

СПРАВОЧНИК: Магниторезистивные датчики тока для силовых цепей

Быстрый справочник технических параметров

РАЗДЕЛ 1. ОСНОВНЫЕ ТИПЫ МАГНИТОРЕЗИСТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Сравнительная таблица магниторезистивных эффектов

Технология	AMR	GMR		TMR	Датчик Холла
Магнитосопротивление	2–5%	10–20%	100–600%		Не применимо
Год открытия	1856	1988	1995		1879
Чувствительность (мВ/В/Э)	~1	~3	~100		~0,05
Динамический диапазон (Э)	~10	~100	~1000		~10000
Разрешение (нТ/√Гц)	0,1–10	1–10	0,1–10		>100
Энергопотребление (мА)	1–10	1–10	0,001–0,01		1–50
Температурный диапазон	<150°C	<150°C	<200°C		<150°C
Основное применение	Компасы Жесткие диски Датчики нового поколения Широкий спектр				

РАЗДЕЛ 2. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДАТЧИКА TMR7307-SB

Электрические параметры

Параметр	Типовое значение Минимальное Максимальное Единица			
Напряжение питания	5,0	4,5	5,5	В
Ток потребления	5	3	8	мА
Выходное напряжение (при нулевом токе)	2,5	2,3	2,7	В
Выходное напряжение (при полном токе)	4,5	4,3	4,7	В
Чувствительность	100	95	105	мВ/А
Максимальная нелинейность	±1,0	—	±1,5	% FS
Температурный коэффициент смещения	±0,5	—	±1,0	%/°C
Полоса пропускания (-3 дБ)	500	400	600	кГц
Точность измерения в зависимости от условий				
Условие	При 25°C	При -40°C	При +105°C	
Погрешность смещения нуля	±0,5%	±1,5%	±1,5%	
Погрешность чувствительности	±0,8%	±1,2%	±1,2%	
Полная систематическая погрешность	±1,5%	±2,5%	±2,5%	

Механические параметры

Параметр	Значение
Размеры корпуса	8 × 8 × 6 мм (BGA) или SMD

Количество выводов	16 (BGA) или 8 (DIP)
Допустимое ускорение	5000 g (пиковое)
Параметр	Значение
Виброустойчивость	10–2000 Гц
Масса	~0,5 г

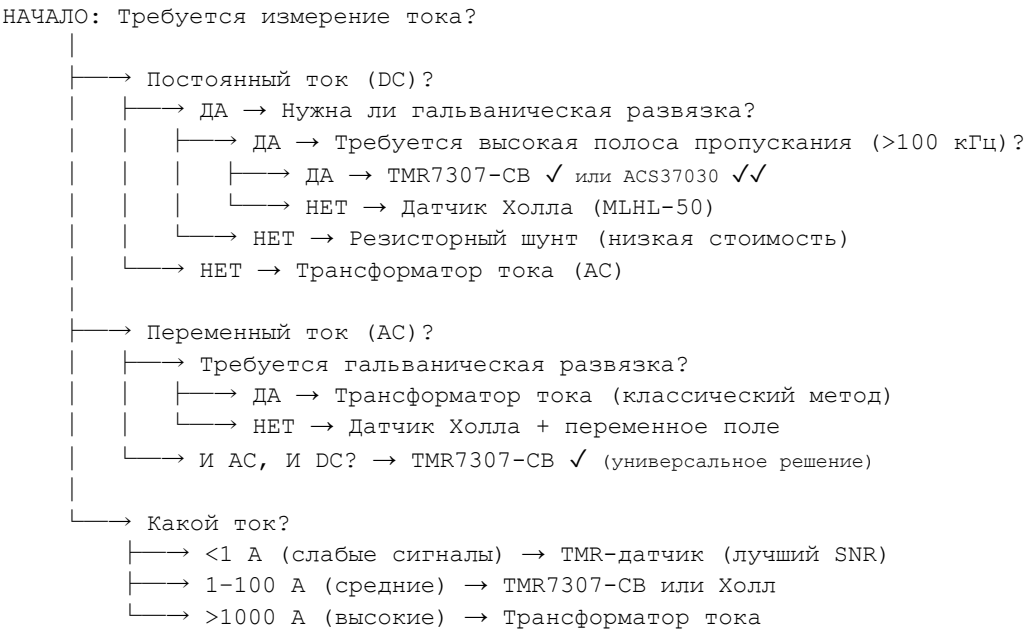
РАЗДЕЛ 3. СРАВНЕНИЕ ДАТЧИКОВ ТОКА: ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

Матрица выбора датчика в зависимости от применения

Применение	Требуемый ток (А)	Требуемая точность	Полоса пропускания	Изоляция	Рекомендуемый датчик
Фитнес-трекер	0,1–1	±5%	<10 кГц	Не требуется	Датчик Холла (MLHL-50)
Портативное зарядное устройство	1–5	±2%	10–100 кГц	Желательна	ACS712 (Allegro Holл)
Солнечный инвертор	10–50	±1%	100–500 кГц	Требуется	TMR7307-CB (TMR)
Электромобиль (BMS)	5–200	±1–2%	50–500 кГц	Требуется	ACS37030 (TMR, Allegro)
Электромобиль (инвертор)	50–1000	±1%	100–500 кГц	Требуется	ACS37041 (TMR, Allegro)
Промышленный привод	10–500	±2%	1–100 кГц	Требуется	TMR7307-C (TMR)
Электростанция	100–5000	±1–2%	<10 кГц	Требуется	Трансформатор тока + шунт

РАЗДЕЛ 4. АЛГОРИТМ ВЫБОРА МАГНИТОРЕЗИСТИВНОГО ДАТЧИКА

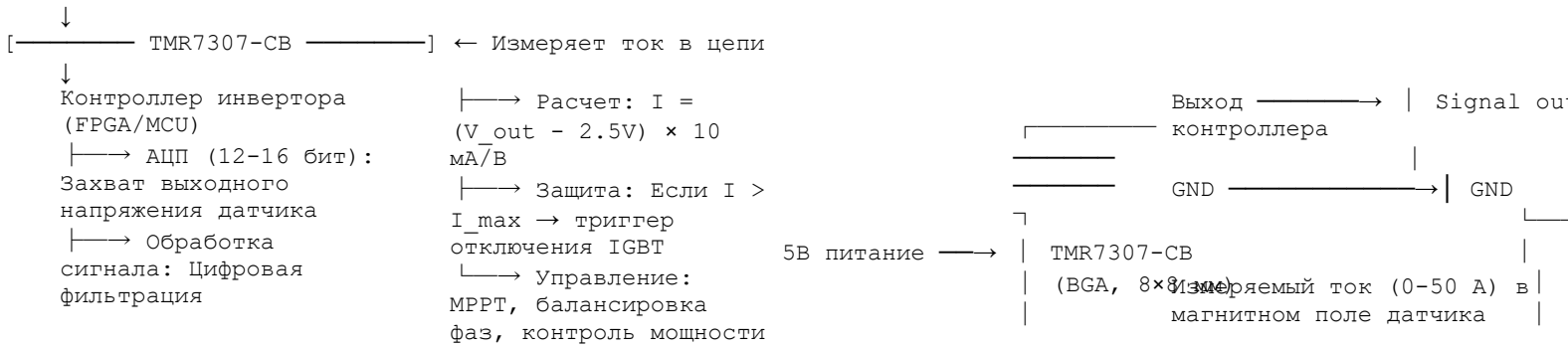
Решающее дерево выбора



РАЗДЕЛ 5. ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИМЕНЕНИЯ И СХЕМЫ ПОДКЛЮЧЕНИЯ

Типовая схема подключения TMR7307-CB в инверторе электромобиля

Высоковольтная батарея (400 В DC)



РАЗДЕЛ 6. ТАБЛИЦА ОТЛАДКИ И ДИАГНОСТИКИ

Решение проблем с датчиком TMR7307-SB

Проблема	Возможная причина	Решение
Выходное напряжение вне диапазона 2-4,5 В	Плохое питание или обрыв	Проверить напряжение питания 5V, проверить соединения
Шумный сигнал	Электромагнитные помехи (EMI)	Экранировать проводку, добавить LC-фильтры, дифференциальная схема
Смещение нуля не на 2,5 В	Температурный дрейф или заводской брак	Откалибровать программно или заменить датчик
Чувствительность ниже ожидаемой	Магнитный датчик слишком далеко	Переместить датчик ближе к проводнику (оптимально 2-5 мм)
Отсутствие сигнала вообще	Поломка датчика, обрыв BGA контактов	Заменить датчик, проверить пайку
Нестабильность при температурных колебаниях	Слабая температурная компенсация в ПО	Реализовать таблицу коррекции температуры в памяти MCU
Слишком медленное время отклика	Фильтр низких частот слишком активен	Увеличить частоту среза фильтра, использовать цифровую фильтрацию

РАЗДЕЛ 7. РАСЧЕТНЫЕ ФОРМУЛЫ И ПРИМЕРЫ

Базовые расчеты для магниторезистивных датчиков

1. Расчет магнитного поля от проводника (закон Ампера):

$$H = I / (2\pi \times r)$$

где:

- H - напряженность магнитного поля (А/м)
- I - ток в проводнике (А)
- r - расстояние от проводника до датчика (м)
- $\pi \approx 3,14159$

ПРИМЕР: Ток 50 А на расстоянии 3 мм от датчика

$H = 50 / (2 \times 3,14159 \times 0,003) = 2654 \text{ А/м} \approx 33,5 \text{ мТ}$

2. Расчет выходного напряжения датчика:

$$V_{out} = V_{mid} + Sensitivity \times I_{measured}$$

где:

- V_out - выходное напряжение (В)
- V_mid - напряжение посередине диапазона (2,5 В)
- Sensitivity - чувствительность датчика (100 мВ/А для TMR7307-SB)
- I_measured - измеряемый ток (А)

ПРИМЕР: Датчик TMR7307-SB при измерении 25 А

$V_{out} = 2,5 + 0,1 \times 25 = 2,5 + 2,5 = 5,0 \text{ В} \checkmark$

3. Расчет погрешности измерения:

$$Error_{total} = \sqrt{(Error_{offset}^2 + Error_{gain}^2 + Error_{temp}^2 + Error_{nonlinearity}^2)}$$

ПРИМЕР: Общая погрешность при +85°C

$$\begin{aligned} \text{Error_total} &= \sqrt{(1,5^2 + 0,8^2 + 1,2^2 + 1,0^2)} \\ &= \sqrt{(2,25 + 0,64 + 1,44 + 1,00)} \\ &= \sqrt{5,33} = 2,31\% \approx \pm 2,3\% \end{aligned}$$

4. Расчет размеров магнитного концентратора:

Фокусное расстояние = 1,5 × толщина проводника

ПРИМЕР: Проводник диаметром 3 мм
Оптимальное расстояние до датчика = 1,5 × 3 = 4,5 мм

Практический пример: Расчет датчика для солнечного инвертора

- Дано:
- Номинальный ток: 32 А
 - Требуемая точность: ±1%
 - Рабочий диапазон температур: -20°C до +60°C
 - Условия: Помехи от других проводников возможны

- Решение:
1. Выбор датчика: TMR7307-32C (номинал 32 А)
 2. Полоса пропускания: 500 кГц достаточна для МРРТ (~10 кГц)
 3. Изоляция: Встроенная (5 кВ)
 4. Размещение: На 3 мм от проводника главной шины
 5. Питание: Отдельный стабилизатор 5В (±5%)
 6. Фильтрация: LC-фильтр с fс = 100 кГц
 7. Компенсация: Температурная таблица в EEPROM MCU
 8. Защита: Быстродействующий компаратор для срабатывания при I > 35 А

Ожидаемая погрешность: ±1,5% во всем диапазоне

РАЗДЕЛ 8. ТЕХНИЧЕСКИЕ СТАНДАРТЫ И СЕРТИФИКАЦИЯ

Применимые стандарты для магниторезистивных датчиков

Стандарт	Описание	Применение
ISO 26262	Функциональная безопасность электроники в автомобилях	Системы безопасности (ASIL A-D)
AEC-Q100	Компоненты электроники для автомобилей	Надежность, температурные испытания
IEC 61010-1	Безопасность измерительных приборов	Лабораторная техника
IEC 60068	Условия окружающей среды и испытания	Вибрации, удары, температура
EN 61800-3	Электромагнитная совместимость приводов	Промышленные преобразователи частоты
IEC 61326	Общие требования к измерительному оборудованию	Электромагнитная совместимость

Сертификаты производителей

Производитель	Датчик	Сертификаты	Автомобильный стандарт
Allegro MicroSystems	ACS37030	AEC-Q100 Grade 0	ISO 26262 (ASIL B)
MultiDimension Tech (MDT)	TMR7307-CB	RoHS, Pb-Free	Соответствует AEC
Infineon	TLE 4972	AEC-Q100	ISO 26262 (ASIL B)
NXP Semiconductors	MLX91210	AEC-Q100 Grade 1	ISO 26262 (ASIL B)

РАЗДЕЛ 9. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ТАБЛИЦА ПОПУЛЯРНЫХ ДАТЧИКОВ ТОКА

Датчик	Производитель	Технология	Диапазон (А)	Точность	Стоимость	Применение
TMR7307-CB	MultiDimension	TMR	±32	±1–2,5%	\$	Солнечные инверторы

ACS37030MY	Allegro	TMR	±30	±1%	\$\$	Электромобили
ACS37041	Allegro	TMR	±50	±1%	\$\$	Мощные приводы
ACS712	Allegro	Холл	±5 до ±30	±1,5–3%	\$	Генеральная электроника
MLHL-50	NXP	Холл	±50	±3%	\$	Промышленность
TLE4972	Infineon	TMR	±25	±1,5%	\$\$	Автомобили
Резисторный шунт	Различные	—	<1000	±0,5–1%	\$	Универсальное

Условные обозначения: \$ = <\$1, \$\$ = \$1–5, \$\$\$ = >\$5 за единицу при покупке 1000 шт

РАЗДЕЛ 10. ИСТОЧНИКИ ИНФОРМАЦИИ И КОНТАКТЫ

Ведущие производители магниторезистивных датчиков

Компания	Сайт	Основные продукты	Техподдержка
MultiDimension Technology (MDT)	www.mdt.com.cn	Серия TMR7300, TMR8300	Email: support@mdt.com.cn
Allegro MicroSystems	www.allegromicro.com	Серия ACS37000, ACS712	www.allegromicro.com/support
Infineon Technologies	www.infineon.com	TLE4972, TLE4974	www.infineon.com/support
NXP Semiconductors	www.nxp.com	MLX91210, MLX90203	www.nxp.com/support
Honeywell	www.honeywell.com	CSLW (Legacy)	www.honeywell.com/support
Полезные ресурсы			

- Datasheet хранилище: www.alldatasheet.com, www.datasheetspdf.com
- Калькулятор магнитного поля: www.caltool.org (магнитные поля проводников)
- Симуляторы схем: LTspice (www.analog.com/ltspice), KiCAD (www.kicad.org)
- Форумы: Electronics StackExchange, EEVblog Forum

РАЗДЕЛ 11. БЫСТРАЯ СПРАВКА: ТИПИЧНЫЕ ОШИБКИ

10 наиболее распространенных ошибок при проектировании систем с магниторезистивными датчиками

№	Ошибка	Последствие	Как избежать
1	Расположение датчика > 10 мм от проводника	Потеря сигнала, шум	Оптимальное расстояние: 2–5 мм
2	Отсутствие развязывающих конденсаторов на питании	Нестабильность, прерывистая работа	Установить 100 нФ + 10 мкФ рядом с датчиком
3	Прямое подключение выхода датчика в АЦП	Гальванический шум, погрешности	Использовать буферный усилитель
4	Игнорирование температурного дрейфа	Реализовать температурную компенсацию в ПО Погрешность растет при нагреве	
5	Отсутствие экранирования от помех	Прерывание во время переключения IGBT	Экранированный кабель, общая точка земли
6	Слишком агрессивная цифровая фильтрация	Задержка сигнала, потеря быстрых переходов	Найти баланс: $f_c \approx 10 \times$ полосу сигнала
7	Неправильная полярность магнитного поля	Инвертированное измерение	Проверить направление полей с помощью компаса

8	Использование датчика вне номинального диапазона	Перегрузка, насыщение	Выбрать датчик с запасом 20–30% по диапазону
9	Отсутствие откалибровки нулевого уровня	Постоянная систематическая ошибка	Откалибровать выход при I=0 при включении
10	Игнорирование зависимости чувствительности от частоты	Ошибка при высокочастотных компонентах	Проверить частотную характеристику датчика

РАЗДЕЛ 12. ГЛОССАРИЙ ТЕРМИНОВ

Термин	Сокращение	Определение
Туннельное магнитосопротивление	TMR	Эффект квантового туннелирования электронов через магнитный барьер
Гигантское магнитосопротивление	GMR	Магнитосопротивление в многослойных структурах ферромагнитных металлов
Анизотропное магнитосопротивление	AMR	Зависимость сопротивления ферромагнитного материала от ориентации намагниченности
Гальваническая развязка	Isolation	Электрическое разделение цепей без физического контакта
Полоса пропускания	BW	Диапазон частот, в котором датчик работает с заданной точностью
Динамический диапазон	DR	Отношение максимального к минимальному измеряемому значению
Чувствительность	Sensitivity	Изменение выходного сигнала при единичном изменении входа
Соотношение сигнал/шум	SNR	Отношение полезного сигнала к шумовому сигналу
Отслеживание точки максимальной мощности	MPPT	Алгоритм оптимизации выработки солнечных панелей
Система управления батареей	BMS	Электроника контроля заряда и разряда аккумулятора
Инвертор тока	Inverter	Устройство преобразования постоянного тока в переменный
Коэффициент гармонических искажений	THD	Мера нелинейности сигнала

Версия справочника: 1.0
Дата последнего обновления: ноябрь 2025
Для вопросов и уточнений используйте контакты производителей, указанные в Разделе 10.

Автор концепции: Повный Андрей Владимирович, преподаватель Филиала УО Белорусский государственный технологический университет "Гомельский государственный политехнический колледж"
Сайт: <https://electricalschool.info/>
Канал в Telegram: <https://t.me/electricalschool>