

# Электрические характеристики выходного напряжения. Виды отклонений и методики их измерения.

## Содержание

Актуальность	2
Цель документа	3
Виды и причины отклонений выходного напряжения в DC/DC преобразователях	3
Особенности обратной связи в модулях МДМ	3
Характеристики модулей МДМ	5
Схема для измерения электрических параметров	5
Установившееся отклонение ( $\Delta U_{уст}$ )	6
Нестабильность при изменении входного напряжения ( $H_U$ )	6
Нестабильность при изменении выходного тока ( $H_I$ )	7
Временная нестабильность ( $H_T$ )	7
Температурная нестабильность ( $H_T$ )	8
Суммарная нестабильность ( $H_{\Sigma}$ )	8
Переходное отклонение ( $\Delta U_{пер}$ ) при изменении выходного тока ( $\Delta U_{пер}$ ) и входного напряжения	9

# Актуальность

Современные электронные системы критичны к качеству питания и выходу за допустимые границы напряжения. Значительные отклонения выходного напряжения DC/DC преобразователей могут нарушать работоспособность оборудования и снизить надежность системы.

Допустимый диапазон питания нагрузки обозначается характеристиками выходного напряжения DC/DC преобразователя в виде установившихся отклонений и нестабильностей при изменении входного питания и выходного тока, динамических провалов/выбросов, температурного и временного дрейфа.

**Эти параметры напрямую связаны с типом нагрузки и могут приводить к различным негативным последствиям:**



## Цифровые процессоры и ПЛИС

*Снижение тактовой частоты, увеличение энергопотребления и тепловыделения*



## Аналоговые датчики

*Погрешность измерения пропорциональна нестабильности питания*



## Усилители

*Искажение аналогового сигнала*



## Приемо-передающие модули

*Дрейф частоты передатчика, искажение фазы сигнала, увеличение уровня побочных излучений*



## Двигатели

*Кратковременное изменение скорости вращения*



## Индикаторные устройства

*Мерцание или снижение яркости*

## DC/DC преобразователи МДМ предназначены для стабильного питания для различного типа нагрузок



Рис. 1. МДМ-А, источники питания импульсных нагрузок.

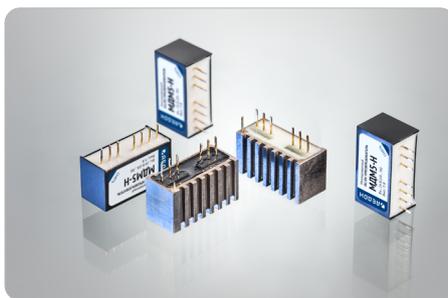


Рис. 2. МДМ-Н, компактные преобразователи в SIP-корпусах.

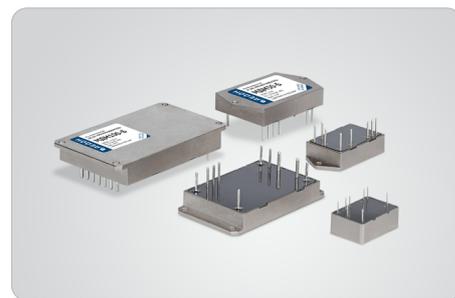


Рис. 3. МДМ-Б, унифицированные преобразователи, предназначены для эксплуатации в бортовой аппаратуре.

## Цель документа

Документ предоставляет практическое руководство для выбора и применения DC/DC преобразователей серии МДМ в системах с высокой стабильностью питания и помогает:

- классифицировать виды отклонений выходного напряжения и пояснить причины их возникновения.
- ознакомить с электрическими характеристиками выходного напряжения модулей МДМ и методами их измерения.

## Виды и причины отклонений выходного напряжения в DC/DC преобразователях

За компенсацию отклонения выходного напряжения от номинального значения отвечает обратная связь.

Ее основная задача – компенсировать изменения  $U_{\text{ВЫХ}}$  при плавных или скачкообразных изменениях условий работы ( $U_{\text{ВХ}}$ ,  $I_{\text{ВЫХ}}$ , температура).

Пример топологии многоканального преобразователя с магнитной обратной связью обратноходового приведен на рисунке.

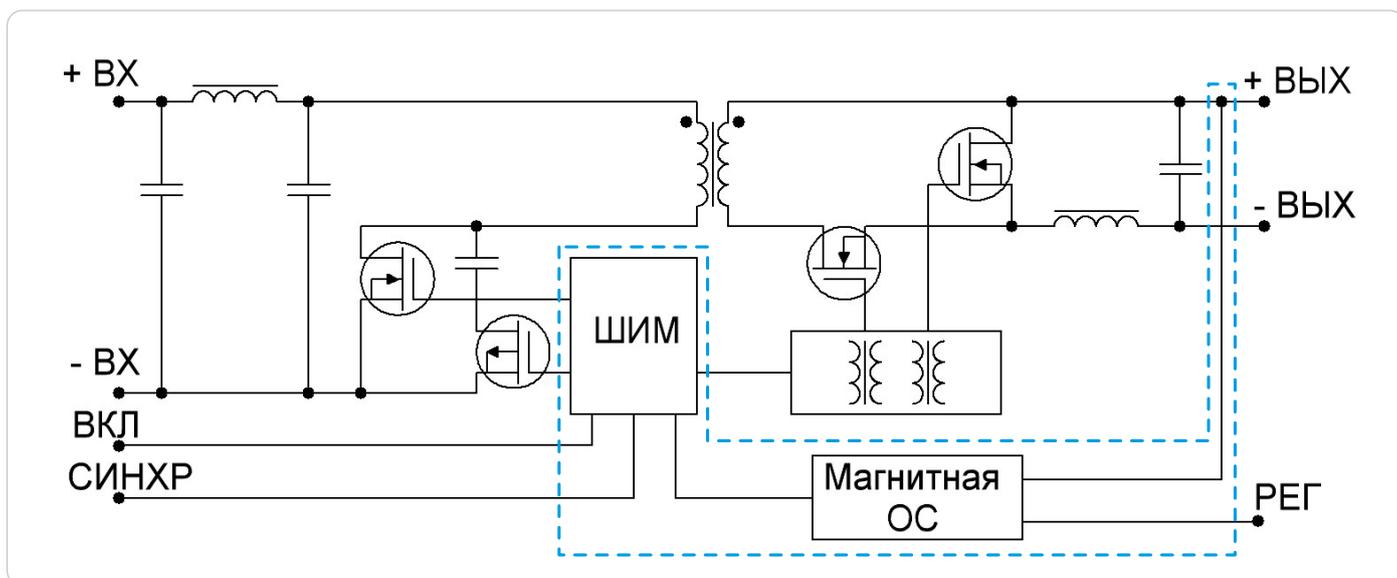


Рис. 4. Пример топологии многоканального преобразователя с магнитной обратной связью обратноходового.

Однако разброс параметров компонентов ОС, нелинейность характеристик и внешние факторы вызывают отклонения выходного напряжения от номинального значения.

## Особенности обратной связи в модулях МДМ

Во многоканальных модулях ОС берётся с первого канала, поэтому второй компенсирует отклонения с меньшей точностью и зависит от загрузки первого канала.

При малой нагрузке 10% от номинального тока нестабильность второго/третьего канала может превышать 10%.

# Характеристики выходного напряжения DC/DC преобразователя, отражающие данные отклонения, разделяют на:

## Статические

<p><b><math>\Delta U_{уст}</math></b></p> <p><b>Установившееся отклонение</b></p> <p>Обусловлены разбросом параметров компонентов ОС (например, резисторов в делителе напряжения), индуктивности трансформатора, микросхемы опорного напряжения</p>	<p><b><math>H_U/H_I</math></b></p> <p><b>Нестабильность по входному напряжению и току нагрузки</b></p> <p>Обусловлены нелинейностью обратной связи по напряжению преобразователя (например, изменение коэффициента усиления при разных режимах работы)</p>	<p><b><math>H_T, H_t</math></b></p> <p><b>Температурная и временная нестабильность</b></p> <p>Обусловлены влиянием внешних факторов: температура, старение конденсаторов, дрейф характеристик датчиков тока</p>	<p><b><math>H_\Sigma</math></b></p> <p><b>Суммарная нестабильность</b></p> <p>Складывается из частных нестабильностей и достигает максимального значения только при совокупном воздействии всех факторов</p>
---	--	---	--

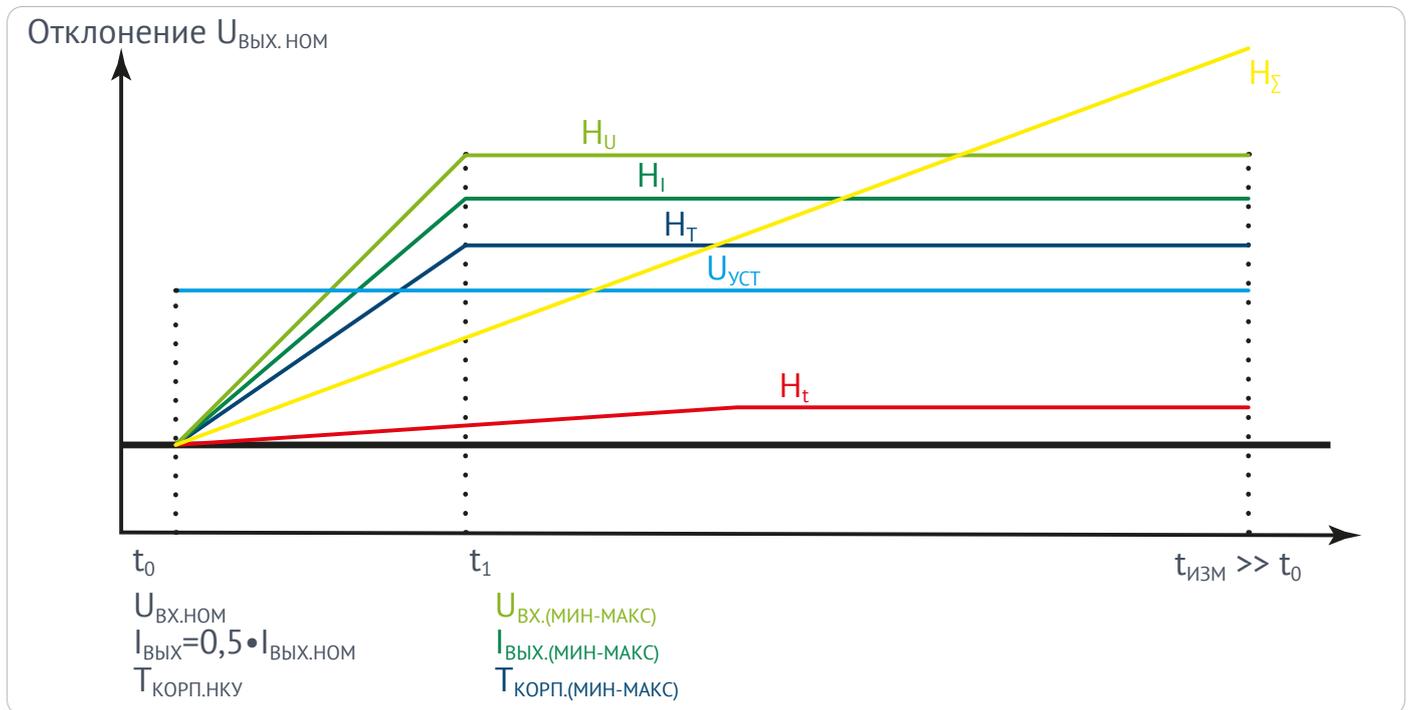


Рис. 5. Пример нестабильностей выходного напряжения.

## Динамические

<p><b><math>\Delta U_{пер}</math></b></p> <p><b>Установившееся отклонение</b></p> <p>Кратковременные выбросы/провалы, возникающие при:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>скачкообразном изменении нагрузки;</li> <li>резком изменении входного напряжения.</li> </ul> <p>Обусловлено временем (быстродействием), необходимым на получение сигнала обратной связи об изменениях в работе, коррекции ШИМ и формирования напряжения в выходном фильтре.</p>	<p>При изменении <math>U_{\text{вх}}</math></p> <p>При изменении <math>I_{\text{вых}}</math></p>
---	--

Рис. 6. Пример переходных отклонений.

# Характеристики модулей МДМ

В таблице ниже приведены характеристики модулей МДМ

P <sub>ВЫХ</sub> N канала	МДМ-П		МДМ-Р	МДМ-Н		МДМ-А	МДМ-Б		МДМ-С			
	1 канал	2; 3 канал	Для всех	2 Вт и 5 Вт	10 Вт	Для всех	1 канал	2 канал	25 Вт и 50 Вт	120 Вт	200 Вт	400 Вт
ΔU <sub>УСТ</sub>	± 2%	± 7% <sup>1</sup>	± 2%	± 2%		± 2%	± 2% ± 3%*	± 5% ± 7%*	± 1%			
H <sub>У</sub>	± 2%	± 7% <sup>1</sup>	± 2%	± 1%		± 2%	± 0,5%		± 0,5%			
H <sub>И</sub>	± 2%	± 7% <sup>1</sup>	± 2%	± 1% для U <sub>ВЫХ</sub> >5В ± 2% для U <sub>ВЫХ</sub> <5В		± 2%	± 2%	± 1,5%	± 5%		± 0,5%	
H <sub>Т</sub>	± 3%		± 3%	± 2%		± 1%	± 2%		± 1,5%			
H <sub>т</sub>	± 0,5%		± 0,5%	± 0,5%		± 0,5%	± 1%		± 0,5%			
H <sub>Σ</sub>	± 5%	± 8% <sup>1</sup>	± 6%	± 2,5%		± 4%	± 5%	± 8%	± 3%			
ΔU <sub>ПЕР</sub>	± 10% <sup>3</sup>		± 10%**	± 5% 2 - при изм. U <sub>ВХ</sub> ± 10% 2 - при изм. I <sub>ВЫХ</sub>		± 10% <sup>3</sup>	± 10% <sup>3</sup>	± 10% <sup>3</sup>		± 6% <sup>2</sup>	± 5% <sup>2</sup>	± 10% <sup>2</sup>

<sup>1</sup> В случае, если U<sub>ВЫХ</sub> 2-го или 3-го каналов отличается на 20% и более от номинального U<sub>ВЫХ</sub> 1-го канала:

- H<sub>У</sub> + H<sub>И</sub> должна быть не более ± 12 %;
- H<sub>Σ</sub> должна быть не более ± 14 %;

<sup>2</sup> При длительности фронта ≥ 0,1 мс

<sup>3</sup> При длительности фронта ≥ 0,5 мс

## Схема для измерения электрических параметров

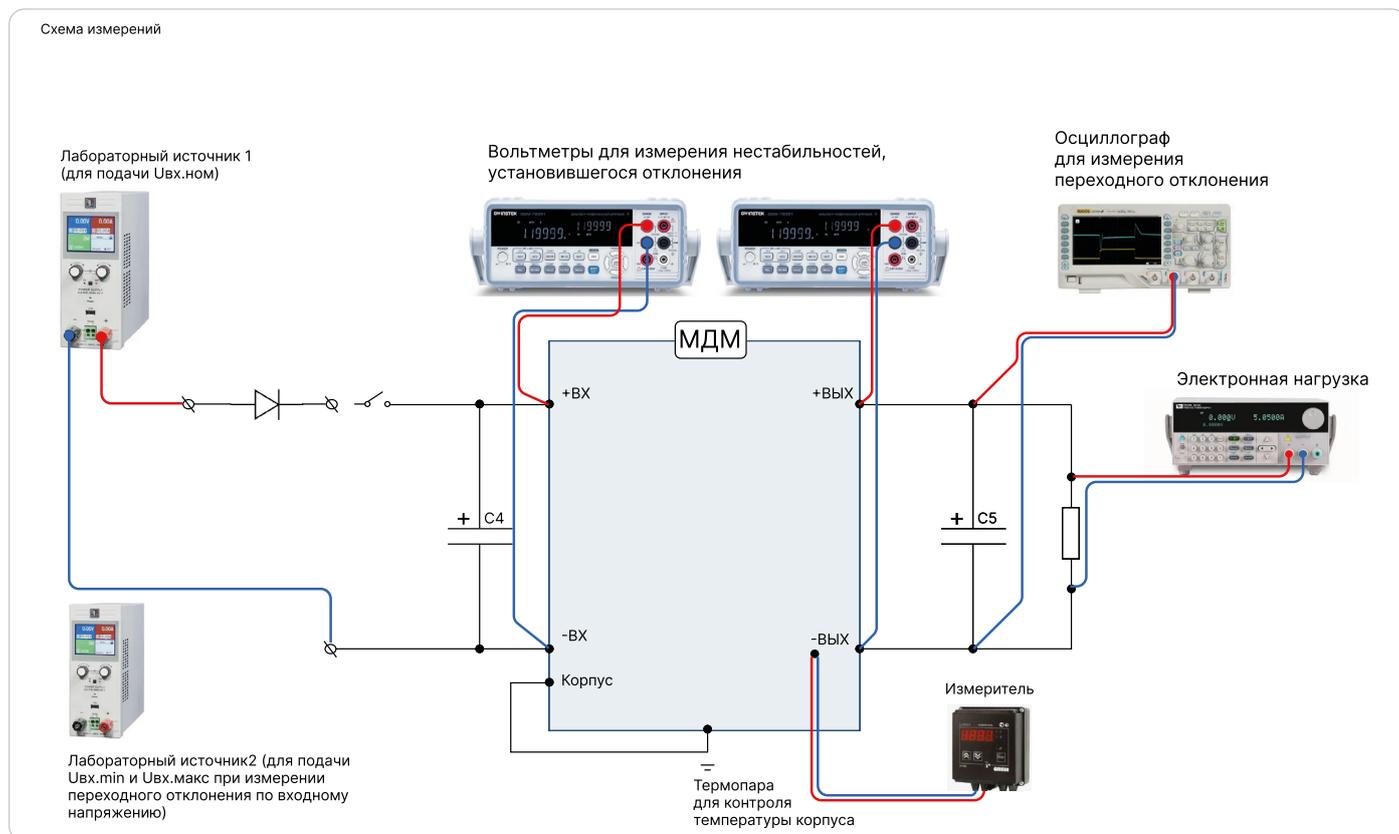


Рис. 7. Схема для измерения электрических параметров.

# Установившееся отклонение ( $\Delta U_{уст}$ )

## Что измеряется:

Отклонение выходного напряжения от номинала при максимальной нагрузке.

## Методика:

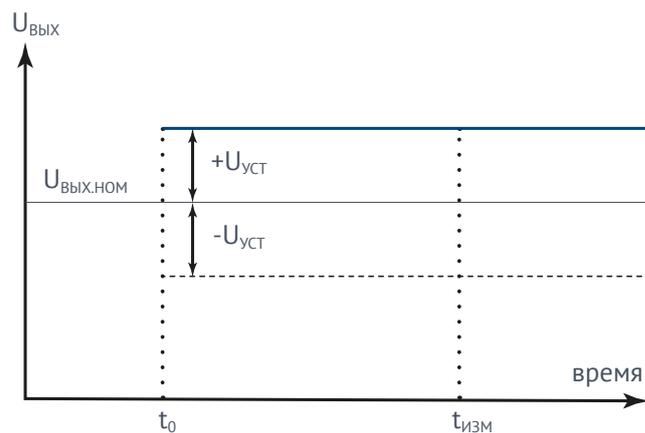
1. Установить номинальное входное напряжение ( $U_{вх.ном}$ ) и максимальный ток нагрузки ( $I_{ном}$ ).
2. Измерить фактическое выходное напряжение ( $U_{вых.изм}$ ).
3. Рассчитать  $\Delta U_{уст}$  по формуле.

## Формула:

$$\Delta U_{уст} = \frac{U_{вых.ном} - U_{вых.изм}}{U_{вых.ном}} \cdot 100\%$$

## Дополнительно:

Измерение проводится после стабилизации напряжения (например, «после 5 минут работы»).



где  $t_0$  — момент появления  $U_{ВЫХ}$   
 $t_{изм}$  — момент изменения  $U_{ВЫХ}$

Рис. 8. Пример установившегося отклонения.

# Нестабильность при изменении входного напряжения ( $H_U$ )

## Что измеряется:

Отклонение выходного напряжения при изменении входного напряжения.

## Методика:

1. Установить  $U_{вх.ном}$  и  $I_{ном}$ , измерить  $U_{вых}$ .
2. Увеличить  $U_{вх}$  до  $U_{вх.макс}$ , измерить  $U_{вых}$ .
3. Уменьшить  $U_{вх}$  до  $U_{вх.мин}$ , измерить  $U_{вых}$ .
4. Рассчитать  $H_U$  по формуле.

## Формула:

$$H_U = \frac{U_{вых(макс, мин)} - U_{вых.ном}}{U_{вых.ном}} \cdot 100\%$$

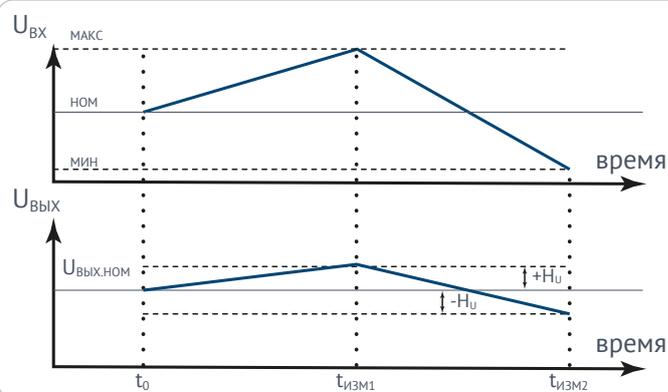


Рис. 9. Пример нестабильности при изменении входного напряжения.

# Нестабильность при изменении выходного тока ( $H_I$ )

## Что измеряется:

Отклонение выходного напряжения при изменении тока нагрузки.

## Методика:

1. Установить  $I_{\text{ВЫХ}} = 0,5 \times (I_{\text{МАКС}} + I_{\text{МИН}})$ , измерить  $U_{\text{ВЫХ}}$ .
2. Уменьшить ток до  $I_{\text{МИН}}$ , измерить  $U_{\text{ВЫХ}}$ .
3. Увеличить ток до  $I_{\text{МАКС}}$ , измерить  $U_{\text{ВЫХ}}$ .
4. Рассчитать  $H_I$  по формуле.

## Формула:

$$H_I = \frac{U_{\text{ВЫХ (МАКС, МИН)}} - U_{\text{ВЫХ.НОМ}}}{U_{\text{ВЫХ.НОМ}}} \cdot 100\%$$

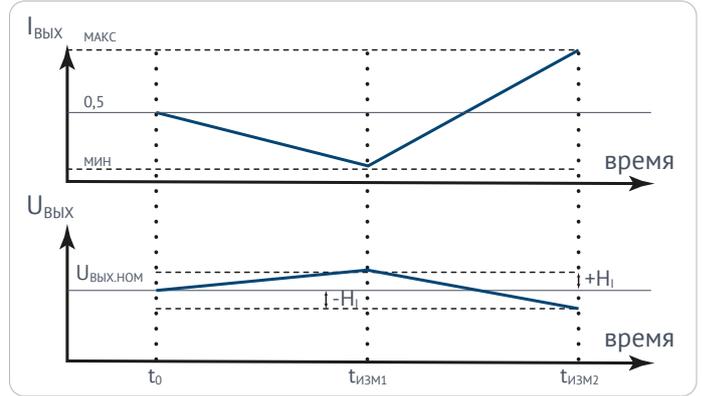


Рис. 10. Пример нестабильности при изменении выходного тока.

# Временная нестабильность ( $H_T$ )

## Что измеряется:

Дрейф выходного напряжения во времени при постоянных условиях.

## Методика:

1. Установить  $U_{\text{ВХ.НОМ}}$  и  $I_{\text{НОМ}}$ .
2. Зафиксировать начальное значение  $U_{\text{ВЫХ}}$ .
3. Оставить преобразователь включенным на 8 часов.
4. Каждые 2 часа измерять  $U_{\text{ВЫХ}}$ , зафиксировать  $U_{\text{МАКС}}$  и  $U_{\text{МИН}}$ .
5. Рассчитать  $H_T$  по формуле.

## Формула:

$$H_T = \frac{U_{\text{ВЫХ.МАКС}} - U_{\text{ВЫХ.МИН}}}{U_{\text{ВЫХ}}} \cdot 100\%$$

## Дополнительно:

Все измерения проводятся при стабильной температуре и нагрузке. Используется для оценки долгосрочной надёжности.

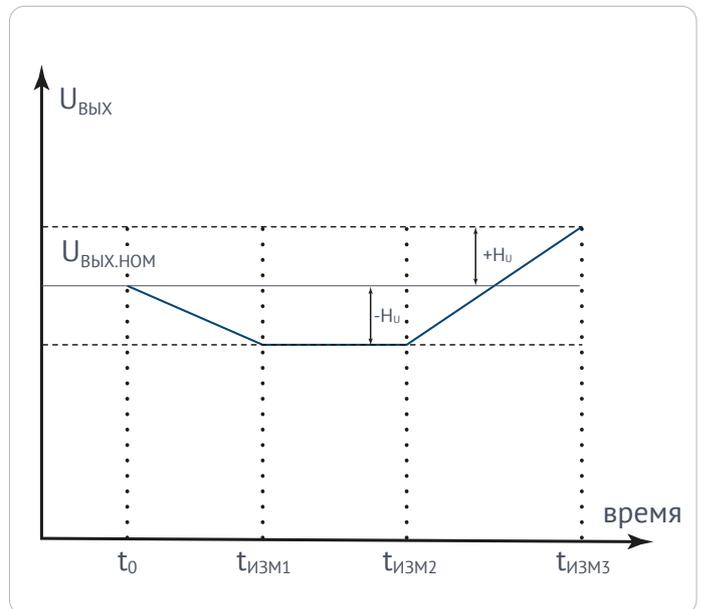


Рис. 11. Пример временной нестабильности.

# Температурная нестабильность ( $H_T$ )

## Что измеряется:

Отклонение выходного напряжения при изменении температуры окружающей среды.

## Методика:

1. Установить  $U_{\text{ВЫХ.НОМ}}$  и  $I_{\text{НОМ}}$
2. Снизить температуру до  $T_{\text{МИН}}$ , измерить  $U_{\text{ВЫХ.ИЗМ.1}}$
3. Повысить температуру до  $T_{\text{МАКС}}$ , измерить  $U_{\text{ВЫХ.ИЗМ.2}}$
4. Рассчитать  $H_T$  по формуле.

## Формула:

$$H_T = \frac{U_{\text{ВЫХ}}(T_{\text{КОРП.МАКС}}, T_{\text{КОРП.МИН}}) - U_{\text{ВЫХ.НОМ}}}{U_{\text{ВЫХ.НОМ}}} \cdot 100\%$$

## Дополнительно:

Измерения проводятся в климатической камере или с использованием саморазогрева (см. [Рекомендации по применению Оценка и обеспечение тепловых режимов DC/DC преобразователей](#)).

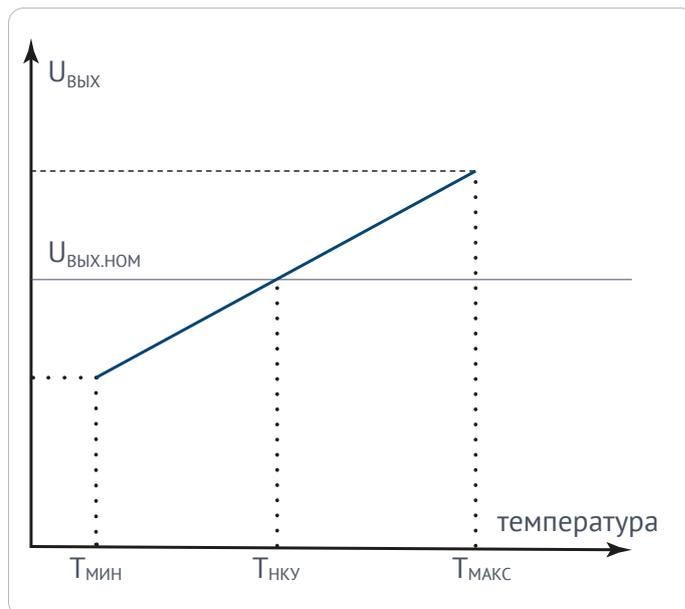


Рис. 12. Пример температурной нестабильности.

# Суммарная нестабильность ( $H_{\Sigma}$ )

## Что измеряется:

Максимально возможное отклонение выходного напряжения в случае одновременного значительного изменения температуры корпуса, при изменении входного напряжения и при изменении выходного тока на длительном промежутке времени.

## Методика:

1. Провести измерения для  $H_U$ ,  $H_I$ ,  $H_T$ ,  $H_T$  по отдельности.
2. Сложить полученные значения.

## Формула:

$$H_{\Sigma} = H_U + H_I + H_T + H_T$$

## Дополнительно:

$H_{\Sigma}$  необходима для комплексной оценки стабильности выходного напряжения. Учитывает совокупное отклонение при воздействии одновременно всех параметров.

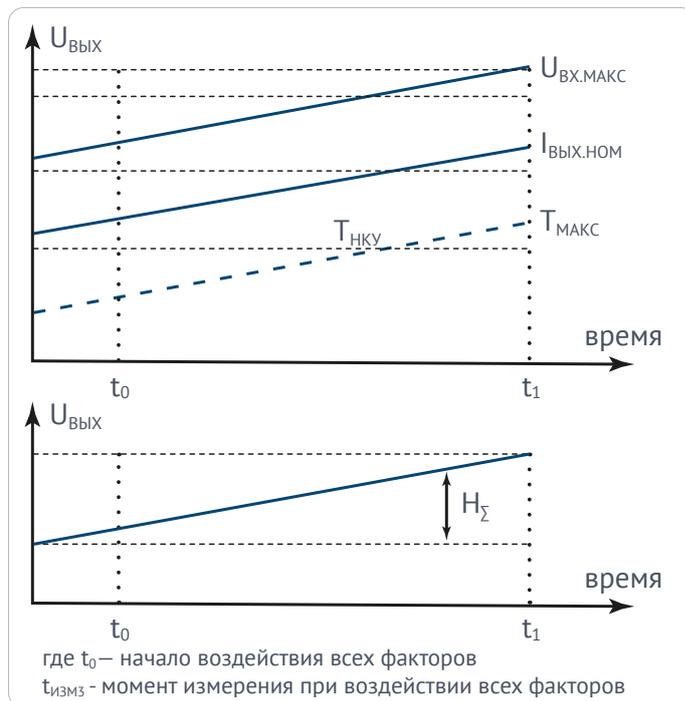


Рис. 13. Пример суммарной нестабильности.

# Переходное отклонение ( $\Delta U_{\text{ПЕР}}$ ) при изменении выходного тока ( $\Delta U_{\text{ПЕР}}$ ) и входного напряжения

## Что измеряется:

Отклонение выходного напряжения при резком изменении нагрузки (скачкообразное воздействие).

## Что измеряется:

Отклонение выходного напряжения при изменении  $U_{\text{ВХ}}$ .

## Методика:

- Подготовка оборудования:
  - Подключите программируемую электронную нагрузку к выходу модуля.
  - Установите тумблеры  $S_1$  и  $S_2$  в положение «ВКЛ».
- Проведение испытаний:
  - Шаг 2.1:
    - Установите нагрузку на 50%
  - Шаг 2.2:
    - Переключите нагрузку на 100%  $I_{\text{НОМ}}$  > зафиксируйте осциллограмму.
    - Переключите нагрузку обратно на 50%  $I_{\text{НОМ}}$  > зафиксируйте осциллограмму.
- Расчёт  $\Delta U_{\text{ПЕР}}$
- Определите  $U_{\text{ВЫХ.МАКС}}$  и  $U_{\text{ВЫХ.МИН}}$  с осциллограммы.
- Рассчитайте  $\Delta U_{\text{ПЕР}}$  по формуле.

## Методика:

- Подготовка оборудования:
  - Подключите два лабораторных источника питания через тумблер.
  - Установите модуль согласно схемы включения.
- Настройка режима:
  - Установите номинальное входное напряжение ( $U_{\text{ВХ.НОМ}}$ ) и номинальный ток нагрузки ( $I_{\text{НОМ}}$ ).
- Проведение испытаний:
  - Шаг 3.1:
    - На источнике 1 установите  $U_{\text{ВХ.МИН}}$  (отрицательное отклонение).
    - На источнике 2 установите  $U_{\text{ВХ.НОМ}}$ .
  - Шаг 3.2:
    - Переключите тумблер на источник 1 ( $U_{\text{ВХ.МИН}}$ ) > зафиксируйте осциллограмму.
    - Переключите тумблер на источник 2 ( $U_{\text{ВХ.НОМ}}$ ) > зафиксируйте осциллограмму.
  - Шаг 3.3:
    - Повторите измерения для  $U_{\text{ВХ.МАКС}}$  (положительное отклонение).
- Расчёт  $\Delta U_{\text{ПЕР}}$ :
  - Определите  $U_{\text{ВЫХ.МАКС}}$  и  $U_{\text{ВЫХ.МИН}}$  с осциллограммы.
  - Рассчитайте  $\Delta U_{\text{ПЕР}}$  по формуле.

## Формула:

$$\Delta U_{\text{ПЕР}} = \frac{U_{\text{ВЫХ.МАКС/МИН}} - U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВЫХ}}} \cdot 100\%$$

## Пояснения:

Длительность фронта импульса должна составлять:

- 0,5 мс - МДМ-П, МДМ-Р, МДМ-А, МДМ-Н (2 и 5 Вт);
- 0,1 мс - для модулей МДМ-Н (10 Вт), МДМ-Б, МДМ-С.

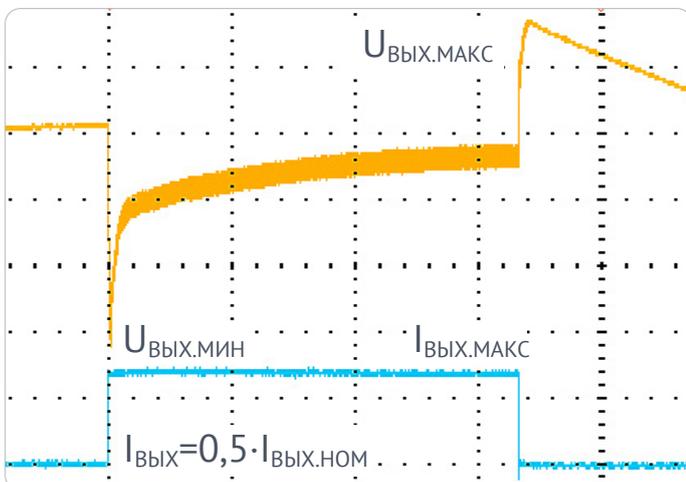


Рис. 14. Переходное отклонение при набросе и сбросе нагрузки.

Луч 1 (желтый) – выходное напряжение.

Луч 2 (голубой) – ток нагрузки.

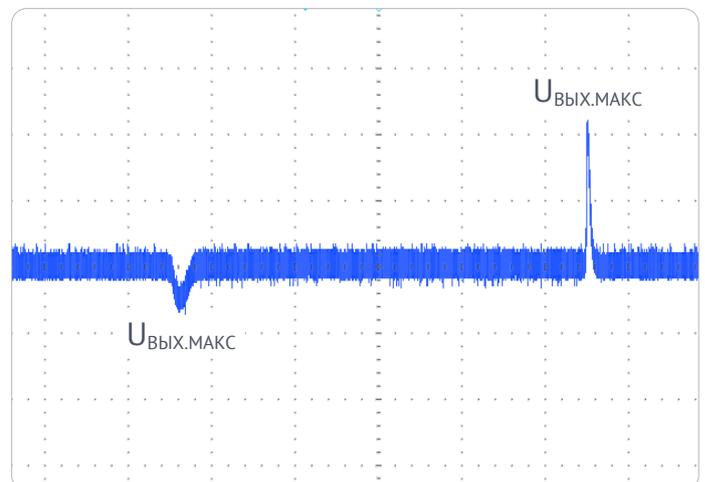


Рис. 15. Переходное отклонение при изменении входного напряжения.



[www.aedon.ru](http://www.aedon.ru) [mail@aedon.ru](mailto:mail@aedon.ru)

Компания «АЕДОН» – ведущий российский разработчик и производитель DC/DC преобразователей и систем электропитания для ответственных сфер применения.

Россия, 394026, Воронеж, ул. Дружинников, 5б

+7 (473) 300-300-5, 8 800 333-81-43

**По всем вопросам и с предложениями Вы можете  
обращаться напрямую к составителям данного руководства:**

Чуvenков Александр    [achuvenkov@aedon.ru](mailto:achuvenkov@aedon.ru)    +7 (473) 300-300-5 #262

Туровский Алексей    [aturovskii@aedon.ru](mailto:aturovskii@aedon.ru)    +7 (473) 300-300-5 #195