos\gamma - \sin\gamma) + j(\cos\gamma + \sin\gamma)\}, \qquad (34)$$

$$\dot{\bar{E}}_y = \frac{1}{2}\{-(\cos\gamma - \sin\gamma) + j(\cos\gamma + \sin\gamma)\}. \qquad (35)$$

Соответственно амплитуды A_x и A_y, а также фазы φ_x и φ_y ортогонально поляризованных сигналов $\dot{\bar{E}}_x$ и $\dot{\bar{E}}_y$ на выходе линейного поляризационного разделителя 5 имеют вид:

$$A_x = \frac{\sqrt{2}}{2}, \qquad (36)$$

$$\varphi_x = 45 + \gamma, \qquad (37)$$

$$A_y = \frac{\sqrt{2}}{2}, \qquad (38)$$

$$\varphi_y = -(45 + \gamma), \qquad (39)$$

а их разность фаз:

$$\Delta\varphi_{yx} = \varphi_y - \varphi_x = -90 - 2\gamma, \qquad (40)$$

или, с учетом постоянного фазового сдвига 90° в канале $\dot{E}_y$, окончательно получим:

$$\gamma = -\frac{\Delta\varphi_{yx}}{2}. \qquad (41)$$

Из анализа (36) и (38) следует, что амплитуды A_x и A_y ортогонально линейно поляризованных сигналов $\dot{\bar{E}}_x$ и $\dot{\bar{E}}_y$ на выходе линейного поляризационного разделителя 5 для отрицательных углов крена $-\gamma$ также, как и для положительных углов крена $+\gamma$ постоянны и равны между собой $A_{xx}=A_y$ и не зависят от угла крена γ ЛА. В то же время разность фаз $\Delta\varphi_{yx}$ (41) определяется только углом крена γ ЛА. Сравнивая (33) и (41), окончательно получим выражение для определения угла крена γ ЛА в виде:

$$\gamma = \pm\frac{\Delta\varphi_{yx}}{2}. \qquad (42)$$

где «+» - соответствует положительному углу крена γ, когда правое крыло или поперечная ось ЛА находится ниже горизонтальной плоскости,

«-» - соответствует отрицательному углу крена γ, когда правое крыло или поперечная ось ЛА находится ниже горизонтальной плоскости,

$\Delta\varphi_{yx}=\varphi_y-\varphi_x$ - разность фаз между ортогонально линейно поляризованными сигналами $\dot{\bar{E}}_x$ и $\dot{\bar{E}}_y$ на выходе линейного поляризационного разделителя.

С выходов плеч линейного поляризационного разделителя 5 ортогонально линейно поляризованные сигналы $\dot{\bar{E}}_x$ и $\dot{\bar{E}}_y$ поступают на входы фазового углового дискриминатора 6 (см. фиг.2), т.е. поступают соответственно на первые входы смесителей частоты 8 и 9, а на их вторые входы поступает сигнал с выхода гетеродина 11. После чего сигнал $\dot{\bar{E}}_x$ с выхода первого смесителя частоты 8 поступает на вход первого УПЧ

с ограничением по амплитуде 10, а сигнал $\dot{\vec{E}}_y$ с выхода второго смесителя частоты 9 через фазовращатель на 90° 12 поступает на вход второго УПЧ с ограничением по амплитуде 13. В УПЧ 10 и 13, имеющих идентичные амплитудно-фазочастотные характеристики, осуществляется усиление сигналов промежуточной частоты, а также производится их нормировка за счет амплитудного ограничения усиливаемых сигналов промежуточной частоты с порогом ограничения U_0. Затем выходной сигнал УПЧ 10 поступает на первый вход фазового детектора 14, а выходной сигнал УПЧ 13 поступает на второй вход фазового детектора 14. На выходе фазового детектора 14 формируется сигнал, пропорциональный синусу разности фаз $\Delta\varphi_{yx}=\varphi_y-\varphi_x$ входных сигналов, и имеет вид:

$$S(\gamma) = U_0 \cdot \sin(\varphi_y - \varphi_x) \qquad (43)$$

или с учетом (42)

$$S(\gamma) = U_0 \cdot \sin(\pm 2\gamma), \qquad (44)$$

где U_0=const.

С выхода фазового детектора 14 сигнал поступает на вход индикатора 7, шкала которого проградуирована, с учетом (44) в градусах угла крена γ ЛА.

В 3-см диапазоне волн заявляемое устройство измерения угла крена ЛА может быть выполнено следующим образом.

В качестве передатчика 1 может использоваться, например, стандартный генератор высокочастотных колебаний типа ГЧ-83.

В качестве передающей антенны 2 может быть использована рупорная антенна [9], которая имеет собственную линейную горизонтальную поляризацию.

Приемная антенна 3 может быть выполнена в виде круглого рупора [10].

Линейный поляризационный разделитель 5 выполнен в виде волновода круглого сечения с переходом на два ортогонально расположенных волноводов прямоугольного сечения [7].

Фазовый угловой дискриминатор может быть выполнен по известной схеме [11] фазо-фазовой моноимпульсной системы.

Индикатор 7 может быть выполнен в виде стрелочного прибора, шкала которого прокалибрована в градусах угла крена ЛА.

По сравнению с широко используемыми средствами измерения угла крена ЛА, основанными на применении гироскопических систем ориентации, заявляемые способ и устройство измерения угла крена ЛА позволяют избежать постоянного накапливания с течением времени ошибки измерения.

Источники информации

1. А.С.Александров, Г.Р.Арно и др. Современное состояние и тенденции развития зарубежных средств и систем навигации подвижных объектов военного и гражданского назначения. - Санкт-Петербург, 1994. - 119 с.

2. Д.С.Пельпор, В.В.Ягодкин. Гироскопические системы. - М., Высшая школа, 1977. - 216 с.

3. Агаджапов П.А., Воробьев В.Г. и др. Автоматизация самолетовождения и управления воздушным движением. - М.: Транспорт, 1980. - 357 с.

4. Ярлыков М.С. Статистическая теория радионавигации. - М.: Радио и связь, 1985. - 344 с.

5. Корнблит С. СВЧ-оптика. Пер. с англ./Под ред. О.П.Фролова. - М.: Связь, 1980.

- 360 с.

6. Аззам Р., Башара П. Эллипсометрия и поляризованный свет. - М.: Мир, 1981. - 588 с.

7. Канарейкин Д.Б., Потехин В.А. Поляризация радиолокационных сигналов. - М.: «Сов. радио», 1966. - 440 с.

8. Богородский В.В., Канарейкин Д.Б., Козлов А.И. Поляризация рассеянного и собственного радиоизлучения земных покровов. - Л.: Гидрометеоиздат, 1981. - 280 с.

9. Драбкин А.Л. и др. Антенно-фидерные устройства. - М.: «Сов. радио», 1974. - 535 с.

10. Жук М.С., Молочков Ю.Б. Проектирование антенно-фидерных устройств. - М.: «Энергия», 1966.

11. Леонов А.И., Фомичев К.И. Моноимпульсная радиолокация. - М.: «Радио и связь», 1984. - 312 с.

Формула изобретения

1. Способ измерения угла крена летательного аппарата при его движении на источник излучения электромагнитных волн, отличающийся тем, что из точки с известными координатами излучают горизонтально линейно поляризованные электромагнитные волны, вектор напряженности электрического поля $\vec{E}$ которых совпадает с горизонтальной плоскостью, принимают электромагнитные волны на борту летательного аппарата в собственном синфазном круговом поляризационном базисе, единичные орты которого соответствуют волнам с левой и правой круговой поляризацией, электрические векторы которых в момент времени t=0 совпадают с направлением вектора напряженности электрического поля $\vec{E}$, разделяют принятые электромагнитные волны на две ортогонально поляризованные по кругу составляющие правого $\vec{E}_R$ и левого $\vec{E}_L$ направления вращения вектора напряженности электрического поля $\vec{E}$, измеряют разность фаз между ними $\Delta\varphi_{RL}$, рассчитывают угол крена γ между поперечной осью летательного аппарата и горизонтальной плоскостью по формуле

$$\gamma[\text{град}] = \pm \frac{\Delta\varphi_{RL}}{2}[\text{град}]$$

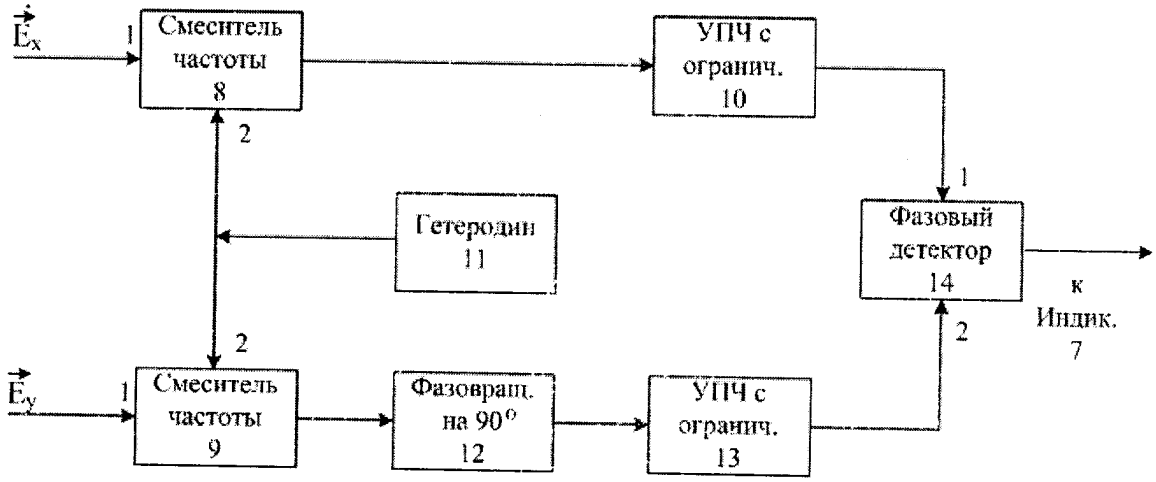
где $\Delta\varphi_{RL}=\varphi_R-\varphi_L$ - разность фаз между ортогонально поляризованными по кругу составляющими правого $\vec{E}_R$ и левого $\vec{E}_L$ направления вращения [град],

+γ - положительный угол крена (правое крыло, или поперечная ось ЛА, находится ниже горизонтальной плоскости),

-γ - отрицательный угол крена (правое крыло, или поперечная ось ЛА, находится выше горизонтальной плоскости),

2. Устройство для измерения угла крена летательного аппарата, отличающееся тем, что в точке с известными координатами располагается передатчик, выход которого подключен к входу передающей антенны с горизонтальной собственной поляризацией, и расположенная на борту летательного аппарата приемная антенна, выход которой подключен к входу секции круглого волновода со встроенной во внутрь четвертьволновой фазовой пластиной, выход которой подключен к входу линейного поляризационного разделителя, два выхода которого подключены к соответствующим двум входам фазового углового дискриминатора, выход которого подключен к входу индикатора, шкала которого прокалибрована в градусах угла крена летательного аппарата, причем вектор напряженности электрического поля излучаемых

горизонтально линейно поляризованных электромагнитных волн совпадает с горизонтальной плоскостью, четвертьволновая фазовая пластина ориентирована под углом -45° к широкой стенке прямоугольного волновода одного из плеч линейного поляризационного разделителя, а линейный поляризационный разделитель ориентирован так, что его собственные орты совпадают с вертикальной и поперечной осями летательного аппарата соответственно.


$\vec{E}_x$
1
Смеситель частоты 8
2
УПЧ с огранич. 10
1
Гетеродин 11
Фазовый детектор 14
к Индик. 7
2
2
$\vec{E}_y$
1
Смеситель частоты 9
Фазовращ. на 90° 12
УПЧ с огранич. 13

Фиг. 2