

$v_z = \frac{q_z c}{q_0}$ и радиусом $\gamma \frac{mc}{|kq|}$. Для среднего значения импульса \bar{q} справедливо соотношение $\bar{q}^2 = m_*^2 c^2$, где $m_* = \sqrt{m^2 + \frac{e^2 a^2}{c^4}}$ играет роль эффективной массы электрона в поле волны.

Перейдем к решению уравнения Клейна — Гордона. Его решение ищем в виде

$$\psi = \exp\left(-\frac{i p x}{\hbar}\right) F(\varphi).$$

Для функции F , учитывая, что $k^2 \neq 0$, получим уравнение

$$\hbar^2 k^2 F'' - 2i \hbar (pk) F' + \left[\frac{2e}{c} (Ap) - \frac{e^2}{c^2} A^2 \right] F = 0,$$

которое с помощью подстановки

$$F = \exp\left\{\frac{i(pk)}{\hbar k^2} \varphi\right\} F_1(\varphi) \quad (11)$$

преобразуется к уравнению Хилла:

$$F_1'' + \frac{1}{\hbar^2 k^4} \left\{ (pk)^2 + k^2 \left[\frac{2e}{c} (pA) - \frac{e^2}{c^2} A^2 \right] \right\} F_1 = 0 \quad (12)$$

В том случае, когда выполняются условия применимости ВКБ-метода

$$\frac{d}{d\varphi} \left| \frac{\hbar k^2}{R} \right| \ll 1,$$

решение уравнения Клейна — Гордона $\psi = \exp(iS/\hbar)$, где S — действие, определенное формулой (5).

Если волна имеет циркулярную поляризацию, то (12) переходит в хорошо изученное уравнение Матве [9, 10].

В заключение авторы благодарят участников семинара проф. А. А. Соколова за обсуждение работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Reiss H. R., Eberly J. H. Phys. Rev., **151**, 1058, 1966.
2. Ehlotzky F. Zs. Phys., **203**, 119, 1967.
3. Ландау Л. Д., Лифшиц С. М. Теория поля. М., Физматгиз, 1960, стр. 139.
4. Volkov D. M. Zs. Phys., **94**, 250, 1935; ЖТЭФ, **8**, 126, 1937.
5. Schwinger J. Proc. Nat. Acad. Sci., **40**, 132, 1954.
6. Байер В. Н., Катков В. М. ЖЭТФ, **53**, 194, 1968.
7. Берестецкий В. Б., Лифшиц Е. М., Питаевский Л. П. Релятивистская квантовая теория, § 40. «Наука», 1968.
8. Гинзбург В. Л. «Успехи физических наук», **69**, 537, 1959.
9. Мак-Лаклан Н. В. Теория и приложения функций Матве. М., ИЛ, 1953.
10. Бейтман Г., Эрдейи А. Высшие трансцендентные функции. М., «Наука», 1967, стр. 136.

Поступила в редакцию
23.10 1970 г.

Кафедра
теоретической физики

Н. К. ШЕЛКОВНИКОВ, Н. П. СИЛАЕВ, В. Ф. МАХРОВ

ЭЛЕКТРОННЫЙ ПРИБОР ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ПУЛЬСАЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ

Для измерения пульсаций скорости v' и температуры t' в море наиболее часто применяется метод, связанный с использованием термосопротивления в измерительном мосту постоянного или переменного тока с ручной или автоматической регули-

ровкой баланса [1, 2, 3]. Существенным недостатком таких приборов является необходимость балансировки моста, что приводит к усложнению аппаратуры, особенно в случае дистанционного управления.

Другим способом измерения t' является метод, основанный на применении термпары в исследуемую среду изменения ее температуры. При помещении рабочего спая термопары в исследуемую среду изменение ее температуры среды. Второй (инерци-

статком таких приборов является необходимость балансировки моста, что приводит к усложнению аппаратуры, особенно в случае дистанционного управления.

метод, основанный на применении термпары в исследуемую среду изменения ее температуры среды. Второй (инерци-

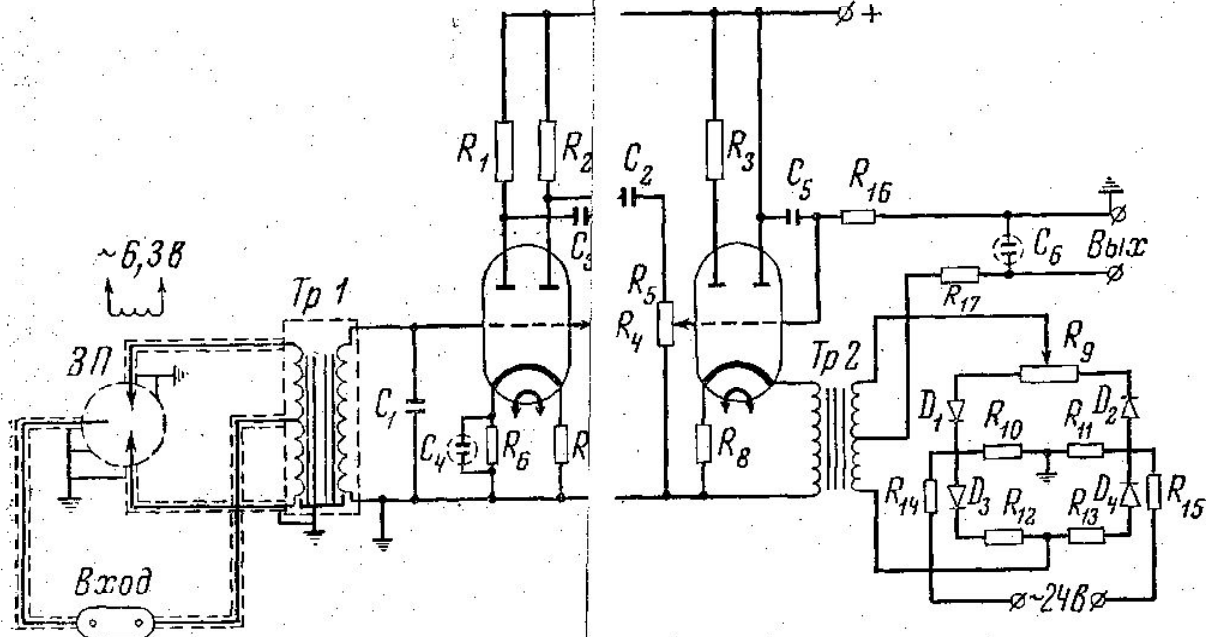


Рис. 1

онный) спай термопары должен обладать инерционностью. При помещении инерционного спая в исследуемую среду возможность одновременно определять t' и температуру T .

В данной работе описан пример для измерения пульсаций температуры в море. При разработке к прибору были предъявлены следующие требования: 1) прибор должен обеспечивать непрерывную и надежную регистрацию пульсаций температуры в море до глубины ~ 200 м; 2) чувствительность прибора к пульсациям температуры должна быть не менее $0,005^\circ\text{C}$ при использовании шлейфового осциллографа со шлейфом чувствительностью 10^{-5} — 10^{-6} а и регистрирующего трактов не должна превышать $0,1$ эк; 4) габариты датчиков не должны превышать 5 мм.

Регистрация t' с борта корабля довольно затруднительна, так как из-за качки и вибрации корабля высокочувствительные шлейфы использовать невозможно, а для менее чувствительных необходимо предварительное усиление аналогового сигнала.

Разработанный прибор состоит из термометрического датчика, каскада преобразования исследуемого сигнала, усилителя, работающего на несущей частоте, фазового детектора и регистратора. Принципиальная схема электронной части прибора приведена на рис. 1, а амплитудная и частотная характеристики усилителя — на рис. 2.

Температурный датчик состоит из 8 последовательно соединенных хромель-копелевых датчиков. Каскад преобразования состоит из входного трансформатора. Вибропреобразователь служит для получения несущей частоты промодулированной аналоговым сигналом, поступающий с вибратора, поступает на каскад усиления, состоящий из одной ступени усиления мощности.

инерцией, превышающей инерцию рабочего термостат при обработке появляется возмущение температуры T .

измерения пульсаций температуры в море. При разработке к прибору были предъявлены следующие требования: 1) прибор должен обеспечивать непрерывную и надежную регистрацию пульсаций температуры в море до глубины ~ 200 м; 2) чувствительность прибора к пульсациям температуры должна быть не менее $0,005^\circ\text{C}$ при использовании шлейфового осциллографа со шлейфом чувствительностью 10^{-5} — 10^{-6} а и регистрирующего трактов не должна превышать $0,1$ эк; 4) габариты датчиков не должны превышать 5 мм.

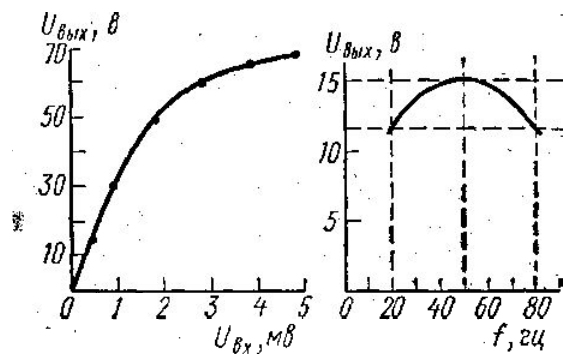


Рис. 2

ых термопар, помещенных в специальный защитный кожух. Каскад преобразования состоит из электромеханического вибропреобразователя, служащего для получения несущей частоты промодулированной аналоговым сигналом. Входной трансформатор усиливает сигнал, поступающий с вибратора, в 10 раз. С выхода трансформатора сигнал поступает на каскад усиления, состоящий из трех ступеней усиления напряжения и

Усилитель напряжения собран по релаксационной схеме на двойных триодах 6Н2П, причем вторая и третья ступени имеют регулировку усиления (R_4 и R_5). Коэффициент усиления по напряжению достигает 1200. Усилитель мощности является выходным каскадом, собранным по схеме с трансформаторным выходом, и служит для согласования усилительного каскада с входом регистратора. В качестве согласующего элемента использован трансформатор с коэффициентом передачи 4:1, включенный в цепь катода. Со вторичной обмотки трансформатора сигнал подается на фазовый детектор, питаемый напряжением 24 в (50 гц). Балансировка плеч детектора производится сопротивлением R_6 . Усиленный и продетектированный сигнал после RC-фильтра (R_{17} , C_6), поступает на регистрирующий прибор, в данном случае — шлейфовый осциллограф Н-700.

При разработке усилительного тракта был тщательно произведен анализ всевозможных шумов и приняты меры к их подавлению. Существенное влияние на возникновение шумов на входе усилительного каскада оказывают вибропреобразователь и входной трансформатор. Контактные шумы вибропреобразователя сводились к минимуму точной его настройкой, а шумы, обусловленные взаимодействием якоря и обмотки возбуждения, — тщательной экранировкой вибратора. Для уменьшения шумов трансформатора его обмотки секционировались и наматывались на пермалловый сердечник. От влияния внешних наводок трансформатор был заэкранирован пермалловым кожухом. Высокочастотные наводки на входе усилительного каскада отфильтровывались емкостью C_1 . Принятые меры обеспечивали минимальный тепловой шум на входе первой лампы усилительного каскада. Этот шум по формуле Найквиста [4]:

$$U_n = \frac{1}{8} \sqrt{\frac{T}{290}} \sqrt{R \Delta f}$$

(где T — абсолютная температура, R — входное сопротивление, Δf — полоса пропускания, гц) при $R \approx 6 \text{ ком}$, $\Delta f = 0,06 \text{ гц}$ и $T \approx 293^\circ \text{ К}$ составляет примерно 0,1 мв. Применение триодов в усилительном тракте было вызвано малым дробовым шумом этих ламп и большим линейным участком их амплитудной характеристики. При разработке схемы также учитывалось, что наибольший вклад в отношение сигнал/шум на входе усилителя вносит фликер-шум электронной лампы первой ступени усилителя, поэтому необходимо подбирать входную лампу с наименьшим фликер-шумом.

Электронная часть прибора представляет собой отдельный блок, который можно помещать в специальный герметически закрывающийся контейнер. Датчик прибора может быть удален на расстояние, определяемое сопротивлением подводющих проводов, для которых должно выполняться условие $Z_{\text{пр}} \ll Z_{\text{тр}}$, где $Z_{\text{пр}}$ и $Z_{\text{тр}}$ — импедансы подводющих проводов и первичной обмотки трансформатора.

Инерция прибора составляет 0,08 сек, а чувствительность — $0,004^\circ \text{ С}$ на миллиметр осциллограммы. Испытания показали, что разработанный прибор надежен и удобен в работе. В случае необходимости терморезисторный датчик может быть заменен на термистор МТ-54, включенный в мост постоянного тока.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колесников А. Г., Пыркин Ю. Г., Пантелеева Н. А., Петров В. П., Иванов В. Н. «Изв. АН СССР», сер. геофизич., № 3, 1958.
2. Хунджуа Г. Г. «Вестн. Моск. ун-та», физ., астрон., № 6, 1960.
3. Шелковников Н. К., Миркотан С. Ф., Хунджуа Г. Г. «Вестн. Моск. ун-та», физ., астрон., № 1, 1968.
4. Рамм Г. С. Электронные усилители. М., «Связь», 1964.

Поступила в редакцию
29.10 1970 г.

Кафедра
физики моря и вод суши