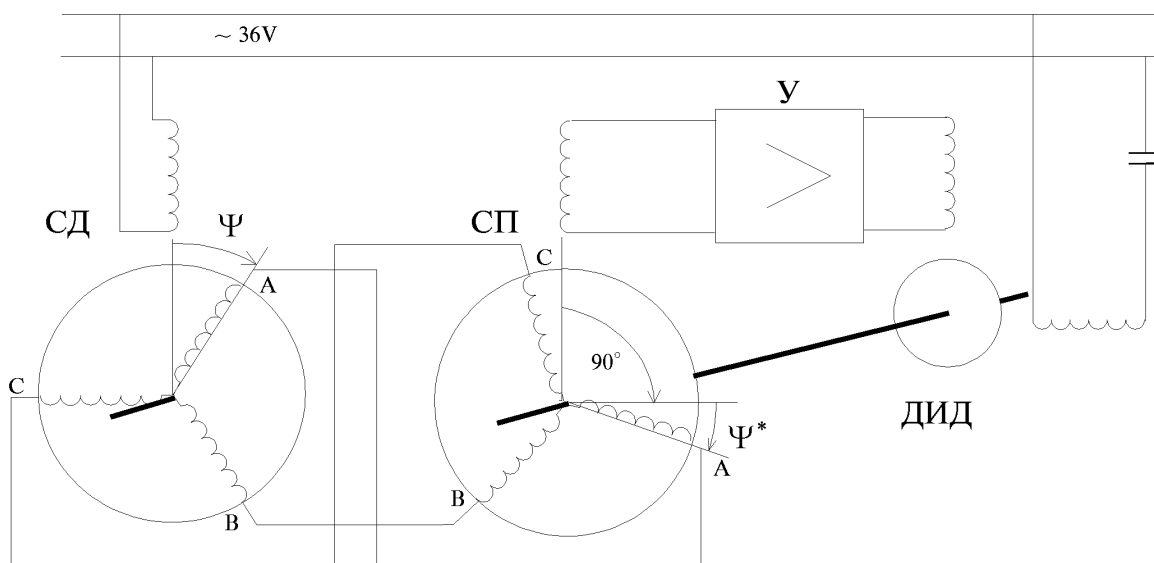


ПРЕОБРАЗУВАНЕ НА СИГНАЛА ЗА ЪГЪЛ НА КУРС, СЧЕМАН ОТ СЕЛСИН

А. Н. МАДЖАРОВ, М. Т. ТОДОРОВ

За летателните апарати един от основните пилотажно-навигационни параметри е ъгълът на курса. Проблемите при неговото измерване и визуализиране са свързани с това, че няма определен метод или прибор, които да дават задоволителна точност във всички условия и режими на полета. От жирокопическите датчици на ъгъл на курса информацията се получава като трифазна система напрежения. Това е така, когато сигналът за този ъгъл се сменя от селсин-датчик в карданното окачване на жирокоп (жирокопична система). Между жирокопичката и други агрегати (например указателя на курсовата система) или други системи (навигационен изчислител) се осъществява дистанционна електро-механична предавка от еднофазни селсин-датчик и селсин-приемник, работещи в трансформаторен режим (фиг.1).

При работа на селсини в трансформаторен режим възбудителната намотка на селсин-датчика СД е включена към захранваща променливо-токова мрежа. От възбудителната намотка на селсин-приемника СП се получава променливо напрежение, пропорционално на ъгъла на разсъгласуване. С това напрежение, усилено от усилвател У се захранва управляващата намотка на двуфазен индукционен двигател ДИД. Валът на



Фиг. 1

изпълнителния двигател е свързан механически с вала на селсин-приемника, така че след като се отработи зададен ъгъл ψ до ъгъл ψ^* селсин-приемникът се довежда до съгласувано положение, т.е. оста на намотката А застава на $90^\circ + \psi^*$ от оста на статорната намотка. Роторните намотки на двата селсина са свързани по между си и образуват линията за предаване на ъгъла ψ на разстояние. Отработвания ъгъл е ψ^* .

Променливият ток, протичащ във възбудителната намотка на датчика, създава пулсиращ магнитен поток. Индукираното в роторните намотки електродвижещо напрежение създава токове в линията за връзка и от там пулсиращ магнитен поток в приемника. При наличието на разсъгласуване ($\psi - \psi^*$) в положението на роторите на датчика и приемника, на входа на усилвателя се появява сигнал $E_{\text{изх}} = kE_{\text{мах}} \cos(\psi - \psi^*)$, където k е коефициент на трансформация, $E_{\text{мах}}$ е максималната ефективна стойност на сигнала, когато пулсиращото поле в приемника е паралелно на оста на статорната намотка. При съгласувано положение на роторите на датчика и приемника сигналът на входа на усилвателя е нулев. За да се получи съгласуваното положение на роторите, статорът на приемника се завърта предварително на 90° . Така, индукираното във възбудителната намотка на приемника напрежение е

$$U_{\text{изх}} \approx E_{\text{изх}} = kE_{\text{Амах}} \cos(90^\circ + \psi - \psi^*) = kE_{\text{Амах}} \sin(\psi^* - \psi). \quad (1)$$

Наличието на сигнал различен от нула на входа на усилвателя довежда до управление на двигателя и завъртане на ротора на приемника до $\psi = \psi^*$. Съществуват жирокопически и други датчици при които, изходна информация за ъгъл се предава от СД по трипроводна линия (фиг.1).

За намаляване на статическата и динамическата грешка при предаване на ъгъл, задоволяване изискванията на други потребители на курс или с цел последваща обработка на сигнала, се налага трифазната система напрежения да бъде преобразувана в постоянно токово напрежение или в цифров вид. Не винаги е икономически изгодно проектирането на нов датчик за нова система, ако е възможно използването на вече усвоен в производство. Предлаганото решение е валидно винаги, когато за снемане на ъгъл като датчик се използва селсин.

1. Същност на предлаганото разглеждане

В ротора на селсин-датчика СД (фиг. 1), създадения от захранващо напрежение $u = U_{\text{мах}} \sin \omega t$, пулсиращ магнитен поток индукира електродвижещо напрежение в трите фази на намотките за синхронизация:

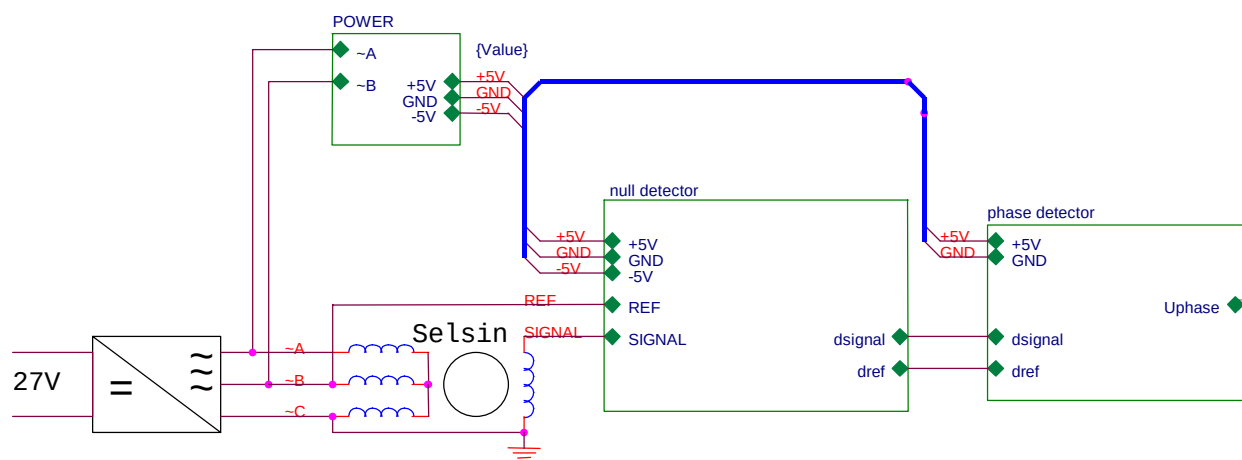
$$\begin{aligned} e_1 &= E_{\text{Амах}} \sin \omega t \cos \psi; & e_2 &= E_{\text{Амах}} \sin \omega t \cos(\psi + 120^\circ); \\ e_3 &= E_{\text{Амах}} \sin \omega t \cos(\psi - 120^\circ), \end{aligned} \quad (2)$$

където $E_{A_{max}}$ е неговата максимална стойност, когато оста на намотката на първа фаза А съвпада с оста на възбудителната намотка.

Полезната информация, в този сигнал, е ъгълът между ротор и статор на селсина. Конкретно, ъгъл ψ е между оста на възбудителната намотка и оста на първата фаза на ротора. Логично е, когато имаме електрически величини в ротора и статора, да търсим дефазиранието между тях. То би трябвало да е пропорционално на ψ .

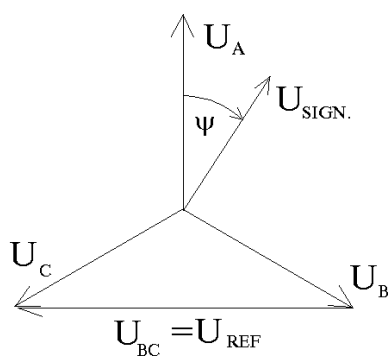
Предлагаме, роторните намотки на селсин СД да станат възбудителни, като се захранят от източник на трифазно напрежение (фиг. 2):

$$u_1 = U \sin \omega t; u_2 = U \sin(\omega t + 120^\circ); u_3 = U \sin(\omega t - 120^\circ). \quad (3)$$



Фиг. 2

В магнитопровода на селсина ще се създаде въртящо се магнитно поле, породено от тези три пулсиращи и изместени в пространството магнитни полета. В статорната намотка, вече служеща за сигнална, ще се индукира



фиг. 3

електродвижещо напрежение със същата честота. За да измерваме ъгъла между ротор и статор е достатъчно да получим електрически сигнал за дефазиранието между фазното напрежение на първа фаза (А) и сигналната намотка. Но селсините обикновено нямат изведен нулев проводник, а ако същото се отнася и за трифазния източник, то като опорен сигнал трябва да използваме едно от линейните напрежения.

Като начало за отчитане на ъгъл $\psi[0, 2\pi)$ ще считаме оста на намотката на селсина, захранвана от фаза А. При симетрично натоварване на трифазния източник, фазовото напрежение $\dot{U}_{BC}$ ще е дефазирано спрямо линейното $\dot{U}_A$ на -90° (фиг. 3). Линейното напрежение u_{BC} на източника ще използваме за

опорно $u_{REF} = u_{BC}$, за да търсим дефазирането на индуктираното u_{SIGNAL} в завъртания на ъгъл $\psi[0,2\pi)$ ротор. Необходимо е да се отбележи, че в този случай (за $\psi=0$), роторът трябва предварително да е поставен на -90° относно нулевата ос за отчитане на ψ (оста на намотката запазена с фаза А).

2. Фазов детектор

От фазовите детектори най-често се използват цифровите. Детектори с умножение се използват на практика рядко и най-вече защото са достъпни в интегрално изпълнение. При еднаква честота на входните сигнали, но различна фаза:

$$u_{REF} = \frac{1}{\sqrt{3}} U \sin(\omega t - 90^\circ) = \frac{-U}{\sqrt{3}} \cos \omega t; \quad u_{SIGNAL} = kU \sin(\omega t + \psi),$$

изходният сигнал от фазовия детектор ще бъде:

$$u_{ph} = u_{REF} u_{SIGNAL} = \frac{-k}{\sqrt{3}} U^2 \cos \omega t \sin(\omega t + \psi) = U_m \sin \psi + \text{високо честотни}$$

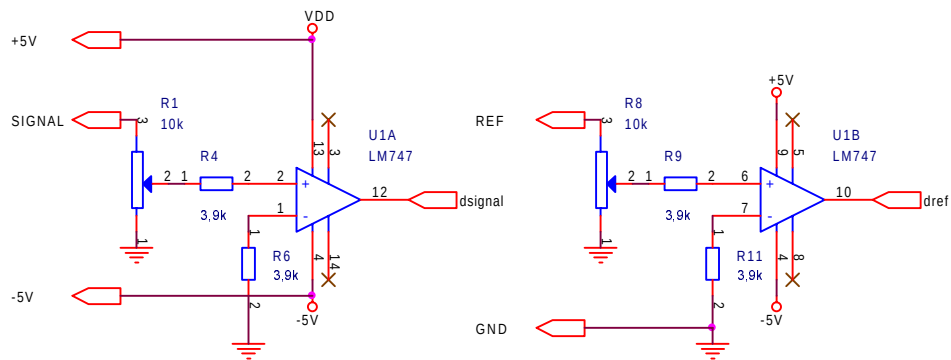
съставлящи.

Ако след това този сигнал се пропусне през филтър за ниски честоти, то изходния сигнал ще е пропорционален на синуса на входната фазова грешка $U_{ph} \approx \sin \psi$. Линеиност ще има при малки ψ , а използвания диапазон ще е $\pm \pi / 2$. В [2] са споменати аналогови четириквдрантни умножители AD532 на фирмата Analog Devices, 8013 на Intersil и 3091 на фирмата RCA. Това са линейни прибори и при всичките им достоинства имат висока цена в сравнение с ключовите детектори от типа CD4046 (RCA) или MC4343/4044 на Motorola.

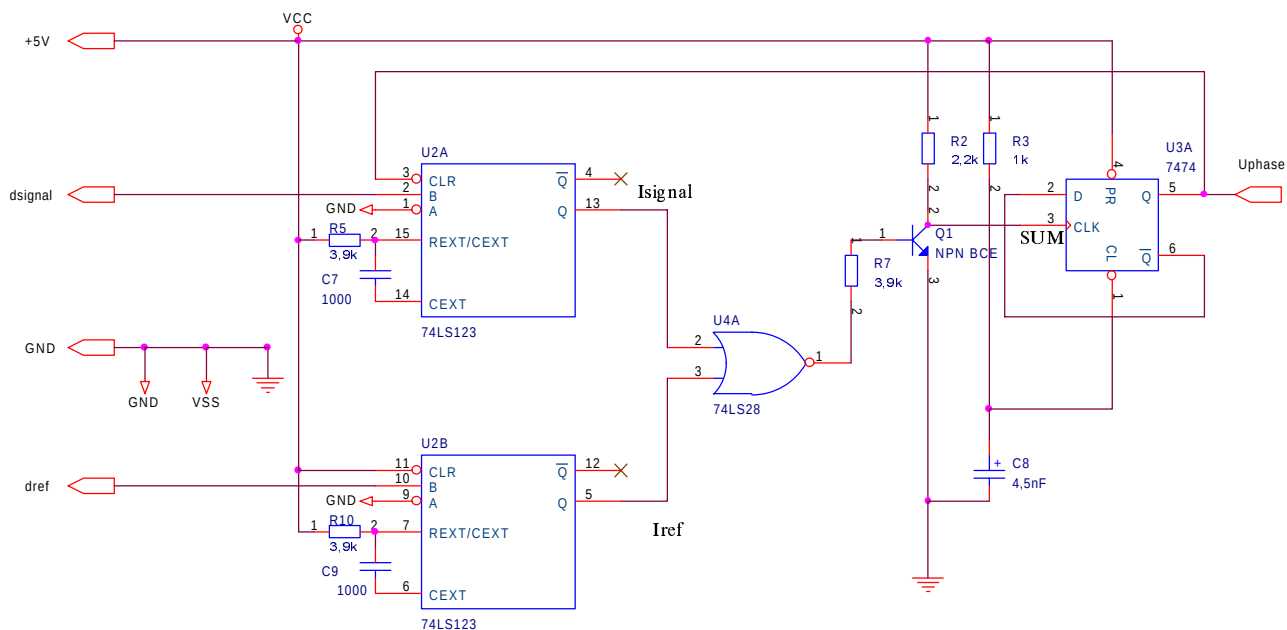
Ние предлагаме да се използва цифровия фазов детектор от фиг. 4, конструиран на базата на един D тригер.

3. Описание на схемата

Двата входни сигнала u_{REF} , u_{SIGNAL} постъпват на мащабиращи потенциометри за ограничаване на амплитудите и от там на компаратори, построени от сдвоения операционен усилвател LM747 (фиг. 4а). Компараторите U1, при захранващи напрежения $\pm 5V$, формират правоъгълни поредици d_{ref} , d_{signal} с входната честота. По този начин отпада необходимостта входните сигнали да имат чиста синусоидална форма (фиг. 5). Като информационен параметър остава само дефазирането между тях. За измерване на ψ в диапазона $[0, 2\pi)$ от правоъгълните поредици отделяме само нарастващите предни фронтове. Това извършват двата чакащи мултивибратора U2, в общ корпус.

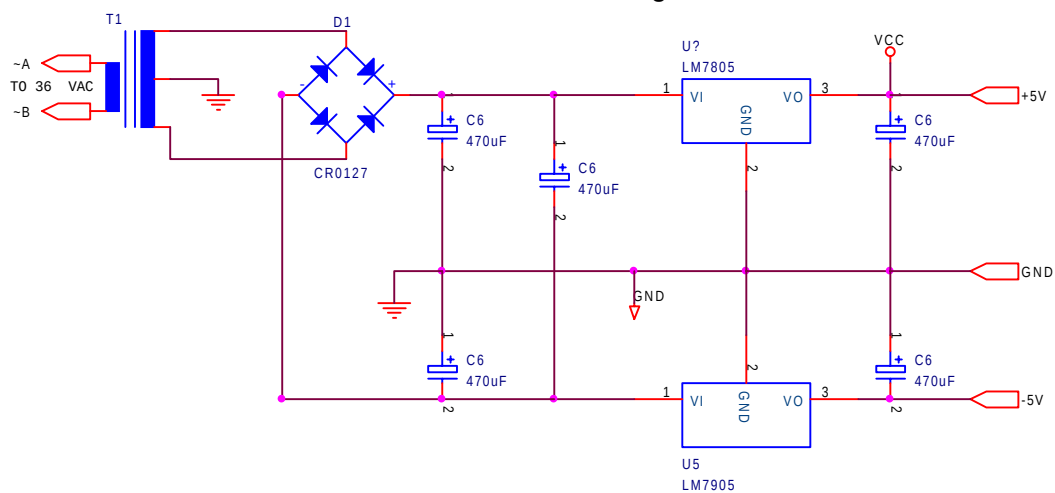


Фиг. 4а

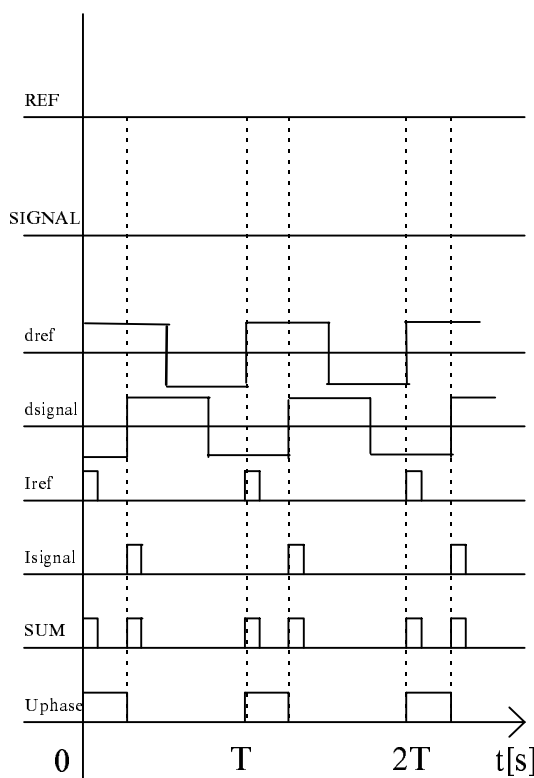


Фиг. 4б

Power Regulator Circuit



Фиг. 4в



Фиг. 5

На изхода си те формират правоъгълни импулси с продължителност $t_{\text{и}}$ и повторение на всеки нарастващ преден фронт.

Сумирането на двете поредици се извършва от U4 (1/4 74LS28) и инвертор (транзистор Q1), за да се подаде като единна поредица от положителни импулси на тактовия вход CLK на D тригера (U3- 7474). От обратната връзка $D^{n-1} = Q^n$, D тригерът при първия импулс установява изход Q в 1, а при втория тактов импулс $Q=0$. На изход Q имаме положителни импулси U_{phase} с период на повторение определен от честотата на входните сигнали f и коефициент на запълване $\tau = t_{\text{и}} / T = \frac{t_{\text{и}}}{2\pi} \omega$ (от 0 до 1),

пропорционален на ъгъл ψ при диапазон

на преобразуване $[0, 2\pi)$. Време диаграмата е показана на фиг. 5.

На фиг. 6 е показана статичната характеристика на предлагания фазов преобразувател.

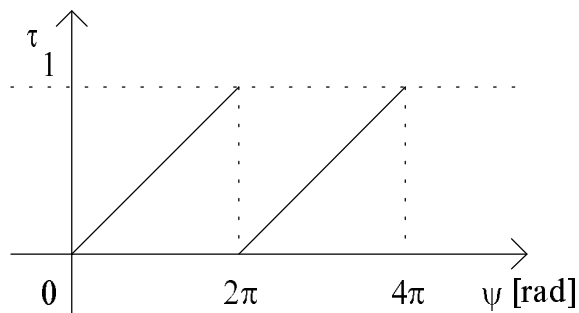
Началното установяване на тригера се извършва от R3, C8 чрез входа CL. Начално установяване за суматора U4 става от обратната връзка Q на U3 към CLR на U2A. Тази обратна връзка осигурява установяване за тригера $Q=1$ само от опорен импулс и преминаване в състояние $Q=0$ само от сигнален импулс.

4. Разчет по схемата

Продължителността на формираните от чакащите мултивибратори импулси $t_{\text{и}}$ определя минималната стойност на измервания ъгъл ψ , т. е. прага на преобразуването. Средните максимални грешки в ъглови минути за селсин датчици са [5, стр.83]: за 1 клас на точност $\pm 15'$, за 2 клас на точност $\pm 30'$, за 3 клас на точност $\pm 60'$. При честота 400Hz на захранващото селсина напрежение периода на входните сигнали има продължителност 2,5ms, което съответства на 360° . Или на един градус ($60'$) са приблизително 7μs. Съгласно [4] за серията 74LS123 имаме $t_{\text{и}} = 0,45RC$ [ns], където R е в kΩ, C е в pF. При $R=3,9$ kΩ и $C=1000$ pF получаваме $t_{\text{и}}=1,755\mu\text{s}$. Следователно избраните стойности осигуряват долен праг на преобразуването на ъгъл, снеман от селсин, под максималната грешка на селсина от 1 клас на точност.

5. Изводи и предложения за приложение

Предлага се електрическа схема на нестандартно свързване на селсин-датчик, снимащ сигнала за ъгъл $\psi[0,2\pi)$ на курса от жирокопически датчик. Синтезиран е цифров фазов детектор, преобразуващ физическата величина ъгъл в електрически сигнал - правоъгълни импулси с TTL ниво и коефициент на запълване τ пропорционален на измервания ъгъл.



Фиг. 6

При необходимост сигнала за ъгъл $\psi[0,2\pi)$ да се използва като постоянно напрежение, изменящо се в даден диапазон, е необходимо изходния сигнал U_{phase} да се пропусне през нискочестотен филтър (интегратор [2]), проектиран за честотата f (400Hz) на захранващото напрежение. При проектирането на интегратора е възможно да се отчете и необходимостта изходното напрежение да е в диапазоните $0 \div V_{\text{cc}}$ или $\pm V_{\text{cc}}$, където V_{cc} е използваното захранване на операционен усилвател, реализиращ интегратора.

Преобразуването на U_{phase} в цифров код може да се извърши по следния начин [6, стр.372]: сигнала от тактов генератор с $f_g > 360f$ се пропусне през ключов елемент, сработван от U_{phase} ; последователно се добави брояч на импулсите f_g с необходимата разрядност.

ЛИТЕРАТУРА

1. Брускин Д. Э., А. Е. Зорохович, В. С. Хвостов. Электрические машины и микромашины. -М.: Высшая школа, 1990. - 528с.
2. Применение интегральных схем. / В 2-х книгах, Книга 1. Под ред. Уилямса А.Б., перев. с англ. под ред. Теплюка, -М.: Мир, 1987. - 432с.
3. Зевеке Г. В., П. А. Ионкин и др. Основы теории цепей. -М.: Энергоатомиздат, 1989. -528с.
4. Конов К. И. Кратък справочник по цифрови интегрални схеми. -С.: Техника, 1986. -342стр.
5. Андреев В. Д. и др. Основы проектирования следящих систем. / Под ред. Н. А. Лакоты, -М.: Машиностроение, 1978 - 388с.
6. Никитин Е. А., С.А. Шеспов, В. А. Матвеев. Гирокопические системы. Книга 3. Элементы гироскопических приборов. -М.: Высшая школа, 1988. -432с.