

# КОНТРОЛЬ И АВТОМАТИКА

МЕТОДИЧКА

для тех, кто занимается автоматизацией технологических процессов



**3**

**2005**



# От локального регулирования – к распределённой системе управления

## Серия МЕТАКОН

Интеграция традиционных локальных решений на базе измерителей-регуляторов МЕТАКОН в единую распределённую систему открывает новые функциональные возможности управления.



## Power Panel



Power Panel – мощные PC-совместимые управляющие устройства с широкими возможностями визуализации и развитым интерфейсом оператора (HMI). Организует взаимосвязанное управление локальными регуляторами серии МЕТАКОН, а также управление объектами с помощью периферийных I/O модулей MDS.

Архитектура и поддержка промышленных стандартов полевых шин обеспечивает простое горизонтальное и вертикальное наращивание с возможностью выхода в АСУ предприятия.

Обширный ряд моделей Power Panel обеспечивает оптимальное решение для задач автоматизации различного уровня сложности.

## MDS-модули

MDS-модули (Modules for Distributed Systems) обеспечивают периферийный ввод/вывод дискретных и аналоговых сигналов в распределенных управляющих системах (DCS) и в системах сбора данных. MDS-модули отлично дополняют регуляторы серии МЕТАКОН.

Применение интерфейса RS-485 и открытых протоколов позволяет использовать их как в комплекте с управляющим ядром Power Panel, так и в различных других SCADA-системах.

Номенклатура модулей по типу входных/выходных сигналов и числу каналов оптимизирует решения для самых разнообразных объектов автоматизации.





Контроль  
и Автоматика

МЕТОДИЧКА  
для тех, кто занимается автоматизацией  
технологических процессов

## Редакция

**Главный редактор**  
Алексей Дементьев

**Дизайн и вёрстка**  
Игорь Боровков

**Метрологическая  
поддержка**  
Сергей Беневицкий

**Техническая поддержка**  
Александр Семёнов

**Адрес редакции**  
Нижний Новгород  
пр. Гагарина, 168

**Для корреспонденции**  
603107  
Нижний Новгород  
а/я 21

**e-mail**  
metod@contravt.nnov.ru

**сайт**  
<http://metod.contravt.ru>

**Тираж**  
7000

## Уважаемые друзья!

*Подготовив материалы для третьего номера Методички, мы поймали себя на мысли, что своими материалами мы омрачаем жизнь наших партнеров.*

*Судите сами.*

*Все привыкли измерять температуру цифровыми измерительными приборами. Число на индикаторе прибора, например, 683 °С выглядит так убедительно, что у многих даже не возникает подозрение, что истинная температура в объекте на самом деле 675, или 689, или 680, или... И существует десяток причин такого расхождения. Просто жить – ничему верить нельзя.*

*Простой и понятный позиционный регулятор! А мы затеваем разговор про ПИД-регулятор. И это в то время, когда СПИД свирепствует во всем мире. К тому же надо хотя бы знать, что есть такие понятия как «интеграл» и «дифференциал». Да и первые попытки применения приводят к разочарованию.*

*Еще хуже настроение становится, когда узнаешь, что в шкафах с автоматикой блуждают огромные импульсы 2000-3000В, что они имеют ничтожную длительность несколько наносекунд (одна наносекунда равна 0,000 000 001 секунды), что приборы из-за них могут давать сбои, что неправильно проложенный проводник в шкафу может нарушить работоспособность всей системы.*

*Да, реальность обычно сложнее, чем первое представление о ней. Мы надеемся, что материалы, помещенные в наших Методичках, будут служить для многих из Вас «картой минного поля».*

*Мы уверены, что знание болевых точек и понимание сути происходящих явлений делает нас сильнее и гарантирует успех.*

## Коллеги!

*Мы приглашаем авторов для подготовки статей по теме АСУ ТП. См. стр. 33.*

## СОДЕРЖАНИЕ

Управление технологическими процессами	3
ПИД-регулятор	4
Пропорциональный (П) регулятор	5
Пропорционально-интегральный (ПИ) регулятор	9
Пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) регулятор	11
Выводы	14
Статические, динамические и статистические погрешности при измерении температуры	15
Статическая погрешность измерения температуры	15
Динамическая погрешность измерения температуры	18
Статистическая погрешность	21
Электромагнитная совместимость	22
Устойчивость к помехам	23
Эмиссия помех	24
Связи в системе	25
Как правильно подключать питание к приборам	27
Разделение силовых цепей и цепей питания приборов	28
Заземление приборов	28
Построение сигнальных цепей	29
Что делать, если силовую и приборную сети разделить нельзя	30
Производственная программа	32

## Управление технологическими процессами

В предыдущем выпуске «Методички» мы рассмотрели управление объектом с помощью позиционного регулятора. Было отмечено, что основными достоинствами позиционного регулятора являются его простота, «очевидность» алгоритма его работы, отсутствие параметров, требующих настройки подготовленными специалистами.

Главной особенностью применения позиционного регулятора является то, что качество регулирования полностью определяется параметрами и конструктивными особенностями объекта регулирования, исполнительного устройства и датчика и не зависит от регулятора – регулятор настолько прост, что даже не имеет никаких параметров, позволяющих учесть свойства объекта.

В качестве конструктивных мер, повышающих точность управления, можно назвать следующие:

- уменьшение инерционности датчика по сравнению с инерционностью объекта;
- перемешивание (или другие подобные действия), обеспечивающее более равномерное распределение температуры в объекте и уменьшающее запаздывание распространения температуры от нагревателя к датчику;
- пространственное распределение нагрева в объеме, например, за счет замены одного мощного сосредоточенного нагревателя многими малой мощности и распределенных в объеме;
- приближение датчика к нагревателю.

Несмотря на большую распространенность позиционных регуляторов, в промышленности существует множество задач, для решения которых недостаточно точности регулирования, обеспечиваемой позиционным регулятором. С другой стороны, в ряде случаев применение позиционного регулятора невозможно из-за того, что он предполагает полное включение-выключение исполнительного устройства. Однако для таких исполнительных устройств как инфракрасные безынерционные излучатели, задвижки типа МЭО такой режим управления крайне не желателен.

Другим широко распространенным алгоритмом регулирования является пропорционально-интегрально-дифференциальный (сокращенно – ПИД), а также различные его разновидности: П, ПИ, ПД. Естественно ПИД-регулятор с успехом можно применять вместо позиционного регулятора, но главные его преимущества проявляются в тех задачах, с которыми позиционный регулятор не справляется.

Здесь мы продемонстрируем работу ПИД-регулятора на примере, рассмотренном в Методичке №2, в котором позиционный регулятор показывал неудовлетворительные результаты. Для удобства еще раз приведем графики работы позиционного регулятора. Все обозначения совпадают с обозначениями Методички №2.

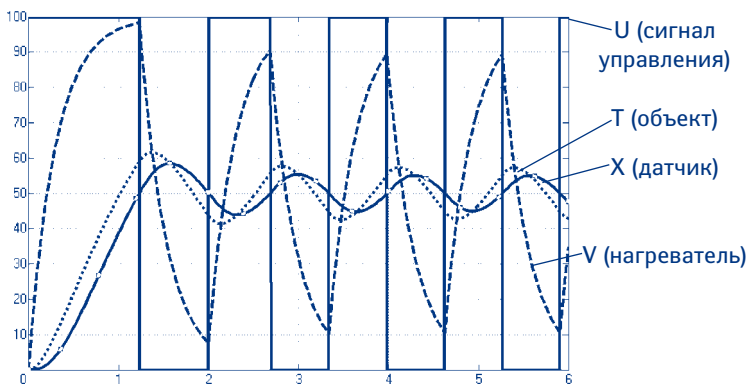


Рис. 1

Параметры задачи:  $\tau_d/\tau_0 = 0,2$ ,  $\tau_n/\tau_0 = 0,3$ , где  $\tau_d$ ,  $\tau_n$ ,  $\tau_0$  - постоянные времени датчика, исполнительного устройства и объекта соответственно. Все времена нормированы на величину постоянной времени объекта  $\tau_0$ . Уставка  $W$  равна 50%.

При данных значениях параметров управление с помощью позиционного регулятора сопровождалось значительными колебаниями температуры в объекте с размахом до 11% и имело динамическую погрешность 5.3%.

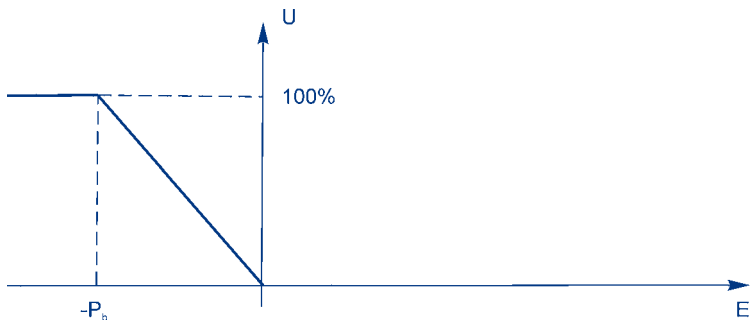
## ПИД-регулятор

В классическом ПИД-регуляторе сигнал управления  $U$  связан с сигналом рассогласования  $\epsilon = X - W$  следующими соотношениями:

$$E(\epsilon) = (\epsilon \quad \text{П})$$

$$+ \frac{1}{T_i} \int \epsilon dt \quad \text{(И)}$$

$$+ T_d \frac{d\epsilon}{dt} \quad \text{(Д)}$$



- где  $X$  – измеренная величина,  
 $W$  – уставка,  
 $P_b$  – зона пропорциональности,  
 $\frac{1}{T_i} \int \varepsilon dt$  – интегральная компонента,  
 $T_i$  – постоянная интегрирования,  
 $T_d \frac{d\varepsilon}{dt}$  – дифференциальная компонента,  
 $T_d$  – постоянная времени дифференцирования.

Таким образом, сигнал управления при ПИД-алгоритме может принимать различные значения в интервале от 0% до 100%, а не только крайние 0% и 100% как у позиционного регулятора.

Сигнал управления в ПИД-алгоритме формируется тремя компонентами: пропорциональной, интегральной и дифференциальной. Несмотря на кажущуюся математическую сложность данного алгоритма, каждая компонента имеет ясный физический смысл. Ниже мы попытаемся его продемонстрировать.

## Пропорциональный (П) регулятор

Если мы внимательно рассмотрим график изменения параметров в системе при позиционном регулировании (рис. 1), то заметим, что температура в объекте имеет подъемы выше уставки в те моменты, когда нагреватель выключен, и провалы – когда нагреватель включен. Причина этого в следующем. В первом случае, нагреватель был чрезмерно нагрет и после отключения он отдает избыток энергии объекту, что приводит к его перегреву. Во втором случае требуется некоторое время для того, чтобы нагреть сначала нагреватель, после чего он сможет передать тепло объекту. На это время в объекте наблюдается провал температуры за счет потерь в окружающую среду.

Общий вывод заключается в том, что позиционный регулятор имеет дело с крайностями: либо полностью включает, либо полностью выключает нагрев. Иными словами, обратная связь в контуре регулирования слишком сильная и в системе возбуждаются колебания.

Интуитивно понятно, что результат можно улучшить, если при подходе температуры к уставке сбрасывать мощность, подводимую к нагревателю, пропорционально рассогласованию. Этот принцип реализует пропорциональный (П) регулятор.

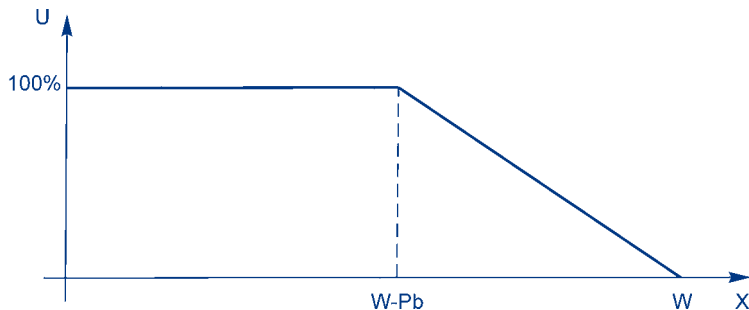


Рис. 2

Как видим, функция управления в пропорциональном регуляторе, в отличие от позиционного, имеет наклонный участок, который и обеспечивает плавное изменение мощности при подходе к уставке. Наклон функции управления, а значит, и глубина обратной связи, определяются величиной зоны пропорциональности  $P_b$ . Очевидно, позиционный регулятор является частным случаем пропорционального при  $P_b=0$ . С увеличением  $P_b$  глубина обратной связи уменьшается и регулирование становится более мягким.

Три рисунка (3, 4, 5) соответствуют трем различным значениям зоны пропорциональности.

Графики на рисунке 3 соответствуют случаю, когда зона пропорциональности слишком мала ( $P_b=15\%$ ). Поведение системы похоже на случай с позиционным управлением. В системе по-прежнему присутствуют значительные колебания температуры, но они со временем затухают.





Рис. 3

Значение зоны пропорциональности  $P_b=40\%$  для рисунка 4 можно считать оптимальным. В этом случае удачно сочетаются быстрый выход на установившийся режим и отсутствие колебаний после этого.

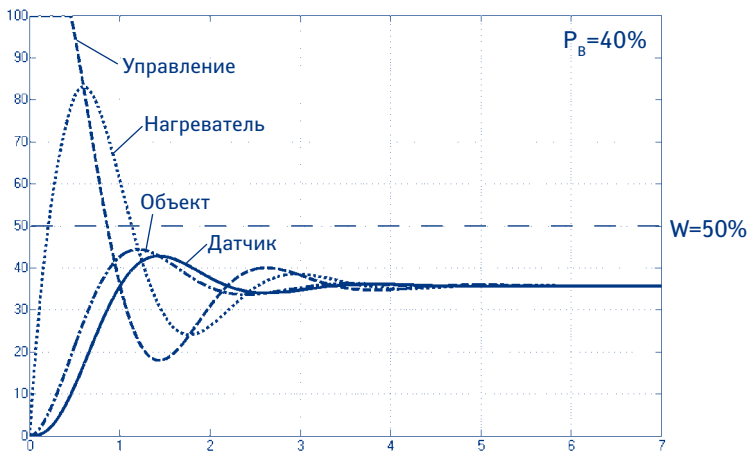


Рис. 4

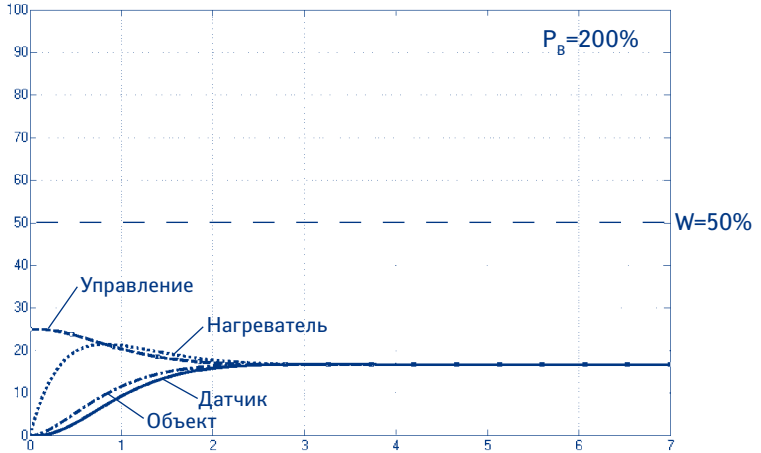


Рис. 5

Стационарное значение мощности подводимой соответствует уровню тепловых потерь в системе, в результате чего наступает тепловой баланс в системе, о котором шла речь в Методичке №1.

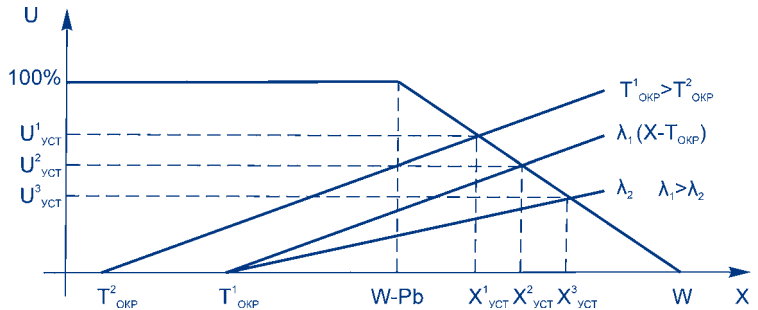


Рис. 6

Значения установившейся мощности  $U_{УСТ}$  и температуры  $X_{УСТ}$  легко найти, если на график функции управления наложить график потерь  $U_{ПOT}(X)$  за счет теплопередачи в окружающую среду. График потерь  $U_{ПOT}(X)$  пропорционален разности температур в объекте  $X$  и в окружающей среде  $T_{ОКР}$ :  $U_{ПOT}(X) = \lambda (X - T_{ОКР})$ . Графики потерь показаны для разных температур окружающей среды  $T_{ОКР1}$  и  $T_{ОКР2}$ , а также для разных коэффициентов теплопередачи  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ .

Из данного рассмотрения следует очень важный недостаток «чистого» пропорционального регулятора. Несмотря на отсутствие колебаний в установившемся режиме, сам установившийся уровень  $X_{УСТ}$  будет изменяться при изменении тепловых потерь, например, при изменении температуры окружающей среды  $T_{ОКР}$ . Эти изменения тем

сильнее, чем больше зона пропорциональности  $P_b$ . Практически это, например, означает, что при пропорциональном управлении микроклиматом в помещении будут наблюдаться суточные колебания температуры, связанные с изменениями температуры окружающей среды.

Если зона пропорциональности превосходит оптимальное значение  $P_b > 40\%$ , то переходные процессы на стадии разогрева более затянуты ( $P_b = 200\%$ , см. рис. 5), а установившееся значение больше отличается от уставки и сильнее подвержено изменениям тепловых потерь. Регулятор слишком мягкий.

Обратим внимание на то, что с ростом величины зоны пропорциональности, т.е. с уменьшением глубины обратной связи в контуре регулирования, изменения сигнала управления уменьшаются.

## Пропорционально-интегральный (ПИ) регулятор

Итак, пропорциональный регулятор при соответствующем выборе зоны пропорциональности  $P_b$  позволил избавиться от принципиально колебательного характера управления, свойственного позиционному регулятору, и устранить соответствующую погрешность. Однако погрешность, обусловленная колебаниями, сменилась погрешностью, связанной с остаточным рассогласованием между установившимся значением температуры  $X_{уст}$  и уставкой  $W$ . В принципе, остаточное рассогласование можно скомпенсировать, скорректировав соответствующим образом уставку. Однако, такой подход осложняется тем, что остаточное рассогласование зависит, как уже отмечалось, от тепловых потерь и каждый раз при изменении потерь требуется новая коррекция уставки. Таким образом, возникает потребность в алгоритме, который бы автоматически устранял остаточное рассогласование. Такую функцию выполняет интегральная компонента в ПИ и ПИД-регуляторах.

Роль интегральной компоненты станет очевидной, если несколько иначе записать формулу для ПИ-регулятора.

$$E(\epsilon) = x - (W - \Delta W), \text{ где } \Delta W = \frac{1}{T_i} \int \epsilon dt$$

При такой форме записи ПИ-регулятор становится похож на П-регулятор, в котором уставка теперь корректируется на величину интеграла  $\Delta W$ . Интеграл автоматически корректирует уставку до тех пор, пока рассогласование не станет равным нулю (при  $\epsilon = 0$  интеграл не меняется). Если изменяются потери, возникает рассогласование и интеграл автоматически скорректирует свое значение так, чтобы рассогласование опять стало равным нулю. На рис. 7 показано поведение температуры в объекте при четырех различных значениях постоянной времени интегрирования. Постоянная времени интегрирования  $T_i$

определяет, насколько сильно происходит коррекция уставки при наличии рассогласования. Здесь возможны три крайних случая. Для расчетов использовалось оптимальное значение зоны пропорциональности  $P_b=40\%$ , соответствующее рис. 4.

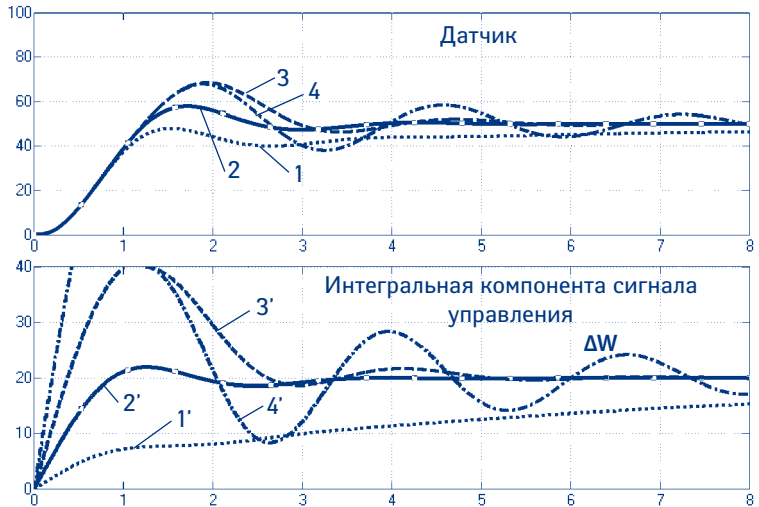


Рис. 7

Первая кривая демонстрирует случай чрезмерно большого значения времени интегрирования:  $T_i/\tau_0=5$ . На рис. 7 (кривая 1) отчетливо видно, как постепенно устраняется остаточное рассогласование. Механизм коррекции уставки  $\Delta W$  за счет интегрирования рассогласования здесь показывается очень наглядно (кривая 1' – интегральная компонента сигнала управления в ПИ-регуляторе для случая 1). Однако такая коррекция при данном значении происходит слишком медленно.

Значение  $T_i/\tau_0=1,7$  можно считать оптимальным (рис. 7, кривые 2 и 2'). В этом случае коррекция уставки интегральной компонентой происходит в ходе переходного процесса. Поэтому установившееся значение сразу выходит на уставку.

Дальнейшее уменьшение времени интегрирования ( $T_i/\tau_0=0,9$ ) приводит к тому, что интеграл накапливается слишком быстро, соответственно коррекция уставки происходит быстрее, чем завершаются переходные процессы - происходит перерегулирование (рис. 7, кривые 3 и 3'). При  $T_i/\tau_0=0,5$ , в системе возникают колебания (рис. 7, кривые 4 и 4'). В этом случае, П-регулятор как бы начинает «бегать» за все время изменяющейся уставкой  $\Delta W$ : регулятор не успевает установить стационарное значение, а уставка уже изменилась.

## Пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) регулятор

ПИ-регулятор при оптимальных значениях зоны пропорциональности  $P_b$  и времени интегрирования  $T_i$  показывает хорошие результаты (рис. 7, кривая 2). Во многих случаях этого достаточно для решения практических задач. Однако дифференциальная компонента открывает новые возможности регулятора.

Для того, чтобы физически объяснить роль дифференциальной компоненты, рассмотрим еще раз рис. 1. В поведении системы наблюдается следующая закономерность: регулятор отключает нагрев, а температура в системе еще некоторое время нарастает, регулятор включает нагрев, а температура в системе еще некоторое время падает. Возникает простая идея: если выключить нагрев немного раньше, то дальнейший перегрев как раз выведет температуру в объекте на уставку. Аналогично, если включить нагрев немного раньше, то дальнейшее падение также приведет к уставке.

В целом это означает, что если управлять нагревом с некоторым упреждением, то можно ожидать уменьшение подъемов и провалов температуры относительно уставки. Но для того, чтобы управлять с таким упреждением, нужно знать поведение температуры на некоторое время  $\tau$  вперед, то есть нужно уметь в момент времени  $t$  предсказывать температуру  $X(t+\tau)$  в последующий момент времени  $t+\tau$ . К вопросу выбора величины  $\tau$  вернемся позже. При плавном изменении температуры  $X(t+\tau)$  и небольших  $\tau$  температуру  $X(t+\tau)$  как функцию времени можно разложить в ряд Тейлора

$$X(t+\tau) = X(t) + \tau \times dX(t)/dt$$

Из этой формулы следует, что знание температуры  $X(t)$  и скорости ее изменения  $dX(t)/dt$  в момент времени  $t$  позволяет предсказать поведение температуры в момент времени  $t+\tau$ .

Вернемся теперь к ПИД-алгоритму. В нем присутствуют слагаемые, соответствующие пропорциональной и дифференциальной компонентам:

$$\varepsilon(t) + T_d \times d\varepsilon(t)/dt \approx \varepsilon(t+T_d)$$

С учетом выше сказанного эта сумма приближенно представляет собой значение рассогласования в момент времени  $t+T_d$ , т.е.  $\varepsilon(t+T_d)$ .

Таким образом, дифференциальная компонента в ПИД-алгоритме обеспечивает предсказание поведения системы на интервал времени  $T_d$  вперед.

Действие регулятора при наличии дифференциальной компоненты можно описать следующим образом. Если температура в объекте

быстро приближается к уставке, то регулятор заранее начинает сбрасывать мощность при движении к уставке снизу, и наращивать – при движении сверху, причем тем сильнее, чем выше скорость изменения температуры. Поэтому при работе ПИД-регулятора нередки ситуации (на первый взгляд кажущиеся странными), когда температура в объекте выше уставки, а регулятор выдает большой сигнал управления на нагрев. Часто это воспринимается как ошибка в работе регулятора.

Напомним, что регулятор «не знает» истинной температуры в объекте – он оперирует только с сигналом на выходе датчика. В Методичке №1 отмечалось, что датчики обладают инерционностью и, следовательно, вносят некоторую задержку  $\tau_d$  в измеренный сигнал. Эта задержка обуславливает динамическую погрешность измерения (см. раздел на стр. 18 в данной Методичке). Поскольку предсказание по своему действию обратно задержке, дифференциальная компонента позволяет компенсировать временную задержку, связанную с датчиком. Таким образом, регулятор по измеренному сигналу с датчика с помощью дифференциальной компоненты восстанавливает температуру в объекте. Влияние датчика как бы исключается из системы управления. С этим связано повышение качества регулирования. Понятно, что постоянная времени дифференцирования  $T_d$  должна быть близка к времени инерции датчика  $\tau_d$ .

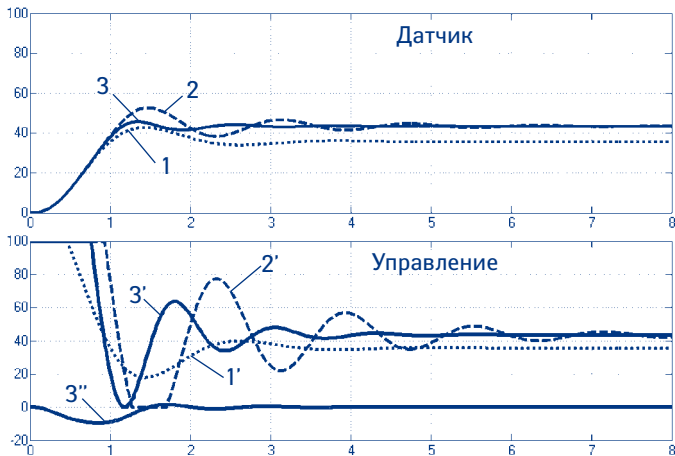


Рис. 8

На рис. 8 приведены результаты, демонстрирующие влияние дифференциальной компоненты. Для лучшего понимания мы исключили интегральную компоненту ( $T_i \rightarrow \infty$ ). Верхняя часть рисунка (кривые 1, 2, 3) отображает значения параметра, снимаемые с датчика; нижняя часть рисунка, кривые 1', 2', 3' – соответствующему сигналу управле-

ния. Кривая 3" – это дифференциальная компонента, выделенная из сигнала управления 3'.

Кривая 1 совпадает с кривой "Датчик" на рис. 4. Это случай пропорционального регулятора при оптимальных значениях зоны пропорциональности ( $P_b=40\%$ ). Дифференциальная компонента отсутствует. Теперь уменьшим зону пропорциональности, т.е. сделаем регулятор более жестким ( $P_b=15\%$  соответствует кривой "Датчик" на рис. 3). Такой регулятор лучше отслеживает быстрые изменения в системе. Однако в переходной характеристике (кривые 2 и 2') появились затухающие колебания. Введем теперь дифференциальную компоненту с постоянной времени дифференцирования  $T_d/\tau_0$ , равной 0,42 (кривые 3, 3' и 3"). Затухающие колебания исчезли, а переходная характеристика демонстрирует максимально быстрый выход на уставку без колебаний. При этом за счет уменьшения зоны пропорциональности с 40% до 15% величина рассогласования также уменьшилась почти вдвое.

Таким образом, дифференциальная компонента улучшает переходную характеристику, особенно в области быстрых изменений. Это означает, что ПИД-регулятор лучше справляется с быстрыми возмущениями, действующими на систему.

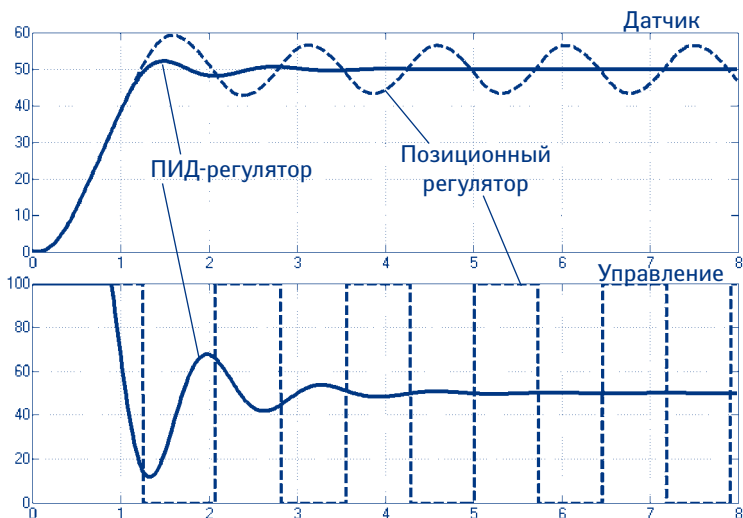


Рис. 9

В завершение сравним переходные характеристики оптимально настроенного ПИД- и позиционного регуляторов. Более подробно методику настройки параметров ПИД-регулятора мы изучим в следующем номере **Методички**, здесь приводится лишь результат.

На рис. 9 отображены результаты работы ПИД-регулятора при следующих параметрах:

$$P_b = 15\%$$

$$T_i = 5$$

$$T_d = 0,5$$

Кривая позиционного регулятора соответствует графику “Датчик” на рис. 1.

На этапе нагрева пропорциональный и позиционный регулятор ведут себя примерно одинаково, т.к. и тот, и другой подают на нагревательный элемент максимальную мощность. И в том, и в другом случае объект выходит на температуру уставки за минимально короткое время. Затем становятся очевидны преимущества ПИД-алгоритма регулирования, когда после незначительного перерегулирования технологический параметр “без колебаний” стабилизируется на температуре уставки.

### Выводы

1. ПИД-регулятор позволяет получить хорошее качество регулирования в системах, для которых позиционное регулирование неприменимо.
2. Хорошее качество регулирования с помощью ПИД-регулятора можно получить только в том случае, если параметры регулятора соответствуют свойствам объекта, исполнительного устройства и датчика. ПИД-регулятор, в отличие от позиционного, требует настройки параметров.
3. Пропорциональная компонента отвечает за наличие колебаний в системе и обуславливает остаточное рассогласование между установившейся температурой в объекте и уставкой. Зону пропорциональности следует выбирать минимально возможной, но так, чтобы в системе не было колебаний.
4. Интегральная компонента устраняет остаточное рассогласование. Слишком малое время интегрирования приводит к возникновению колебаний, большое – затягивает переходный процесс.
5. Дифференциальная компонента повышает устойчивость и быстродействие регулятора. Однако, при наличии возмущений это может сопровождаться сильным маневрированием исполнительного устройства.

*Расчеты выполнены в системе SIMULINK программного продукта MATLAB 6.0. Соответствующие файлы с математическими моделями можно скачать с нашего сайта (<http://metod.contravt.ru>).*



## Статические, динамические и статистические погрешности при измерении температуры

Будем рассматривать наиболее широко распространенные методы измерения температуры с помощью термопреобразователя сопротивления и термоэлектрического преобразователя (термопары). Они осуществляют первичное преобразование температуры в электрические величины, соответственно, в сопротивление и напряжение. Зависимость электрических величин от температуры описывается Номинальными Статическими Характеристиками (НСХ), которые регламентированы стандартами.

При измерении температуры возникают три основных вида погрешности: статическая, динамическая и статистическая.

**Статическая погрешность** характеризует постоянные во времени (либо очень медленно меняющиеся) отклонения измеренной электрической величины от НСХ. Поскольку она носит регулярный характер, то, в принципе, статическая погрешность может быть устранена, хотя, как правило, это трудно бывает сделать из-за нехватки необходимой информации.

**Динамическая погрешность** характеризует отклонения измеренной электрической величины от НСХ, связанные с изменением температуры во времени и обусловленные временной инерционностью преобразователей и/или измерительной схемы.

**Статистическая погрешность** характеризует отклонения измеренной электрической величины от НСХ, связанные с влиянием случайных (статистических, вероятностных) факторов на результаты измерения. В силу своей случайной, а следовательно, непредсказуемой природы, статистическую погрешность очень сложно выделить в явном виде, но существуют методы, которые снижают ее влияние.

Есть два источника возникновения погрешности: непосредственно сам преобразователь и измерительная схема, включающая в себя соединительные провода и вторичный измерительный прибор.

### Статическая погрешность измерения температуры

#### **Измерение температуры с помощью термоэлектрического преобразователя (термопары)**

В основе измерения температуры с помощью термопары лежит эффект возникновения термоЭДС, зависящей от температуры, на контакте двух разных проводников. Зависимость термоЭДС от тем-

пературы описывается номинальной статической характеристикой (НСХ). НСХ регламентирована соответствующими стандартами для заданных пар электродов со строго определенным химическим составом. В реальности существует множество причин, по которым реальная зависимость термоЭДС от температуры отличается от НСХ, вызывая тем самым статическую погрешность. Такими причинами могут быть:

- изначальное отличие химического состава материала электродов от установленного стандартами;
- наличие примесей в спае двух электродов, которые появились в процессе некачественного изготовления;
- насыщение электродов и спае примесями из окружающей среды при высоких температурах в процессе эксплуатации;
- пространственная неоднородность химического состава материала электродов;
- механические напряжения в спае и в электродах.

Для каждого конкретного экземпляра термопары отклонения от НСХ в принципе могут измерены, а на основании этих измерений может быть построена индивидуальная калибровочная характеристика. В этом случае статическая погрешность данной термопары может быть сведена к нулю. Однако на практике так обычно не поступают по следующим причинам: отклонения от НСХ хоть и медленно, но все же меняются, причем по неизвестному закону, у разных экземпляров термопар отклонения различаются, следовательно, не существует единого способа устранения статической погрешности, а значит, и нет взаимозаменяемости термопар. Все это объясняет, почему статистическую погрешность, несмотря на принципиальную возможность ее устранения путем индивидуальной калибровки для каждого отдельного образца термопары, можно рассматривать как статистическую (непредсказуемую) погрешность. Вероятно, наиболее правильным подходом к снижению статической погрешности будет выполнение всех установленных норм при изготовлении как самих термопар, так и защитных чехлов, а также соблюдение определенных правил их эксплуатации.

В ГОСТ Р 8.585-2001 приведена таблица с указанием Пределов допускаемых отклонений для различных классов допуска. В частности, для термопар типа ТПП (S), ТПП (R) таблица имеет вид:

Таблица 1

Обозначение ТП	Обозначение типа термопары	Класс допуска	Диапазон измерений, °С	Пределы допускаемых отклонений ТЭДС от НСХ $\pm \Delta t$ , °С
ТПП	S,R	2	От 0 до 600	1,5
			Св. 600 до 1600	0,0025 t
		1	От 0 до 1100	1,0
			Св. 1100 до 1600	1,0+0,003(t-1100)

При построении измерительной схемы возникает дополнительная статическая погрешность за счет применения компенсационных проводов, которые, хоть и близки по своим термоэлектрическим свойствам в определенном диапазоне температур к свойствам термоэлектродов, но все же отличаются от них. В результате в местах соединения возникают дополнительные термопары, которые часто находятся при различных температурах. Все это вызывает появление дополнительных термоЭДС, а значит, и погрешность измерения.

Кроме того, статическая погрешность измерения появляется и в тех случаях, когда сопротивление компенсационных проводов нельзя считать пренебрежимо малым по сравнению с входным сопротивлением вторичного измерительного прибора. Протекающий ток вызывает падение напряжения на этом сопротивлении, что является еще одним источником погрешности измерения.

### ***Измерение температуры с помощью термопреобразователя сопротивления***

Как и в случае с термопарами, у термопреобразователей сопротивления также могут присутствовать отклонения от НСХ, причем их исходная причина аналогична – химический состав термопреобразователя не совпадает с установленным стандартом. Дополнительно при изготовлении может быть допущено отклонение от номинального значения сопротивления датчика при 0 °С. Пределы допустимых отклонений определены ГОСТ 6651-94. В частности для термопреобразователя типа ТСП таблица имеет вид:

Таблица 2

Тип ТС	Класс допуска	Диапазон измерений, °С	Пределы допускаемого отклонения сопротивления от НСХ, °С
Платиновые (ТСП)	A	от -220 до +850	$\pm(0,15+0,002  t )$

Измерительная схема также может быть источником погрешности. Статическая погрешность в значительной степени зависит от того, какая схема подключения термопреобразователя к вторичному измерительному прибору используется – двух-, трех- или четырехпроводная.

Этот вопрос подробно обсуждался в Методичке №1. Здесь только укажем на то, что наименьшую погрешность вызывает четырехпроводная схема, а двухпроводная схема наиболее критична к влиянию сопротивления соединительных проводов.

Существует еще один источник возникновения статической погрешности при измерении температуры термопреобразователями сопротивления. Дело в том, что схема измерения сопротивления предполагает, что через него пропускают ток возбуждения. Этот ток может вызывать саморазогрев термопреобразователя, а значит, и дополнительную погрешность. И хотя стандарты ограничивают максимальный ток возбуждения величиной не более 1 мА, представляется, что в основу правильного выбора тока возбуждения должны быть положены результаты теплотехнического анализа конкретной конструкции термопреобразователя, требования измерительной схемы, и конечно же, допустимый уровень погрешности за счет саморазогрева. В современных измерительных схемах величина тока возбуждения составляет 100-500 мкА.

### Динамическая погрешность измерения температуры

Рассмотрим термопреобразователь (например, термопару), помещенный в среду с температурой  $T_{\text{ср}}$ . Для предохранения от механических и химических воздействий чувствительный элемент, как правило, помещается в защитный чехол. Измерение температуры среды проводится путем измерения соответствующей электрической величины на выходе первичного термопреобразователя (у термопары – это термоЭДС, у термопреобразователя сопротивления – сопротивление) с помощью вторичных измерительных приборов. Результат измерения эквивалентной электрической величины  $T_{\text{изм}}$ , как правило, отличается от температуры среды  $T_{\text{ср}}$ .

Динамическая погрешность измерения температуры возникает тогда, когда температура среды  $T_{\text{ср}}$  изменяется во времени. Поскольку защитные чехлы да и сами чувствительные элементы первичных термопреобразователей имеют конечную теплоемкость и теплопроводность, то за счет тепловой инерции измеренная температура  $T_{\text{изм}}$  будет отставать от реальной температуры среды  $T_{\text{ср}}$ .

В Методичке №1 мы рассматривали переходную характеристику датчика.

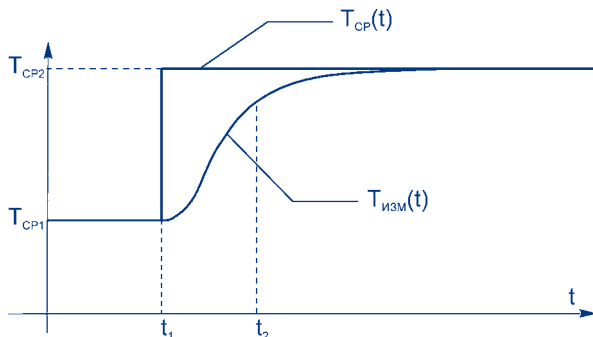


Рис. 1

В момент времени  $t_1$  происходит скачкообразное изменение температуры среды от  $T_{CP1}$  до  $T_{CP2}$ . При этом измеренная температура в первый момент остается практически равной  $T_{CP1}$  и лишь спустя время, большее, чем  $\tau_d = t_2 - t_1$ , выходит на уровень  $T_{CP2}$ . Таким образом, динамическая погрешность измерения  $\delta T_{дин}$  максимальна в момент времени  $t_1$  и равна  $\delta T_{дин} = T_{CP2} - T_{CP1}$ . Величина  $\tau_d$  является характеристикой датчика и называется временем тепловой инерции датчика. Время тепловой инерции определяется конструкцией датчика и для каждого типа датчика указывается в справочниках, как правило, для двух сред: воды и воздуха. Характерные значения для термопреобразователей общепромышленного применения лежат в широком диапазоне от 1 с до 200 с.

Практически температура среды меняется не скачкообразно, а более плавно. Общие особенности проявления динамической погрешности измерения наиболее наглядно видны при синусоидальном изменении температуры окружающей среды.

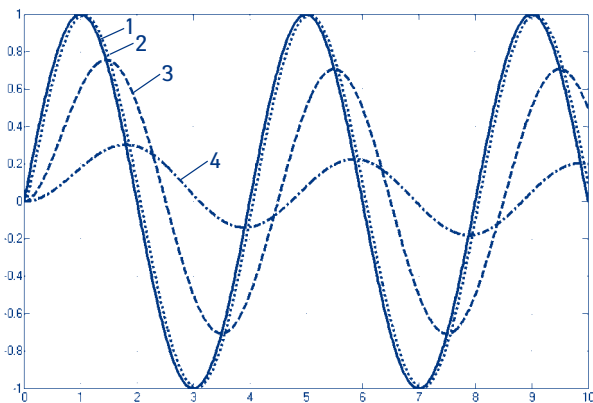


Рис. 2

Кривая 1 – Температура среды: синусоидальный сигнал  $\sin\left(\frac{2\pi t}{T_0}\right)$ ,  
период изменения температуры среды  $T_0=4$  мин

Кривая 2 – Сигнал с датчика при  $\frac{\tau_D}{T_0} = 0,1$

Кривая 3 – Сигнал с датчика при  $\frac{\tau_D}{T_0} = 1$

Кривая 4 – Сигнал с датчика при  $\frac{\tau_D}{T_0} = 5$

На рис. 2 приведены результаты измерения температуры среды тремя датчиками с различными постоянными времени. С увеличением постоянной времени происходит, во-первых, отставание результата измерения от температуры среды, во-вторых, уменьшение амплитуды колебаний результата измерения.

Таким образом, для того, чтобы ликвидировать динамическую погрешность измерения, необходимо следить за тем, чтобы измерения проводились датчиком с временем тепловой инерции значительно меньшей, чем характерные времена изменения температуры в среде. Если же резкие изменения все же происходят, то результаты измерения становятся достоверными только спустя время  $(3...5) \tau_D$  после того, как температура в системе будет зафиксирована.

Как и в случае статической погрешности измерения, динамическая погрешность может возникнуть и в измерительном тракте после термопреобразователя. Вторичные измерительные приборы, как правило, имеют низкочастотную фильтрацию сигналов. Такая фильтрация призвана уменьшить влияние помех (см. ниже Статистическая погрешность) во входном сигнале, но при этом измерения становятся более инерционными и могут иметь по этой причине динамическую погрешность.

В то же время существуют методы обработки сигналов, позволяющие компенсировать динамическую погрешность измерения и тем самым повысить точность измерения и регулирования температуры. Такая функция выполняется вторичными измерительными приборами.

## Статистическая погрешность

Как уже отмечалось, статистическая погрешность связана с различными случайными явлениями. В ряде случаев, рассмотренную выше статическую погрешность можно также рассматривать как статистическую.

В этом разделе мы уделим больше внимания статистической погрешности, быстроменяющейся во времени. Эта погрешность связана с влиянием электромагнитных помех на сам термопреобразователь и на соединительные сигнальные цепи. Спектральный состав электромагнитных помех характеризуется наличием больших составляющих на частоте напряжения питания (а также на кратных гармониках, особенно, если в системе присутствуют мощные выпрямители и тиристорные коммутаторы), а также сплошного шумоподобного широкого спектра, создаваемого различными высокочастотными устройствами.

Статистическая погрешность, обусловленная электромагнитными помехами, может проявлять себя двумя способами. Во-первых, это случайные изменения результатов измерения. Поскольку полезный измеренный сигнал изменяется медленно, то от случайной составляющей можно достаточно легко избавиться, применяя низкочастотную фильтрацию. При этом может возникнуть динамическая погрешность, о которой говорилось выше. На практике при выборе параметров низкочастотной фильтрации следует учитывать оба вида погрешности и бороться с максимальной из них.

Во-вторых, если электромагнитные помехи велики, то может происходить их детектирование нелинейными полупроводниковыми элементами измерительной схемы, и результат измерения будет содержать некоторую случайную постоянную погрешность. От постоянной погрешности, возникающей при детектировании, избавиться практически невозможно, поэтому единственным выходом является уменьшение самих помех.

Борьба с влиянием электромагнитных помех на результаты измерения проводится по двум основным направлениям. Первое заключается в организации правильного соединения термопреобразователя и вторичного измерительного прибора. Это подразумевает применение заземления, экранирования, витых пар, дифференциальных схем измерения. Второе направление заключается в программно-аппаратной фильтрации принятого сигнала. Этим вопросам будут посвящены отдельные материалы Методички.

## Электромагнитная совместимость

Замена в последние десятилетия аналоговых контрольно-измерительных приборов на микропроцессорные открыла совершенно новые возможности по управлению технологическими процессами. Однако применение микропроцессоров сделало ещё более актуальной проблему **электромагнитной совместимости** (ЭМС) электронных устройств. При этом, прежде всего, имеется в виду влияние высокочастотных помех на работу микропроцессорных устройств. Дело в том, что внутри аналоговых устройств высокочастотные помехи подавляются фильтрами низких частот, не вызывая значительных сбоев в их работе.

Напротив, микропроцессорные устройства принципиально работают с короткими импульсами на частотах свыше 10 МГц. Последовательности таких импульсов представляют собой кодированные данные или адреса, передаваемые по шинам прибора. Любые короткие импульсные помехи на шинах могут восприниматься процессором как неверные данные или адреса и вызывать сбои в работе программы.

Основная проблема заключается в том, что на частотах свыше 10 МГц сигналы могут распространяться, что называется «по воздуху» - провода им не нужны. Такие сигналы возбуждаются и принимаются любыми участками проводника с импульсным током, точно так же, как это происходит в антеннах. «Нематериальный путь» распространения таких помех чрезвычайно затрудняет борьбу с такими высокочастотными помехами. Помехи могут проникать через цепи входных сигналов, через цепи управляющих и интерфейсных сигналов, а также через цепи питания. Поскольку в системах промышленной автоматики присутствует огромное число источников помех, в частности, электромагнитные и твердотельные пускатели и коммутаторы, электроприводы, наконец, сами контрольно-измерительные приборы, то аппаратура буквально атакована такими помехами по всем фронтам.

Проблема ЭМС имеет несколько аспектов. С одной стороны, это проблема устойчивости приборов к воздействиям помех, с другой, это проблема создания устройств и приборов, у которых уровень эмиссии (создания, генерации) помех не превышает допустимого стандартами. Наконец, это проблема объединения приборов в систему таким образом, чтобы минимизировать взаимное влияние работающих приборов.



## Устойчивость к помехам

В настоящий момент существует ряд стандартов, которые регламентируют характер и уровень электромагнитных помех, к воздействию которых должны быть устойчивы микропроцессорные приборы. В частности, стандарт ГОСТ Р 50007-92 устанавливает устойчивость приборов к воздействию микросекундным импульсным помехам большой энергии (МИП), которые образуются в цепях электропитания переходными процессами от молниевых разрядов и различного рода переключений.

Устойчивость к МИП определяется степенью жесткости испытаний, которые предусмотрены стандартом. Этот стандарт классифицирует и условия эксплуатации.

Таблица 1

Степень жесткости испытаний	Амплитуда импульса напряжения, кВ
1	0.5
2	1.0
3	2.0
4	4.0
5	Устанавливается особо

Стандарт ГОСТ Р 51317.4.4-99 (МЭК 61000-4-4-95) устанавливает устойчивость по отношению к наносекундным импульсным помехам (НИП). Степени жесткости испытаний, которые относятся к различным условиям эксплуатации, приведены в табл. 2:

Таблица 2

Степень жесткости испытаний	Цепи электропитания и заземления		Цепи сигналов ввода/вывода	
	Амплитуда импульсов, кВ	Частота повторения, кГц	Амплитуда импульсов, кВ	Частота повторения, кГц
1	0,5	5	0,25	5
2	1	5	0,5	5
3	2	5	1	5
4	4	2,5	2	5

Микропроцессорные приборы, выпускаемые НПФ КонтрАвт, удовлетворяют требованиям 3 степени жесткости испытаний по МИП и НИП, что соответствует общепромышленным условиям эксплуатации.

## Эмиссия помех

Допустимый уровень эмиссии помех приборами устанавливается различными стандартами (например, ГОСТ Р 51317.6.4 -99 Совместимость технических средств электромагнитная. Помехоэмиссия от технических средств, применяемых в промышленных зонах.). В них сформулированы допустимые уровни излучения в заданных диапазонах частот для приборов различного назначения.

Требования к помехоэмиссии рассматриваются применительно к электромагнитным помехам в полосе частот от 0 до 1000 МГц. Нормы помехоэмиссии от технических средств установлены в табл. 3 и предусматривают последовательную проверку всех портов.

Таблица 3

Наименование порта	Полоса частот	Норма
Порт корпуса	30-230 МГц	30 дБ относительно 1 мкВ/м на расстоянии 30 м
	230-1000 МГц	37 дБ относительно 1 мкВ/м на расстоянии 30 м
Входные порты электропитания переменного тока	0-2кГц	ГОСТ Р 51327.3.2, раздел 7
	0,15-0,5 МГц	73 дБ относительно 1 мкВ (квазипиковое значение)
		66 дБ относительно 1 мкВ (среднее значение)
	0,5-5 МГц	73 дБ относительно 1 мкВ (квазипиковое значение)
		66 дБ относительно 1 мкВ (среднее значение)
	5-30 МГц	73 дБ относительно 1 мкВ (квазипиковое значение)
66 дБ относительно 1 мкВ (среднее значение)		

Ответственность за решение первых двух проблем, связанных с устойчивостью к помехам и с эмиссией помех, возлагается на производителей приборов и электронного оборудования. Общую задачу, стоящую перед производителями приборов, можно сформулировать так: приборы должны генерировать минимальный уровень помех и должны быть максимально устойчивы к их воздействию.

Решением третьей задачи – задачи объединения приборов и устройств в систему – занимаются проектно-монтажные организации, службы КИПиА и АСУ ТП на предприятиях.

При объединении приборов в систему возникают различные связи, по которым проходит как полезная информация и энергия, так и помехи. От того, как построена система, как выполнены соединения, как размещено оборудование в значительной мере зависит устойчивость работы всей системы.

Специалистам этих служб и организаций и призван помочь данный материал.

## Связи в системе

Итак, как следует объединять приборы в единую систему, чтобы минимизировать взаимное влияние приборов?

В начале статьи были указаны возможные пути взаимного влияния. Помехи могут проникать через цепи входных сигналов, через цепи управляющих и интерфейсных сигналов, а также через цепи питания. Физические механизмы влияния также могут быть различными. Во-первых, влияние может осуществляться через общие участки проводников, во-вторых, через индуктивное влияние, в-третьих, через емкостное влияние.

### *Влияние через общие участки проводников*

Влияние через общие участки проводников иллюстрирует простейшая схема.

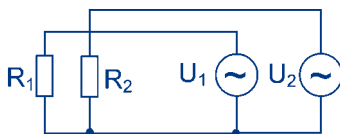


Рис. 1

При первом рассмотрении представляется, что токи через резисторы  $R_1$  и  $R_2$  равны  $I_1 = \frac{U_1}{R_1}$  и  $I_2 = \frac{U_2}{R_2}$ , откуда следует, что взаимного влияния токов друг на друга нет. На самом деле взаимное влияние есть и оно осуществляется через общий участок цепи, который имеет хоть и малое, но все же конечное сопротивление (а часто и индуктивность). Потому более точной будет следующая схема.

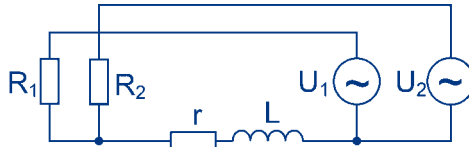


Рис. 2

Из схемы следует, что

$$I_1 = \frac{U_1 - r(I_1 + I_2)}{R_1}$$

$$I_2 = \frac{U_2 - r(I_1 + I_2)}{R_2}$$

Приведенные формулы показывают взаимное влияние токов друг на друга за счет падения напряжения на общем участке цепи (без учёта индуктивности).

Очевидно, что соединения в схеме должны быть сделаны таким образом, чтобы исключить прохождение токов из разных контуров через общие участки. Сказанное иллюстрирует следующая схема.

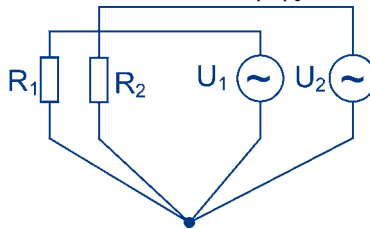


Рис. 3

В ней связь разных контуров установлена только в одной точке, следовательно, взаимное влияние полностью исключено.

При создании системы необходимо следить за тем, чтобы отдельные части системы не имели связей через общие участки проводников, если, конечно, такие участки не служат для передачи сигналов между этими частями системы. Это относится к цепям питания, заземления, входным и выходным сигнальным цепям.

Обратим внимание на то, что данный механизм влияния особенно опасен для импульсных токов. Во-первых, как уже отмечалось, процессорные устройства особенно подвержены импульсным воздействиям, во-вторых, в быстродействующих импульсных схемах импульсные токи могут значительно (в 10-1000 раз) превосходить постоянные токи в цепи, в-третьих, для импульсов начинает сказываться индуктивность проводников. Поэтому все, что кажется пренебрежимо малым для постоянных (или переменных с частотой 50Гц) токов, становится значительным для импульсов длительностью менее 1мкс.

## Как правильно подключать питание к приборам

Во всех **Руководствах по эксплуатации** на приборы НПФ КонтрАвт сказано:

*«Подключение к источнику питания нескольких приборов производится отдельными проводами для каждого прибора. Питание одного прибора от другого не допускается».*

Правильная схема должна быть такой.

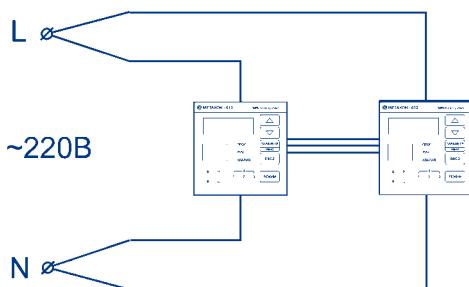


Рис. 4

К сожалению, часто применяют иную, неправильную, схему.

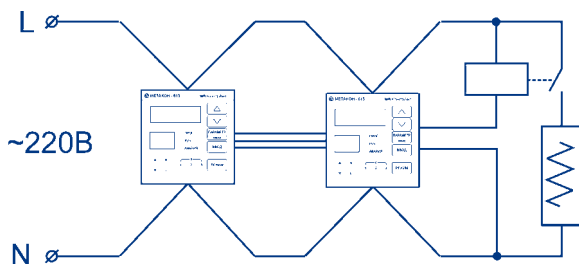


Рис. 5

На первый взгляд они равноценны. Однако, если в первом случае приборы питаются независимо друг от друга, то во втором случае, каждый последующий прибор питается от всех предыдущих. Конечно, схема на рис. 5 представляется более экономной – для ее реализации провода питания нужны существенно короче. Но при этом возникают общие участки проводника, через которые может осуществляться взаимное влияние приборов.

Реальные провода питания, которыми выполнено соединение, имеют хоть и малые, но конечные сопротивление и индуктивность. При последовательном соединении приборов все помехи, которые

генерируются в любом из приборов, выделяются на общих участках проводов питания, что приводит к передаче помех от одного прибора к другому и могут вызывать сбои. Особенно плохо, если в таком последовательном соединении участвуют коммутаторы индуктивных нагрузок: реле, зуммеров, двигателей. Влияние импульсных помех отсутствует при соединении приборов по схеме на рис. 4.

## Разделение силовых цепей и цепей питания приборов

Во всех **Руководствах по эксплуатации** на приборы НПФ КонтрАвт сказано:

*«Питание приборов необходимо производить от сети, несвязанной с питанием мощных электроустановок».*

Правильная схема должна быть такой.

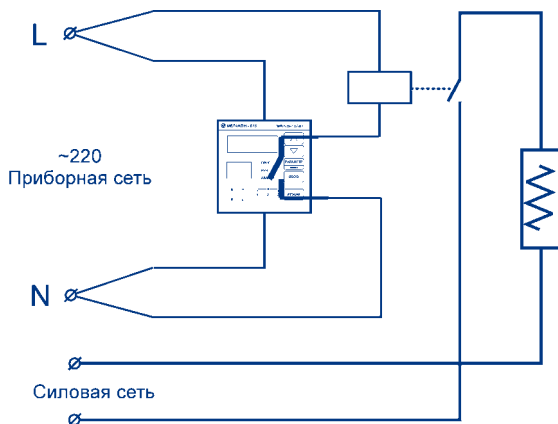


Рис. 6

Многие наши партнеры применяют иную, к сожалению, неправильную схему (см. рис. 5).

Механизм возникновения и передачи помех совпадает с предыдущим, однако за счет того, что в силовых цепях коммутируются значительно большие токи, уровень помех и степень их влияния многократно возрастают.

## Заземление приборов

Аналогичный механизм возникновения и передачи импульсных помех реализуется при последовательном заземлении одного прибора через предыдущий.

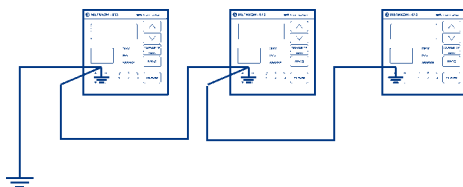


Рис. 7

За счет импульсных токов в заземляющем проводе происходит импульсное изменение потенциала земли. Как следствие, импульсные помехи за счет некачественного заземления проникают в цепи соседних приборов. Таким образом, заземлять нужно также по схеме «звезда».

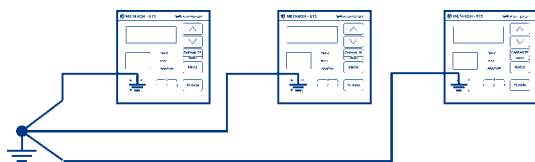


Рис. 8

## Построение сигнальных цепей

Все сказанное относится и к сигнальным цепям, как входным, так и выходным. Выходные цепи, как правило, делают более мощными. Как следствие, они меньше подвержены воздействию помех. Входные цепи особенно чувствительны. Если входные цепи являются измерительными, то помехи могут привести не только к сбоям приборов, но и вызвать погрешность измерения. Ниже приведены две схемы, иллюстрирующие общий принцип построения сигнальных цепей, исключающих передачу помех через общие участки цепи.

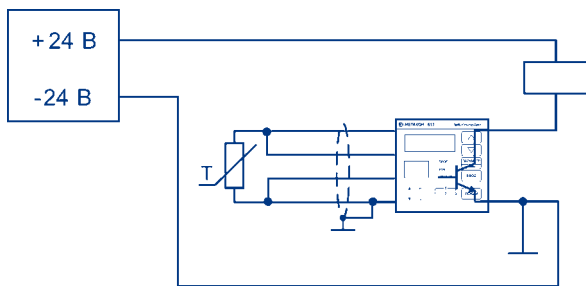


Рис. 9

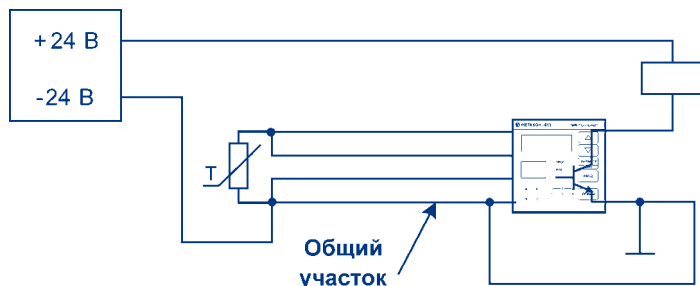


Рис. 10

На рис. 10 имеется общий участок, через который проходят как входные, так и выходные сигналы. Это приводит к помехам и к ошибкам измерения.

ИТАК:

*В цепях, в которых могут возникнуть импульсные токи малой длительности, следует считать, что любой проводник имеет конечное сопротивление и индуктивность, даже если в привычном представлении ими пренебрегают.*

*При соединении приборов следует избегать общих участков цепи, через которые протекают токи из разных контуров, информационно не связанных между собой.*

## Что делать, если силовую и приборную сети разделить нельзя

Для этого следует применить сетевой фильтр ФС, выпускаемый НПФ КонтрАвт, либо разделительный трансформатор подходящей мощности с заземленным экраном. Сетевой фильтр специально сконструирован так, чтобы препятствовать проникновению высокочастотных помех из силовых цепей в цепи питания приборов. Кроме того, в фильтрах имеются варисторные ограничители импульсных помех. Это также повышает качество питания приборов.

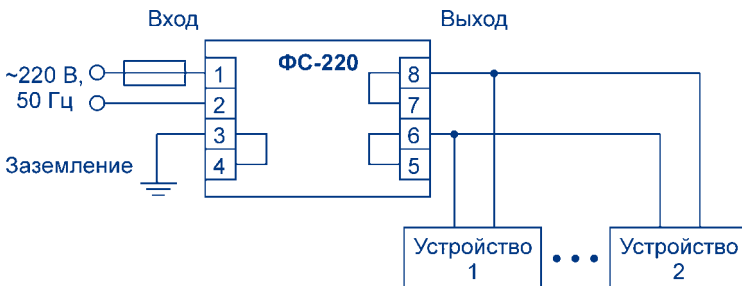


Рис. 11



Что касается применения разделительного трансформатора, то следует иметь в виду, что его свойства по подавлению помех проявляются только при наличии заземленного экрана. Дело в том, что в отсутствие экрана высокочастотная помеха легко проходит от одной обмотки к другой через межобмоточную емкость. Экран представляет собой дополнительную обкладку в межобмоточной емкости, причем эта дополнительная обкладка должна быть заземлена. За счет этого помехи через половину емкости «уходят» в землю и не передаются на обмотку питания приборов.

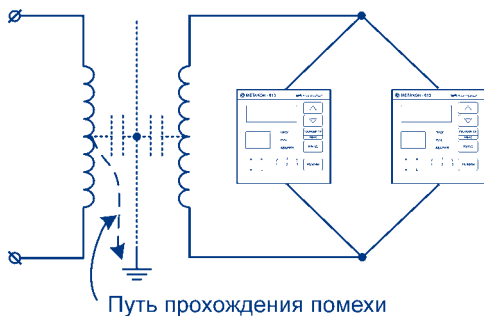


Рис. 12

Измерители  
технологических  
параметров

МЕТАКОН-512/522/532/562



Регуляторы-  
измерители  
для управления  
технологическими  
процессами

МЕТАКОН-512/522/532/562  
Т-424, МЕТАКОН-515  
МЕТАКОН-513/523/533  
МЕТАКОН-514/524/534  
МЕТАКОН-613/614



Реле времени

ЭРКОН - 214/224



Измерительные  
нормирующие  
преобразователи  
аналоговых сигналов

ПСТ, ПНТ



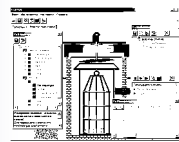
Устройства питания  
и коммутации

БП, БПР, БС, БР, ФС



Программное  
обеспечение для  
построения систем  
сбора данных

RNet





### Уважаемые коллеги!

Наша редакция приглашает ученых, технических писателей, журналистов и инженеров с опытом написания статей. В общем, всех, кто «имеет что сказать» на тему АСУТП. Если судить по специализированным форумам, то таких людей достаточно много, и они, порой, решают очень сложные задачи.

Мы с удовольствием будем публиковать статьи и новости, рассказывающие о непростых буднях специалистов в области автоматизации технологических процессов.

Приоритет получают следующие статьи:

- посвященные применению оборудования КонтрАвт;
- тематические, подготовленные по заданиям редакции;
- коммерческие, не противоречащие интересам нашей компании и соответствующие тематике номера.

Более подробную информацию об условиях авторского участия и тематике следующих номеров можно найти на нашем сайте по адресу:

<http://method.contravt.ru>

или

<http://method.contravt.ru>

**e-mail: [metod@contravt.nnov.ru](mailto:metod@contravt.nnov.ru)**

# НПФ КонтрАвт

## тел./факс

(8312) 16-63-08 - многоканальный

(8312) 66-16-94, 66-16-04

## e-mail

sales@contravt.nnov.ru

## internet

www.contravt.ru

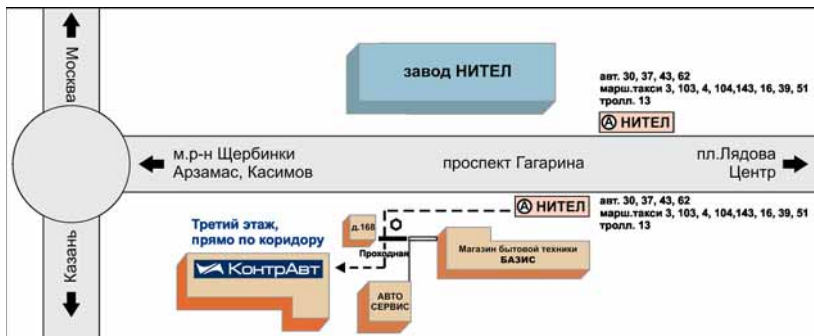
## почтовый адрес

Россия, 603107, Нижний Новгород, а/я 21

## местонахождение

Нижний Новгород, пр. Гагарина, 168, офис 318

## схема проезда



## филиалы НПФ КонтрАвт

### Самара

Высоцкий  
Андрей Витальевич

443013, Самара, а/я 13743

тел. +7 927 603-6501

факс +7 846 338-1719

contravt\_samara@mail.ru

### Ярославль

Гарипов  
Ибрагим Равилевич

150006, г. Ярославль, а/я 23

тел./факс +7 0852 74-4229

сот. +7 910 665-34-19

contravt-yar@mail.ru

### Башкортостан

Маслова  
Лариса Ивановна

450075, Уфа, а/я 7079

моб. +7 917 416-23-57

тел. (3472) 35-23-42  
maslovali@bashnet.ru

### Волгоград, Астрахань, Саратов

Бондаренко  
Александр Александрович

400112, Волгоград, а/я 602

моб. +7 902 314-8362

contravt-volga@vlink.ru

abond@vlink.ru

### Екатеринбург

Заварзина  
Светлана Александровна

620143, г. Екатеринбург, а/я 293

моб. +7 922 616-4131

contravt-ural@yandex.ru