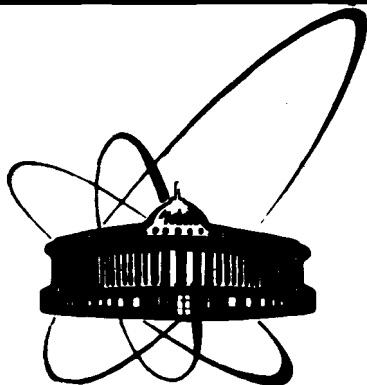


88-213



**ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

8-88-213

8-88-213

И.В.Величков, В.М.Дробин

**УРОВНЕМЕРЫ НЕПРЕРЫВНОГО ОТСЧЕТА
ДЛЯ КРИОГЕННЫХ ЖИДКОСТЕЙ**

Направлено в журнал "Cryogenics"

1988

1. ВВЕДЕНИЕ

Современные металлические криостаты всегда нуждаются в уровнемерах для целей наблюдения, измерения, записи или автоматического поддержания уровня используемой криогенной жидкости. В настоящее время разработано большое число уровнемеров, которые могут быть разделены на три группы:

- Уровнемеры, изготовленные в виде щупа, с чувствительным элементом на нижнем конце. С помощью такого щупа можно обнаружить положение поверхности раздела жидкость-пар и тем самым измерить уровень жидкости в криостате. Эти уровнемеры не годятся для наблюдения, записи или автоматического поддержания уровня.

- Уровнемеры с дискретным отсчетом. Уровнемеры такого типа состоят из конечного числа датчиков, устанавливаемых по длине криостата и выдающих сигнал при прохождении поверхности раздела жидкость-пар через них. Эти уровнемеры годятся только для автоматического поддержания^{1/} и не очень точного наблюдения^{2/} уровня.

- Уровнемеры с непрерывным отсчетом. К этой группе можно отнести следующие виды:

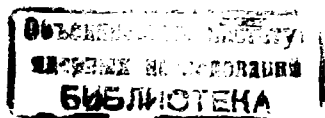
механические - различные типы поплавковых уровнемеров, манометрические - с дифференциальными манометрами, измеряющими давление столба криогенной жидкости,

емкостные, основанные на неодинаковой диэлектрической проницаемости жидкости и газа, работающие на непрерывном измерении емкости датчика по мере заполнения его жидкостью^{3-10/},

сверхпроводящие уровнемеры, использующие для измерения уровня только жидкий гелий^{11/}. С открытием высокотемпературной сверхпроводимости, однако, появилась возможность создания таких уровнемеров и для других криогенных жидкостей,

и другие виды, например ультразвуковые, оптические и т.д.^{12-14/}.

Уровнемеры с непрерывным отсчетом могут быть разделены на две подгруппы - с электрическим выходным сигналом и без такового. Последние могут быть использованы только для наблюдения и измерения уровня. Уровнемеры с электрическим выходным сигналом, со своей стороны, могут быть разделены на аналоговые и с цифровым отсчетом. Наличие выходного сигнала в цифровой



форме удобно для подключения уровнемеров к автоматизированным на основе компьютеров системам, но не обеспечивает возможности ведения прямой записи самописцем или использования простых аналоговых регуляторов уровня. Уровнемеры с аналоговым выходом, по мнению авторов, наиболее универсальны, поскольку позволяют проводить как измерение и наблюдение, так и запись и автоматическое поддержание уровня жидкости. Кроме того, преобразование аналогового сигнала в цифровой довольно просто осуществить.

2. ЕМКОСТНЫЕ УРОВНЕМЕРЫ НЕПРЕРЫВНОГО ОТСЧЕТА ДЛЯ КРИОГЕННЫХ ЖИДКОСТЕЙ

Параметры емкостных уровнемеров определяются совокупностью качеств конструкции преобразователя и исполнения электронной измерительной схемы. Рассмотрим специфические требования к уровнемерам, которые определяет криогенная область применения.

1. Требования к конструкции емкостного преобразователя

- Устойчивость при температурных перепадах и термоциклировании. В криостатах емкостный преобразователь почти всегда работает в больших температурных градиентах и при больших температурных перепадах. Все это не должно сказываться на необходимой точности преобразования уровень-емкость.

- Устранение влияния влаги. На холодных открытых участках криостатов всегда конденсируется атмосферная влага. Конструкция емкостного датчика должна исключать попадание влаги в зазор между измерительными электродами, поскольку из-за очень большой диэлектрической проницаемости воды даже маленькое количество водяного конденсата может существенно исказить работу емкостного преобразователя.

- Устранение влияния паразитных емкостей. Полезная емкость датчика обычно составляет 100 пФ. Конструкция преобразователя должна исключать влияние паразитных емкостей /между измерительными электродами и криостатом и кабелями/, поскольку последние могут быть даже больше измерительной емкости и при своих неконтролируемых изменениях могут вносить серьезные помехи.

- Маленькая продольная теплопроводность. Работая в температурных градиентах криостата, емкостный датчик уровнемера не должен переносить большие количества тепла из теплых частей в криогенную жидкость. Это требование нужно соблюдать особо жестко для измерителей уровня жидкого гелия, поскольку теплота парообразования гелия очень мала.

- Маленькие поперечные размеры и возможная простота конструкции. В криостатах, где измерение уровня криогенной жидкости является не основной целью, а вспомогательной процедурой, как и в маленьких криостатах-вставках, эти требования очень существенны.

2. Требования к измерительной схеме

- Устранение сигнала нулевой емкости /пустого датчика/. Поскольку информация об уровне жидкости содержится в изменении емкости, выходной сигнал уровнемера должен быть пропорциональным этому изменению, а не полной емкости датчика.

- Высокая чувствительность и стабильность. Для криогенных жидкостей разница в диэлектрической проницаемости жидкости и пара очень мала. Это ведет к необходимости измерения очень маленьких изменений в емкости датчика. Для жидкого гелия, например, эти изменения порядка 3%, что ставит очень жесткие требования как к чувствительности, так и к стабильности измерительной схемы.

- Наличие аналогового выхода. Это требование связано с возникающей необходимостью подключения уровнемера к самописцу или к аналоговому регулятору уровня.

- Линейность, помехоустойчивость, малые размеры, простота схемы, дешевизна и др. Эти требования не связаны с криогенным применением уровнемеров, но являются естественными для такого вида приборов.

3. КРАТКИЙ ОБЗОР И СРАВНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СУЩЕСТВУЮЩИХ СХЕМ ИЗМЕРЕНИЯ МАЛЫХ ЕМКОСТЕЙ

Измерение малых емкостей является хорошо разработанной областью электронной техники. Существует большое число таких измерительных схем, но, к сожалению, далеко не все удовлетворяют вышеизложенным требованиям для применения в криогенных уровнемерах.

Первая основная группа схем для измерения малых емкостей основывается на мостах переменного тока, в одном плече которых включена измеряемая емкость. Основным существенным недостатком всех мостовых схем является нелинейность выходного сигнала при большом разбалансе. Мосты типа Винстона^{/3,4/} чувствительны к паразитным емкостям. Мосты типа Блумлейна с сильной индуктивной связью между плечами^{/15,16/} позволяют достигать чувствительности 10^{-7} пФ и предельной стабильности 10^{-6} . Кроме того, мосты нечувствительны к паразитным емкостям. Однако они требуют применения^{/3/} выводных емкостных преобразователей

и имеют сложную схему, включающую фазочувствительный вольтметр в качестве индикатора разбаланса. Поэтому, несмотря на то, что для прецизионных физических исследований эти мосты вне всякой конкуренции, для использования в уровнемерах они не совсем подходящи.

Вторая основная группа измерителей малых емкостей основывается на высокочастотных генераторах, частота которых определяется измеряемой емкостью^{5,6/}. С точки зрения применения в уровнемерах, они неудобны тем, что не устраняют сигнал нулевой емкости и, кроме того, не имеют простой возможности для аналогового выхода.

Другая группа схем основывается на выработывании импульсов с длительностью, пропорциональной величине измеряемой емкости. В работе^{7/} для этой цели используется интегральный одновибратор 74121 /K155AG1/. В^{8/} используется способ заряда измеряемой емкости постоянным током. С точки зрения применения в криогенных уровнемерах, схема^{7/} обладает недостаточной температурной стабильностью. Кроме того, она не устраняет сигнала нулевой емкости и требует частотомера для измерения длительности импульса. Схема^{8/} требует сложной конструкции емкостного преобразователя, ее аналоговый сигнал получается с нелинейными искажениями, при помощи громоздкой схемы.

Существуют и другие схемы: с использованием интегрального преобразователя частота-напряжение^{9/}, и специального преобразователя емкость-частота^{10/}. Интерес представляет схема с диодным удвоителем напряжения^{17/}. Все они имеют свои преимущества, но обладают и недостатками.

Например, в схеме^{9/} недостаточна температурная стабильность, в схеме^{10/} необходим частотомер в качестве выходного прибора, а схема^{17/} недостаточно чувствительна. Этот короткий перечень основных существующих схем измерения малых емкостей показывает, что несмотря на большое разнообразие методов, с точки зрения применения в емкостных криогенных уровнемерах с непрерывным отсчетом, вопрос об оптимальной измерительной схеме остается до сих пор в какой-то степени открытым.

4. ПРЕДЛАГАЕМЫЙ ЕМКСТНЫЙ УРОВНЕМЕР ДЛЯ КРИОГЕННЫХ ЖИДКОСТЕЙ

Ниже описан уровнемер, разработанный авторами, удовлетворяющий, по их мнению, рассмотренным выше требованиям к криогенным уровнемерам.

1. Электронная измерительная схема

Предлагаемая электронная схема относится к группе время-импульсных. Для формирования импульсов в ней используется ин-

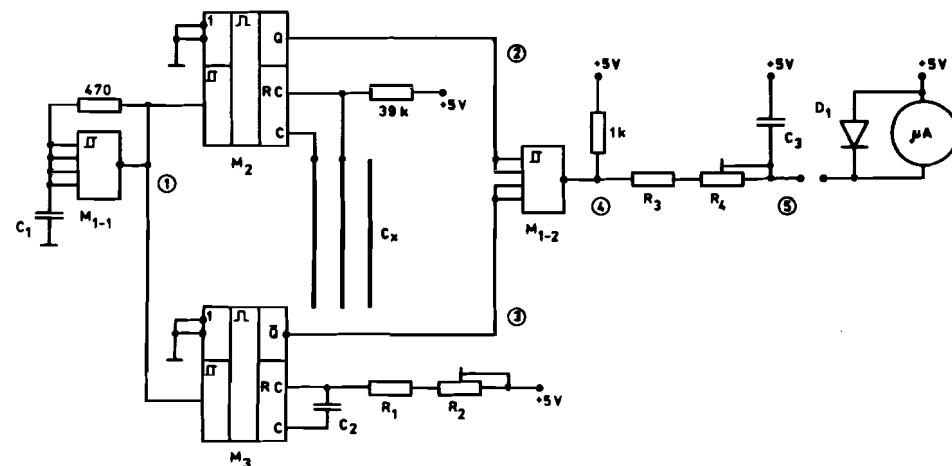


Рис.1. Принципиальная электрическая схема емкостного уровнемера. M₁ - 7413 /K155ТЛ1/, M₂, M₃ - 74121 /K155AG1/.

тегральный одновибратор 74121 /K155AG1/. Он обеспечивает линейную зависимость длительности генерируемого импульса $t \sim R \cdot c$ для $c = 10 \text{ пФ} \div 1000 \text{ мкФ}$ и $R = 2 \div 40 \text{ кОм}$. Стабильность одновибратора очень хорошая: $\delta t/t \leq 0,5\%$ в температурном диапазоне $-10^\circ\text{C} \div 70^\circ\text{C}$ и в диапазоне питающего напряжения $4,75 \div 5,25 \text{ В}$. В схеме^{7/} также использован одновибратор 74121 для создания уровнемера, но такое схемотехническое решение не подходит для создания на его основе криогенных уровнемеров. Для гелиевого уровнемера, например, 0,5% стабильности недостаточно для измерения 3%-го изменения емкости, что имеет место при заполнении емкостного преобразователя жидким гелием. Кроме того, как было уже отмечено, схема^{7/} выдает сигнал, пропорциональный полной емкости, а не изменению емкости, и не обеспечивает аналогового выходного сигнала.

Принципиальная схема емкостного уровнемера представлена на рис.1.

На рис.2 показаны временные диаграммы сигналов в разных точках схемы, поясняющие ее работу. Триггер Шмидта M₁₋₁ является тактовым генератором с периодом генерируемых импульсов T /сигнал 1/. M₂ - измерительный одновибратор, генерирующий импульсы длительностью t_x /сигнал 2/, а M₃ - компенсирующий одновибратор, генерирующий импульсы длительностью t_0 /сигнал 3/. На выходе микросхемы M₁₋₂ получается разность двух импульсов $\Delta t = t_x - t_0$ /сигнал 4/, после чего эта последовательность импуль-

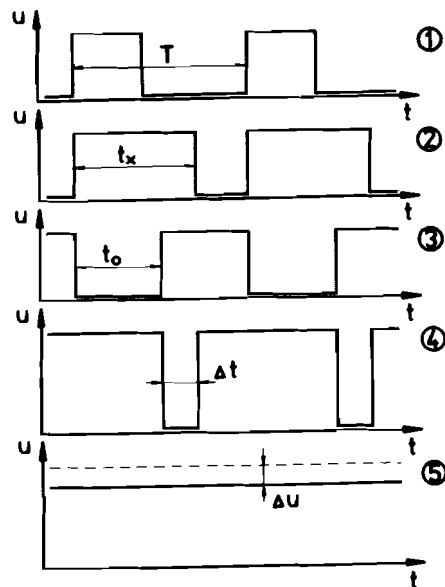


Рис.2. Временная диаграмма напряжений в различных точках схемы.

сов интегрируется цепочкой R_3 , R_4 , C_3 /сигнал 5/. Если к выходу схемы подключается микроамперметр, то резисторы R_3 и R_4 , кроме того, определяют и ток, протекающий через микроамперметр.

В представленной схеме существует возможность варьирования величин T и R_X . Приведем рекомендации к их выбору и одновременно оценим параметры предлагаемой схемы. Для микросхемы 74121 имеет место $t_X = 0,7 \cdot R_X \cdot C_X$, где t_X измеряется в секундах, R - в омах, а C - в фарадах.

Для правильной работы микросхемы 74121 время восстановления t_B , необходимое для перезарядки конденсатора C_X , после формирования генерируемого импульса $t_B \approx 0,7 \cdot (6 \cdot 10^3) \cdot C_X$, где t_B измеряется в секундах, а C_X - в фарадах. Очевидно, что нужно иметь $T \geq t_{Xmax} + t_B = 0,7(R_X + 6000)C_{Xmax}$. С другой стороны, $\Delta t = 0,7R_X \Delta C_X$. После интегрирования импульсов с длительностью Δt и периодом следования T мы получим напряжение

$$\Delta u = u_0 \Delta t / T \leq u_0 [R_X / (R_X + 6000)] \cdot \Delta C_X / C_{Xmax}$$

Видно, что для получения максимального выходного сигнала Δu нужно брать максимально допустимую величину R_X и минимально возможную величину T . Поэтому R_X выбрано 39 кОм, что и представлено на рис.1, а для T взята величина $T = 3,2 \cdot 10^4 \cdot C_{Xmax}$. В этом случае будем иметь /если $u_0 = 5,0$ В/:

$$\Delta u = 4,3 \Delta C_X / C_{Xmax}$$

Таким образом, на выходе схемы получается напряжение, пропорциональное изменению емкости датчика, которое, в свою очередь, линейно зависит от уровня измеряемой жидкости.

Рассмотрим основные преимущества предлагаемой измерительной схемы:

- Повышение стабильности при измерении малых интервалов времени, по сравнению с [7]. Если Δt измеряется методом [7], от-

носительная погрешность измерения будет

$$\delta(\Delta t) / \Delta t \leq (\delta t / t) \cdot (t_{max} / \Delta t)$$

Поскольку $t_{max} / \Delta t$ для жидкого гелия может быть порядка 30, мы получим значительную относительную погрешность в измерении Δt и соответственно в определении уровня /~ 15%/. В предлагаемой на рис.1 схеме оба одновибратора включены в своеобразную мостовую схему. Из-за того, что их характеристики схожи, влияние внешних факторов /например, температуры окружающей среды/ значительно уменьшается. При специальном подборе микросхем это влияние можно свести к минимуму. Все это позволяет проводить измерение малых Δt на фоне больших t с погрешностью, близкой к погрешности одновибратора для одиночного импульса $\delta t / t$, т.е. 0,5%. Таким образом, вышеописанная схема может применяться даже в уровнемерах для жидкого гелия.

- Прямое, без дополнительных схемотехнических средств, получение аналогового выходного сигнала.

- Существенно меньшие требования к конструкции емкостного преобразователя. Поскольку выходной сигнал пропорционален $\Delta C_X / C_{Xmax}$, то снимаются требования к большой абсолютной величине ΔC_X . Поэтому, в отличие от работы [8], емкостный датчик может быть выполнен только с помощью двух коаксиальных трубок, а емкость может быть порядка нескольких десятков пФ.

- Схема выдает на своем выходе линейный сигнал даже при больших удельных изменениях $\Delta C_X / C_X$ в отличие от схем с мостами переменного тока.

- Осуществлена возможность непосредственного устранения сигнала нулевой емкости. Существует также возможность компенсации температурных изменений емкости связывающего датчик коаксиального кабеля при помощи подключения идентичного кабеля к компенсирующему одновибратору. /Для полной компенсации тогда нужно установить $R_1 + R_2 = 30$ кОм, а C_2 нужно дополнить переменным конденсатором для подстройки "нуля" измерителя./

- Возможность установления "нуля" и максимальной величины отсчета в любую точку активной длины емкостного преобразователя.

- Схема обладает хорошей помехоустойчивостью, поскольку метод измерения использует широтно-импульсную модуляцию. Нужно также отметить, что для уменьшения влияния паразитных емкостей подключение емкостного преобразователя следует осуществлять, как показано на рис.1, а не так, как в работе [7], поскольку выход "С" микросхемы 74121 низкоомный и подключенный к нему внешний электрод датчика играет роль экрана для чувствительного внутреннего электрода.

- Схема имеет маленькие размеры, что позволяет устанавливать ее непосредственно вблизи емкостного датчика. Таким образом, уменьшается нулевая емкость, обусловленная связывающим коаксиальным кабелем.

- Схемотехническая простота, надежность и низкая цена. Все это дает возможность для массового производства уровнемеров на основе этой измерительной схемы.

Описанная схема обладает и двумя недостатками:

- Измерительная емкость не должна включать в себя никакой омической проводимости, так как это нарушило бы правильную работу микросхемы 74121. Для криогенных жидкостей это требование выполняется, но если использовать схему в уровнемере для электропроводящей жидкости, например воды, то конструкция емкостного преобразователя должна обеспечивать диэлектрическую изоляцию между двумя электродами.

- Ни один из электродов емкостного датчика не может быть заземлен /например, на корпус криостата/. Этот недостаток в некоторой степени усложняет установку емкостного преобразователя в криостат.

2. Конструкция емкостного преобразователя

Выше уже были рассмотрены требования к емкостному датчику для криогенных жидкостей. Здесь мы вкратце рассмотрим использованные нами две конструкции емкостного преобразователя для жидкого азота и жидкого гелия. За основу была взята конструкция с коаксиальным расположением двух трубок, изолированных друг от друга спирально намотанной рыболовной леской подходящего диаметра. Этот способ изоляции предпочтителен в связи с тем, что получившаяся таким образом спиральная канавочка, заполняющаяся жидкостью, эффективно демпфирует колебания уровня. Кроме того, легкие изгибы датчика, которые могут иметь место в процессе его эксплуатации, не меняют его продольной однородности и не вызывают закорачивания электродов. Емкость двух коаксиально расположенных электродов с тонкими стенками определяется формулой

$$c = [2\pi\epsilon_0\epsilon_r / \ln(D/d)] \cdot H,$$

где ϵ_0 - диэлектрическая проницаемость вакуума, ϵ_r - удельная проницаемость среды между электродами, D - диаметр внешнего электрода, d - диаметр внутреннего электрода, H - высота. Если датчик заполнен жидкостью до высоты h , то соответствующее изменение емкости есть

$$\Delta c = [2\pi\epsilon_0 / \ln(D/d)] (\epsilon_{rж} - \epsilon_{rгаз}) h,$$

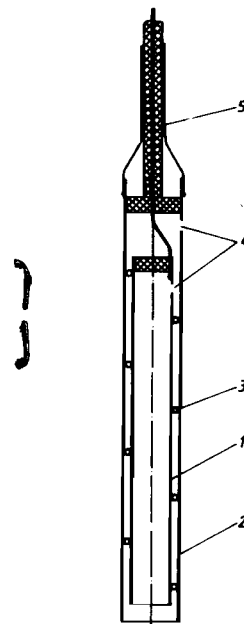


Рис.3. Конструкция емкостного преобразователя для жидкого азота: 1,2 - трубки из нержавеющей стали, 3 - изоляционная нитка /рыболовная леска/, 4 - отверстия для выхода испаряемого азота, 5 - коаксиальный кабель.

так что Δc пропорционально h . Видно, что радиальные изменения, вызванные температурными перепадами по длине датчика, не сказываются на работе емкостного преобразователя, поскольку в формулу для Δc входит отношение диаметров двух трубок D/d . Коаксиальное расположение электродов позволяет также использовать внешний электрод в качестве экрана по отношению к паразитным емкостям.

Конструкция емкостного датчика, использованного нами в уровнемере для жидкого азота, представлена на рис.3. Датчик изготовлен из двух тонкостенных трубок из нержавеющей стали, имеющих малую продольную теплопроводность. Поскольку большинство азотных резервуаров негерметичны, конструкция датчика также изготовлена в негерметичном исполнении. Коаксиальный выходящий кабель, во избежание попадания в него влаги, герметически изолирован от внутренности датчика. Для предотвращения попадания влаги в датчик приняты следующие меры: отверстия 4 сделаны маленькими и расположены достаточно высоко над верхней крышкой резервуара /примерно 20 см/. Таким образом, верхняя часть датчика находится при комнатной температуре, а аксиальный теплоприток, хотя и очень маленький, обеспечивает постоянный поток сухого азота, выходящий через отверстия 4. Сам датчик вставлен плотно в отверстие азотного резервуара так, что при заливке жидким азотом холодные пары не достигают верхнего конца дат-

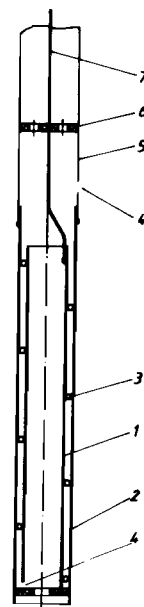


Рис.4. Конструкция емкостного преобразователя для жидкого гелия: 1,2 - трубки из меди, 3 - изоляционная нитка /рыболовная леска/, 4 - отверстия для заполнения преобразователя жидким гелием, 5 - трубка из нержавеющей стали, 6 - фторопластовая изоляционная шайба, 7 - капилляр из нержавеющей стали.

чика. Сконструированный таким образом емкостный преобразователь может месяцами непрерывно работать без опасности попадания в него влаги. Если все-таки влага попадает в датчик /например, если его вынуть из жидкого азота и оставить открытым на воздухе/, продувка теплым воздухом или сухим азотом в течение нескольких минут восстанавливает его работоспособность.

Гелиевые криостаты работают в замкнутом цикле, так что попадание влаги в датчик для гелиевого уровнемера в процессе его работы исключается. Для гелия $\Delta\epsilon_T/\epsilon_{Tж} = 3,9\%$, что является очень маленькой величиной. С другой стороны, изменение линейного размера для нержавеющей стали при охлаждении от комнатных до гелиевых температур составляет $\Delta H/H = 0,3\%$. Это приводит к колебаниям емкости преобразователя порядка 10% изменения, обусловленного заполнением жидким гелием. Кроме того, если датчик сделан из тонкостенных трубок нержавеющей стали, из-за низкой теплопроводности трубок температура в каждой точке датчика будет обуславливаться температурными градиентами в криостате. При изменении уровня жидкого гелия температурные градиенты также изменяются и могут приводить к серьезной нелинейности уровнемера. Конструкция, позволяющая преодолеть эти нелинейности, представлена на рис.4. Нижняя часть датчика сделана из теплопроводящего материала - меди. /Такое решение использовано в^{8/}, где датчик изготовлен из латуни/. Верхняя, поддерживающая часть датчика изготовлена из нержавеющей стали для предотвращения большого теплопритока в жидкий гелий. Внутренний электрод - тонкий капилляр. При этой конструкции, если уровень жидкого гелия касается медной части датчика, из-за высокой теплопроводности меди температура активной части датчика устанавливается однородной по всей длине и не меняется при изменении уровня жидкости. Таким образом, исключается нелинейность преобразователя.

5. УРОВНЕМЕРЫ ДЛЯ ЖИДКОГО АЗОТА И ЖИДКОГО ГЕЛИЯ

1. Уровнемер для жидкого азота

Был изготовлен емкостный датчик длиной 70 см и емкостью 100 пФ. При помощи коаксиального кабеля длиной 2 м и емкостью 150 пФ датчик подключен к измерительной схеме. Выходной сигнал при заполненных 50 см датчика $\approx 0,6$ В. На рис.5 показана запись выходного сигнала уровнемера, демонстрирующего понижение уровня жидкости в баке азотного экрана гелиевого дьюара с частично нарушенным изоляционным вакуумом. Маленькие колебания в нижнем правом углу связаны с автоматическим подключением

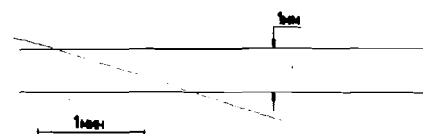


Рис.5. Выходной сигнал азотного уровнемера, погруженного в азотный бак с большим теплопритоком.

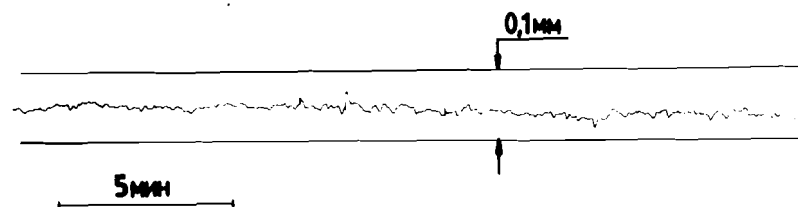


Рис.6. Выходной сигнал азотного уровнемера, погруженного в хороший азотный дьюар.

большого компрессора и являются результатом вибрации здания. Не наблюдаются электрические наводки в моменты включения компрессора, что говорит о хорошей помехоустойчивости уровнемера. На рис.6 показана запись уровня в хорошем азотном дьюаре. Видно, что уровнемер обеспечивает кратковременную стабильность 0,01% от максимального измеряемого уровня и соответствующую чувствительность 0,05 мм. Нелинейности емкостного датчика, возникающие вследствие теплового расширения и сжатия конструкции датчика в процессе изменения уровня жидкого азота, как и естественные колебания атмосферного давления, не позволяют достичь приведенной относительной погрешности лучше 1%. Для большинства практических применений, однако, такая погрешность вполне приемлема.

2. Уровнемер для жидкого гелия

Был изготовлен емкостный датчик с длиной активной части 60 см и общей емкостью ~ 100 пФ. Измерительная схема закреплена непосредственно над датчиком с максимально коротким соединительным кабелем. Сама измерительная схема смонтирована в пенопластовую коробку с целью уменьшения влияния температурных

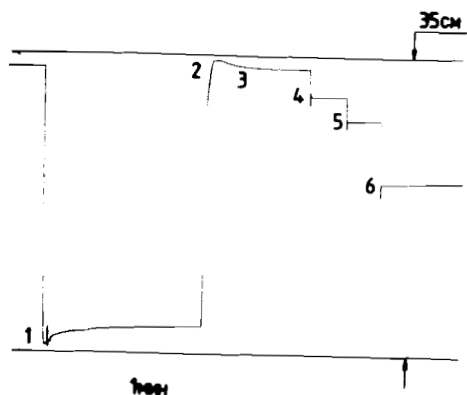


Рис.7. Выходной сигнал гелиевого уровнемера в процессе резкого подъема и погружения в жидкий гелий /см. текст/.

флуктуаций окружающей среды. Выходной сигнал при заполненном датчике $\approx 0,15$ В. На рис.7 показана запись сигнала в процессе резкого подъема и погружения уровне-

мера в жидкий гелий. После подъема датчика над уровнем жидкости /точка 1/ четко прослеживается эффект соответствующего отогревания электродов. После погружения датчика /точка 2/ и его охлаждения /точка 3/, пока нижняя часть касается жидкого гелия, релаксационные эффекты отсутствуют /точки 4, 5, 6/. На рис.8 показана запись, демонстрирующая кратковременную стабильность показаний /0,25% и разрешающую способность /1 мм/ изготовленного гелиевого уровнемера. На точность уровнемера оказывают влияние как перемены в атмосферном давлении, так и тепловые релаксационные эффекты в верхней /изготовленной из нержавеющей стали/ части емкостного датчика. Приведенная относительная погрешность уровнемера для жидкого гелия при работе в нормальных лабораторных условиях оценивается в 5%.

Работоспособность уровнемера сохраняется и при откачке паров над жидким гелием, но его калибровка соответственно меняется / $\pm 15\%$ до λ -точки гелия/. Возможно также измерение уровня гелия и при температурах ниже λ -точки, где пленка сверхтекучего гелия, поднимающаяся вверх по датчику, не дает заметно-

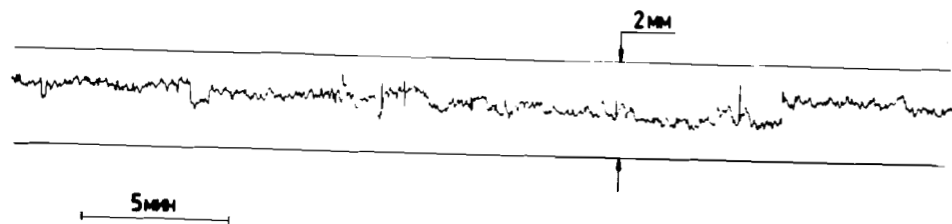


Рис.8. Выходной сигнал гелиевого уровнемера, погруженного в гелиевый дьюар с минимальным теплопритоком.

го вклада в изменение емкости из-за своей исключительно малой толщины, в сравнении с расстоянием между электродами.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Емкостные уровнемеры находят широкое применение в криогенике. Они могут быть использованы для всех видов криогенных жидкостей и не выделяют заметную мощность в процессе своей работы. Фактором, ограничивающим их еще более широкое распространение, являются жесткие требования к измерительной схеме. Предложенная в настоящей работе электронная схема вполне удовлетворяет этим требованиям, отличаясь при этом простотой и надежностью. Сделанные на ее основе азотные уровнемеры уже год безотказно работают в ЛВЭ ОИЯИ. Успешно прошел испытание гелиевый уровнемер. Емкостные уровнемеры могут быть использованы в качестве основы для создания измерителя паросодержания в потоке любой криогенной жидкости. Авторами был опробован измеритель паросодержания потока двухфазного гелия.

Измерительная электронная схема может представлять интерес в качестве высокочувствительной схемы для измерения малых изменений емкостей. /В описанном выше азотном уровнемере электронная схема показала разрешающую способность $2 \cdot 10^{-5}$ по отношению подключенной к ней емкости/. Существуют возможности дальнейшего улучшения параметров электронной схемы путем подбора пар одновибраторов и ее термостатирования.

С измененной конструкцией емкостных датчиков данная измерительная схема позволяет создавать и другие уровнемеры - для воды, бензина и т.д.

Возможно подключение и других емкостных преобразователей физических величин, таких, как давление, перемещение и т.д.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сринивасан К., Олтин Й. - ПНИ, № 6, 1983, с.100.
2. Свиридов В.А. - Изв. ВУЗов. Радиоэлектроника, 1983, т.26, № 5, с.91.
3. Vrba J. - Cryogenics, 1971, 11, p.313.
4. Муськин Ю.Н. и др. - Измерительная техника, 1982, № 5, с.49.
5. Jones В.К. - Cryogenics, 1969, 9, p.214.
6. Бобраков В.Ф., Васильев Б.В. Сообщение ОИЯИ, P13-80-544, Дубна, 1980.

7. Allsebrook J. Fuel-level indicator. *Wireless World*, 1984, v.90, No.1576, p.73.
8. Kügler K.-J., Lindenberg W., Niehues N. - *Cryogenics*, 1984, 24, p.63.
9. Collocot S.J. - *Cryogenics*, 1983, 23, p.327.
10. Ross P.J. - *J.Phys. E: Sci.Instrum.*, 1983, 16, p.827.
11. Jüngst K.P., Süß E. - *Cryogenics*, 1984, 24, p.429.
12. Цуккервар А.Ж., Мазель Д.С., Ходжес Д.Й. - ПНИ, № 9, 1986, с.111.
13. Цирлин О.В., Юшкин А.А. - *Измерительная техника*, 1985, № 6, с.30.
14. Cole J.B., Chin J.K.L. - *J.Phys. E: Sci.Instrum.*, 1983, 16, p.710.
15. Hugill A.L. - *J.Phys. E: Sci.Instrum.*, 1982, 15, p.597.
16. Heerens W.C. - *J.Phys.E: Sci. Instrum.*, 1986, 19, p.897.
17. Rutt H.N., Bonilla I.R. - *J.Phys. E: Sci.Instrum.*, 1975, 8, p.239.

Рукопись поступила в издательский отдел
29 марта 1988 года.

Величков И.В., Дробин В.М.
Уровнемеры непрерывного отсчета для криогенных жидкостей

8-88-213

Рассмотрены некоторые виды уровнемеров. Проведено сравнение существующих уровнемеров с непрерывным отсчетом, основанных на разнице в диэлектрической проницаемости измеряемых газа и жидкости. Обобщены требования к емкостным уровнемерам для криогенных жидкостей. Представлены электронная схема для измерения емкостей с разрешением $2 \cdot 10^{-5}$ и конструкции емкостных преобразователей для жидкого азота и жидкого гелия. Технические параметры уровнемера для жидкого азота: активная длина 50 см, погрешность измерения уровня 1%, кратковременная стабильность 0,01%, разрешение 0,05 мм; для жидкого гелия: активная длина 60 см, погрешность измерения уровня 5%, кратковременная стабильность 0,2%, разрешение 1 мм.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1988

Перевод авторов

Velichkov I.V., Drobin V.M.
Cryogenic Liquid Continuous - Reading Level Monitors

8-88-213

The operation of a variety of liquid level meters briefly is considered. The now-existing continuous-reading level monitors based on the difference between the dielectric constant of the gas and the liquid measured are compared. The conditions on cryogenic application of these level monitors are illuminated. An electronic circuit for capacitance measurement with resolution $2 \cdot 10^{-5}$ and construction of capacitor transducers both for liquid nitrogen and liquid helium are presented. The parameters of the level meters are for liquid nitrogen: active length - 50 cm, accuracy - 1%, short time stability - 0,01%, resolution - 0,05 mm; for liquid helium: active length - 60 cm, accuracy - 5%, short time stability - 0,2%, resolution - 1 mm.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1988