

ПЕРСПЕКТИВЫ И НЕКОТОРЫЕ ВАРИАНТЫ ПОСТРОЕНИЯ ТЕРМОАНЕМОМЕТРОВ С НЕСТАЦИОНАРНЫМ РЕЖИМОМ РАЗОГРЕВА ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА

Кузнецов Д.Н., Украинский Ю.Д.

Донецкий национальный технический университет,
кафедра электронной техники.

Abstract

Kuznetsov D. Ukrainskiy Y. Some variants of construction measuring thermal constant time of a sensitive element on a basis anemometer of constant temperature. The variants of construction of an analog part pulse anemometer, consisting from anemometer of constant temperature, thermometer and block of switching of modes are considered. The results of experimental researches of a skilled sample pulse anemometer are given.

Общая постановка проблемы. Задача энергосбережения и рационального использования энергоресурсов сегодня для Украины весьма актуальна. Ее решение предполагает наличие современных средств учета энергоносителей, в том числе расходомеров природного газа. Для газопроводов большого диаметра перспективными являются расходомеры, основанные на методике измерений расхода по скорости газа в одной точке поперечного сечения трубы. В качестве измерителей локальной скорости газа некоторое распространение получили термоанемометры постоянной температуры, основанные на зависимости интенсивности конвективного теплообмена разогретого до определенной температуры чувствительного элемента (ЧЭ) от скорости потока газа. Существенным недостатком термоанемометров постоянной температуры (и постоянного тока) является сильная зависимость их показаний от температуры газа, что обуславливает необходимость тщательной градуировки каждого измерителя при различных температурах газа. Это существенно усложняет процесс градуировки, увеличивает время градуировки, ужесточает требования к оборудованию и, в конечном счете, негативно сказывается на конечной стоимости прибора.

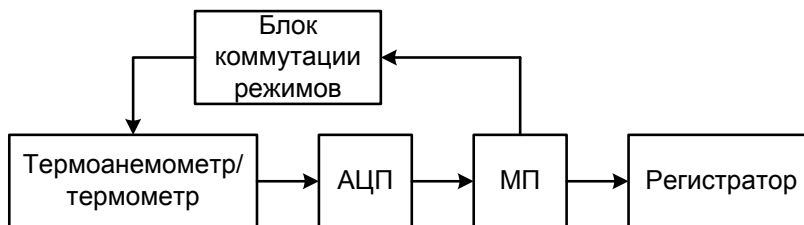
Постановка задачи. Отмеченного недостатка во многом лишены термоанемометры с нестационарным режимом разогрева чувствительного элемента (ЧЭ), так называемые, импульсные термоанемометры (ИТА), принцип действия которых основан на зависимости тепловой постоянной времени (ТПВ) ЧЭ τ от скорости потока газа v . Основное достоинство ИТА состоит в том, что ТПВ слабо зависит от температуры газа, что подтвердили результаты математического моделирования градуировочной характеристики ИТА, полученные Чуйко В. в работе [1].

Однако метод измерений скорости газа, основанный на зависимости ТПВ ЧЭ от скорости потока газа пока не нашел широкого распространения вследствие сложности его аппаратной реализации. В настоящее время благодаря успехам в развитии микроэлектроники и микропроцессорной техники реализация данного метода измерений стала реальной и доступной.

Решение задачи и результаты исследований. Рассмотрим некоторые варианты построения ИТА на основе термоанемометра постоянной температуры. Структурная схема измерителя представлена на рисунке 1. Измеритель работает в двух режимах: режиме больших токов (режим термоанемометра постоянной температуры) и режиме малого тока (режим термометра). Для переключения режимов используется блок коммутации режимов. Режим термоанемометра используется для разогрева ЧЭ до заданной температуры, режим термометра — для измерения текущей температуры ЧЭ.

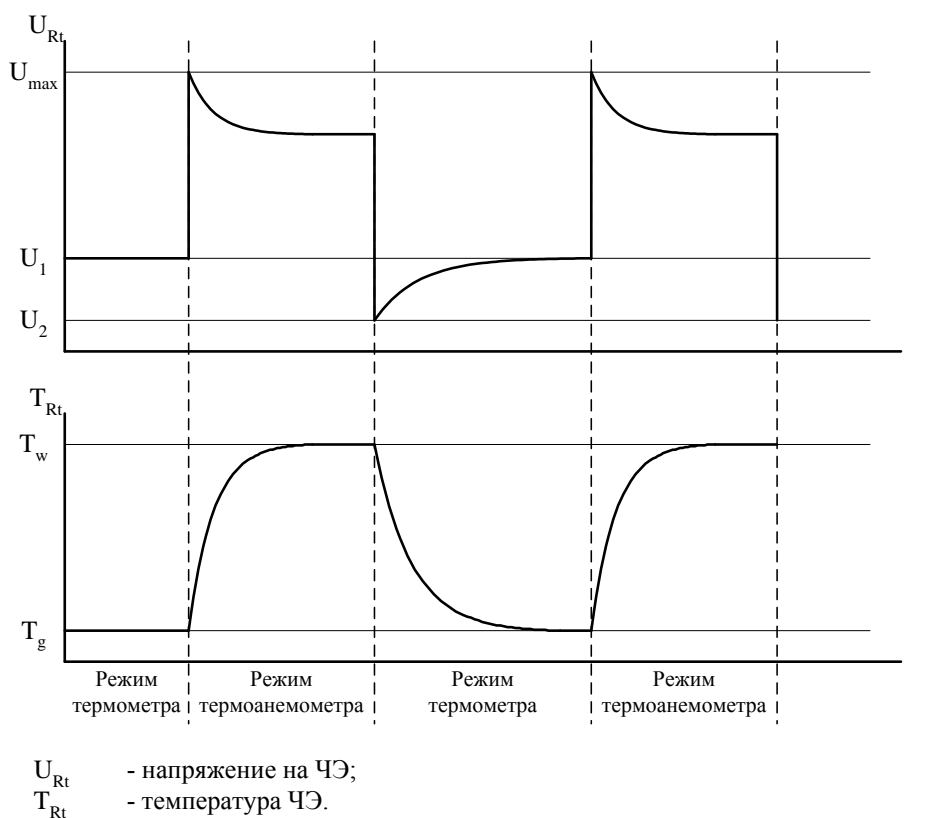
Способ измерения ТПВ заключается в реализации следующих действий (рис.2):

- 1) ИТА переводится в режим термоанемометра постоянной температуры и ЧЭ разогревается до заданной температуры T_w ;
- 2) ИТА переключается в режим термометра и снимается переходная характеристика остывания ЧЭ;
- 3) выполняется комплексная микропроцессорная обработка полученных результатов с целью определения ТПВ ЧЭ.



АЦП - аналого-цифровой преобразователь;
 МП - микропроцессор.

Рисунок 1 — Структурная схема ИТА



U_{Rt} - напряжение на ЧЭ;
 T_{Rt} - температура ЧЭ.

Рисунок 2 — Диаграммы, поясняющие работу ИТА

Варианты построения аналоговой части ИТА, включающей в себя термоанемометр постоянной температуры, термометр и блок коммутации режимов, представлены на рисунках 3 и 4. Первый вариант отличается простотой реализации т.к. содержит только один операционный усилитель (ОУ), а для коммутации режимов термоанемометр/термометр используется единственный ключ S1.

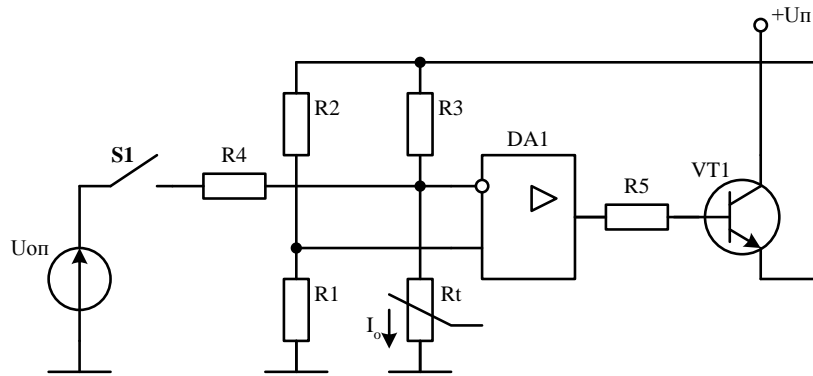


Рисунок 3 — Аналоговая часть ИТА на базе мостовой схемы термоанемометра постоянной температуры

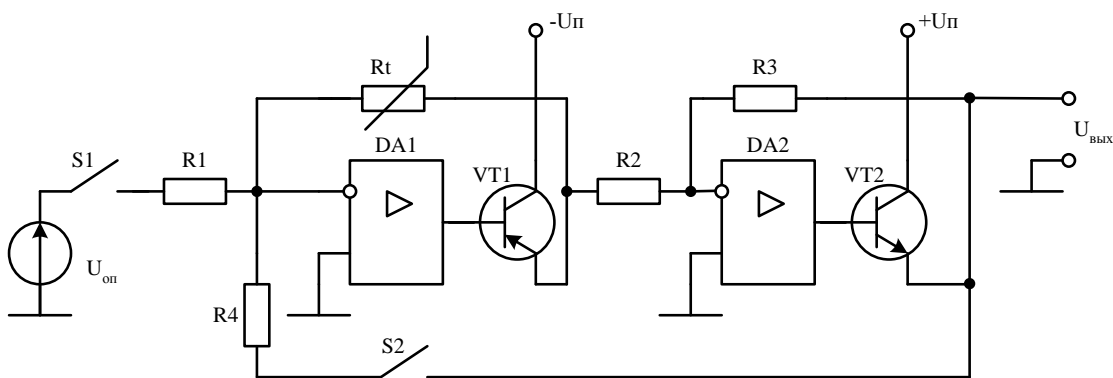


Рисунок 4 — Усовершенствованная аналоговая часть ИТА на двух операционных усилителях

В разомкнутом состоянии контактов ключа S1 имеем термоанемометр постоянной температуры, построенный по классической мостовой схеме. В установившемся режиме мост сбалансирован и выполняется равенство

$$R_t = \frac{R_1 \cdot R_3}{R_2} \tag{1}$$

При замыкании ключа S1 схема переводится в режим термометра. В этом режиме через ЧЭ R_t протекает малый стабильный ток

$$I_0 = \frac{U_{оп}}{R_4} \tag{2}$$

К недостаткам схемы рис.3 следует отнести малый уровень напряжения опорного источника ($U_{оп} \leq 50$ мВ) и малый уровень выходного напряжения $U_{вых}$ в режиме термометра.

Отмеченных недостатков лишена схема рис.4. Для перехода в режим термометра постоянной температуры достаточно замкнуть ключ S2, в режим термометра — замкнуть S1 и разомкнуть S2. В режиме термометра сопротивление ЧЭ поддерживается постоянным, равным

$$R_t = \frac{R_2 \cdot R_4}{R_3} \tag{3}$$

Ток чувствительного элемента в режиме термометра определяется соотношением

$$I_0 = \frac{U_{оп}}{R_1} \tag{4}$$

Из соотношений (2) и (3) следует, что резистор R_4 определяет режим работы термометра в первой схеме и режим работы термометра во второй. Его сопро-

тивление в обеих схемах относительно мало и соизмеримо с сопротивлением R_t ЧЭ в режиме термоанемометра, т.е. при максимальной температуре T_w . Последовательно с резистором R_4 в рассмотренных схемах включены ключи $S1$ и $S2$ для коммутации режимов работы ИТА. Для того, чтобы остаточное сопротивление ключей в замкнутом состоянии $R_{к\text{вкл}}$ существенно не влияло на точность установки режимов ИТА необходимо выполнить условие

$$R_{к\text{вкл}} \leq \frac{R_t(T_w)}{100}. \tag{5}$$

В случае применения в роли чувствительного элемента термистора имеем $R_t(T_w) \leq 200 \text{ Ом}$ и, согласно (5), $R_{к\text{вкл}} \leq 2 \text{ Ом}$. Последнее условие является достаточно жестким, т.к. электронные ключи и коммутаторы имеют остаточное сопротивление в открытом состоянии порядка десятков и сотен Ом , а электромагнитные реле не отвечают требованиям искробезопасности вследствие большой индуктивности их обмоток.

На рисунке 5а представлена схема, позволяющая компенсировать большое остаточное сопротивление R_k электронного коммутатора. В состоянии с замкнутыми контактами 1 и 2 на инвертирующий вход ОУ подается напряжение питания положительной полярности. ОУ при этом работает в режиме компаратора и на его выходе устанавливается максимальное отрицательное напряжение. Диод VD1 закрывается и изолирует точки А и В друг относительно друга. При замыкании контактов 1 и 3 электронного коммутатора ОУ работает в режиме повторителя напряжения и обеспечивает равенство потенциалов точек А и В, что эквивалентно нулевому сопротивлению между ними.

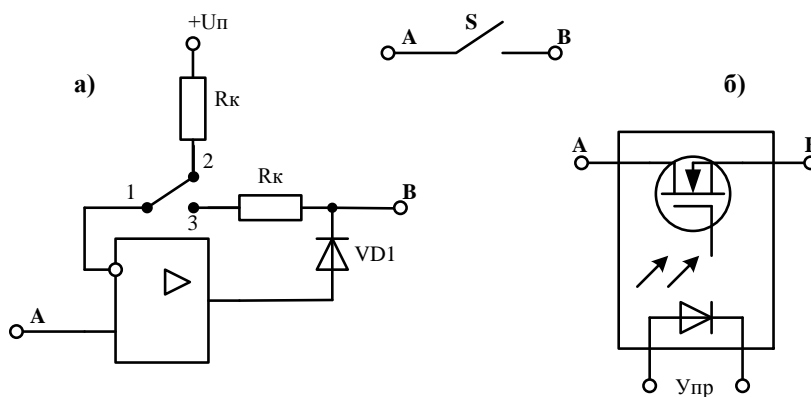


Рисунок 5 — Варианты реализации ключей коммутации режимов работы ИТА:
 а) схема компенсации остаточного сопротивления электронного коммутатора;
 б) схема твердотельного реле.

На рисунке 5б представлен вариант построения ключа коммутации режимов работы ИТА на базе твердотельного реле. Положительным в них является отсутствие катушки Индуктивности и гальваническая развязка силовых цепей и контактов управления. Сопротивление некоторых современных твердотельных реле в открытом состоянии не превышает единиц Ом и даже долей Ом . В качестве примера на рис.6 представлена типовая температурная зависимость сопротивления во включенном состоянии твердотельного реле PVDZ172N фирмы International Ior Rectifier.

В СКТБ «Турбулентность» был изготовлен опытный образец ИТА с аналоговой частью построенной по схеме рис.4. Для коммутации режимов термоанемометр/термометр использован коммутатор аналоговых сигналов КР590КН4 со схемой компенсации остаточного сопротивления (рис.5а). В роли ЧЭ использован миниатюрный термистор фирмы Epcos в стеклянной оболочке

На рис.7 представлены градуировочные зависимости ИТА полученные экспериментально на воздухе в аэродинамическом стенде АДС200/250 в диапазоне скоростей от 1 до 15 м/с при температурах 20 °С и 45 °С. Результаты экспериментальных исследований хорошо сочетаются с результатами мат. моделирования и подтверждают, что ТПВ ЧЭ слабо зависит от температуры газа.

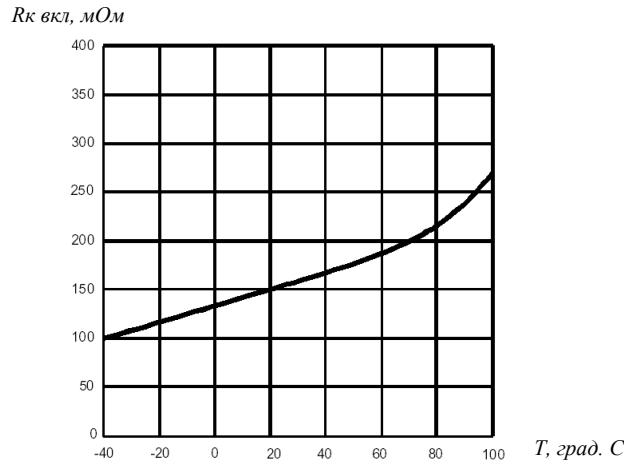


Рисунок 6 — Типовая температурная зависимость сопротивления во включенном состоянии твердотельного реле PVDZ172N

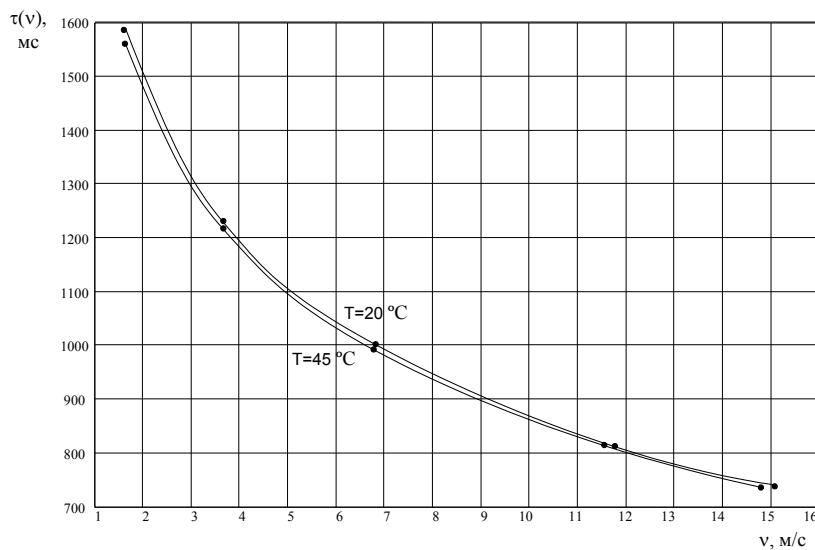


Рисунок 7 — Экспериментальные градуировочные характеристики опытного ИТА

Выводы. 1. Рассмотренные варианты построения ИТА обеспечивают простоту их реализации при использовании современной элементной базы и микропроцессорных средств.

2. Результаты экспериментальных исследований опытного образца ИТА, полученные на воздухе, подтверждают, что ТПВ ЧЭ слабо зависит от температуры газа.

Литература

1. Чуйко В.А. Моделирование рабочих характеристик импульсного термисторного термоанемометра. Збірка студентських наукових праць факультету „Комп’ютерні інформаційні технології і автоматика”. Донецк — ДонНТУ — 2004.