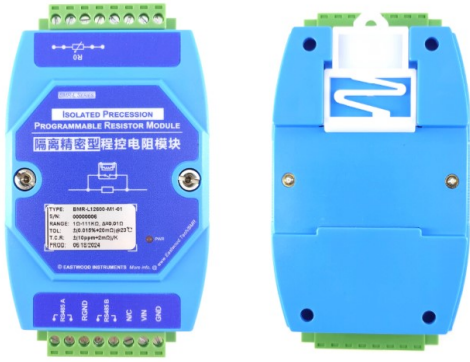


BMR-L 系列 隔离精密型程控电阻模块

说明书





BMR-L 系列程控电阻模块使用 RF 磁保持继电器作为电阻网络的切换开关，使用过程中继电器线圈不发热，该方案可以产生最接近定值电阻器性能的电输出。

BMR-L 系列标准版以四线制输出（避免接线端子影响），步进分辨率高达 10mΩ，保守初始精度可达 $\pm(0.015\%R.D+20m\Omega)$ ，典型温漂 10ppm，此外拥有便宜组网的通讯接口（比如 RS-485）而不需要额外付费软件操控，用户完全可以考虑使用本系列替代 PXI 程控电阻卡。

BMR-L 系列支持 6~24V 宽电压供电，同时可选丰富的通讯接口（隔离型的 RS-485、RS-232 以及 CAN），其中 RS-485 支持最大 256 节点组网。

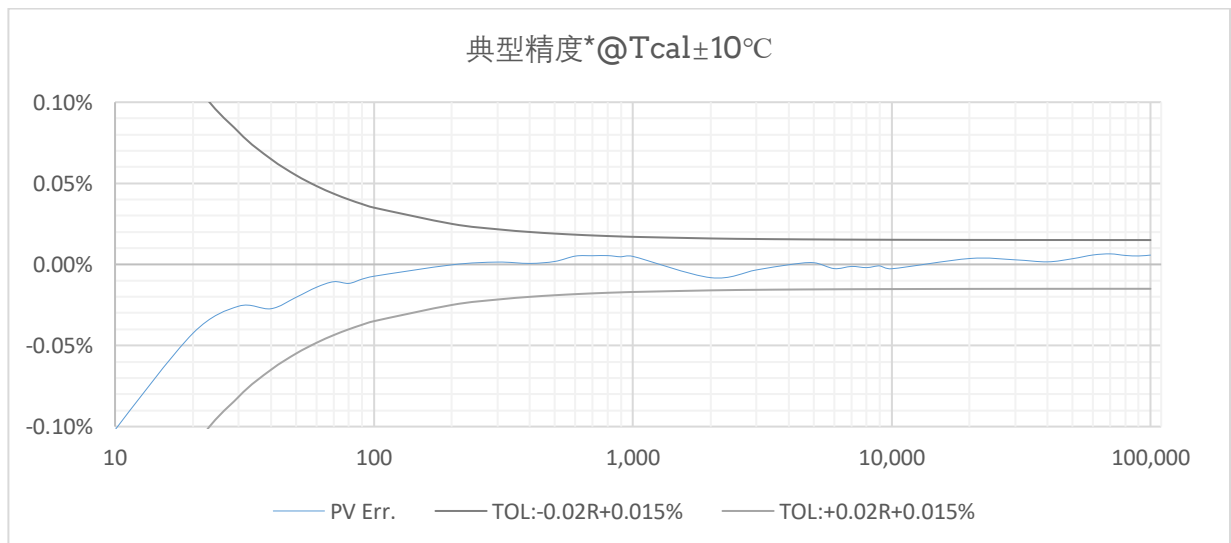
此外，模块外壳贴合工业应用场景设计，支持标准 DIN 导轨安装。

特征概览

- 由“RF 继电器-电阻网络”产生的真实电阻
- 快速的输出响应：
 $<3ms$
- 可适用于微小信号场合，比如电桥
- 大量程，高分辨率：
标准版 1Ω -111.111kΩ（步进 0.01Ω）
- 高精度（@ $T_{cal}\pm 1^{\circ}C$ ）：
1Ω-111.111kΩ： $\pm(0.015\%R.D+0.02\Omega)$
- 低温漂：
全量程优于 $\pm(10ppm+2m\Omega)/K$
- 输出电阻可设置为开路
- 输出阈值安全限制（用户可自定义）
- 可选丰富的通讯接口，支持用户自定义波特率：
隔离型 RS-232
隔离型 RS-485（适合远程模块组网）
隔离型 CAN（适合汽车工业组网）
- 35mm DIN 导轨安装
- 小体积：
12.2（长）× 7.2（宽）× 3.5（厚）cm

适用于

- 工业自动化测试
- 传感器模拟
- 传感器校准
- 精密电桥
- 其他代替传统电阻箱的应用
-



*图中误差曲线需另外增加 $\pm 0.01\%R.D$ 由参考表本身引入的不确定度。

订货码 (持续更新中)

订货码	规格指标 ^{1,2}
BMR-L12600-M1-A0	(标注版, A 级) 单通道, 1 Ω -111.111k Ω 量程, 优于 10m Ω 步进, 初始精度 $\pm(0.015\%+0.02\ \Omega)@T_{cal}\pm 1^{\circ}\text{C}$, RS-232 接口
BMR-L12600-M1-A1	(标注版, A 级) 单通道, 1 Ω -111.111k Ω 量程, 优于 10m Ω 步进, 初始精度 $\pm(0.015\%+0.02\ \Omega)@T_{cal}\pm 1^{\circ}\text{C}$, RS-485 接口
BMR-L11020-3K-A0	(超高分辨率版, A 级) 单通道, 10 Ω -3.333k Ω 量程, 优于 1m Ω 步进, 初始精度 $\pm(0.015\%+0.002\ \Omega)@T_{cal}\pm 1^{\circ}\text{C}$, RS-232 接口
BMR-L11020-3K-A1	(超高分辨率版, A 级) 单通道, 10 Ω -3.333k Ω 量程, 优于 1m Ω 步进, 初始精度 $\pm(0.015\%+0.002\ \Omega)@T_{cal}\pm 1^{\circ}\text{C}$, RS-485 接口

- 1 具体精度、温漂等定义参见后文详细参数。
- 2 精确的输出范围因机而异、因批次而异。一般来说, 最大输出的差异在上述表格给定值的 1% 以内, 最小输出值大约在 1.0 Ω 左右。

术语及定义

T_{cal}	模块校准时模块内部温度, 以内置温度传感器读数为准, 一般在 22~24 $^{\circ}\text{C}$ 之间
校准环境	环境温度波动范围 $T_{cal}\pm 1^{\circ}\text{C}$, 环境相对湿度 75%R.H, 供电电压 12VDC, 电源纹波 V_{pp} 约 15mV, 输出电阻以四线法测量 (接在原装接线端子的四个孔位)
精度 (R.D)	示值精度, 为返回值 (示值) 与实测值对比的误差+参考表的精度 (不确定度)。每一点采样 10s 取平均值并去除继电器热电势因素的影响。
初始精度	指不考虑继电器和基电阻的长期老化因素、输出电阻低负载功率 (<0.05 W) 条件下测得、出厂时的示值精度
SP	SetPoint, 用户设定值
PV	Process Value, 模块输出过程值, 通讯返回值或示值。通常与对应 SP 有 1 个步进内的误差
ΔT	模块内部温度- T_{cal} , 由模块内置温度传感器读取
R.H	相对湿度
Ri	RO 代表通道 0 的输出电阻, R1 代表通道 1 的输出电阻... 依次类推
NPLC	工频周期数

规格书

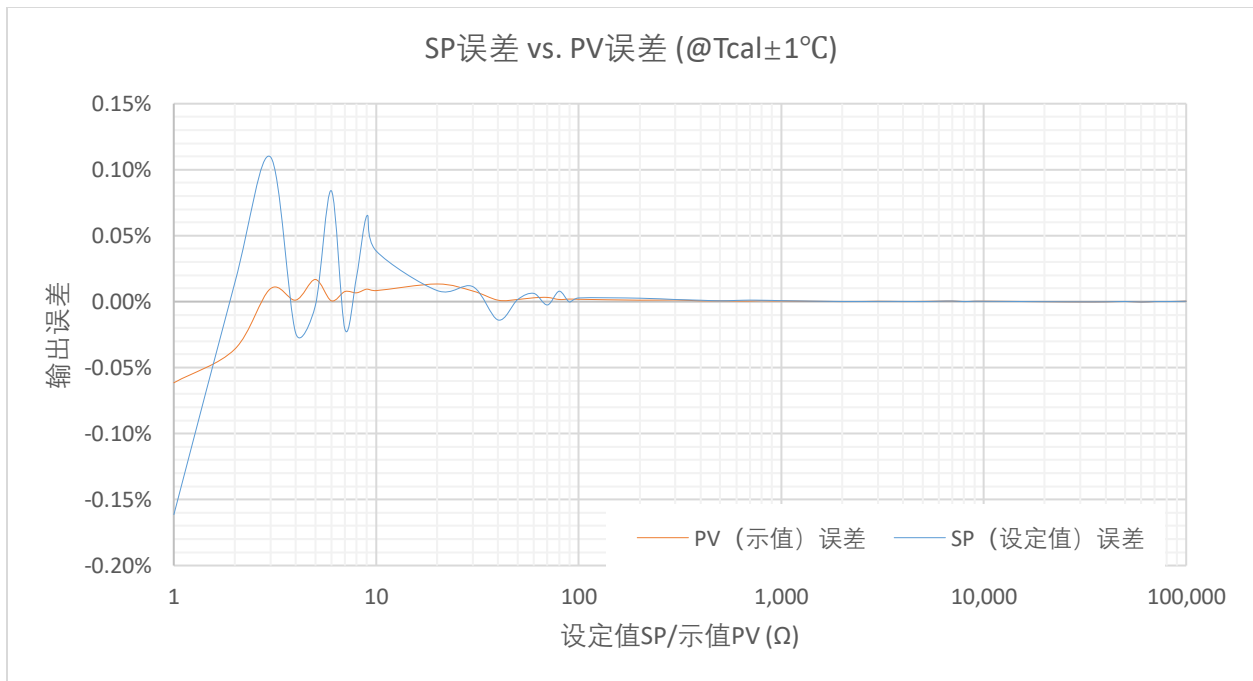
主要参数	BMR-L 系列		备注
输出电阻			
等级	超高分辨率版 A 级 @T _{cal} ±1 °C	标准版 A 级 @T _{cal} ±1 °C	*@校准环境 **微功率使用，不考虑 基电阻老化等因素
初始精度*	±(0.015% R.D +2mΩ)	±(0.015% R.D +0.02Ω)	
温漂	±(10ppm+1.5mΩ)/K	±(10ppm+0.002Ω)/K	
全寿命精度**	±(0.015% R.D +0.2Ω)	±(0.015% R.D +0.4Ω)	
BMR-L 系列 最大量程	1Ω-111.111kΩ (标准版)		
步进 (分辨率)	约 0.01Ω (标准版) , 0.001Ω (超高分辨率版)		详见订货码
SP 和 PV 差值	典型值<0.5 个步进		
最大电压	100V		
最大电流	1A		
额定功率	0.5~1 W (因输出阻值而异, 最高 100 V)		详见通讯端口返回数据
短路/断路输出	支持断路输出, 支持伪短路输出 (短路电阻约 0.7Ω)		
开关类型	RF 电磁继电器		
最小触点额定参考值	10m VDC, 10μA		
开关组切换时间	<3 ms (典型值)		
推荐最大操作频率	1Hz (间隔 1s 设置新值)		
单继电器寿命	5x10 ⁶ 次 (微负载)		预估操作次数×10~20 倍
输出端子	螺丝拧紧式接线端子, 电阻以四线形式输出		
通讯接口			
供电	6V~24VDC, 峰值 4W 以上		
供电端口	5.08mm 间距螺丝拧紧式接线端子		
通讯接口类型	隔离型 RS-485、RS-232 或 CAN (三选一)		
RS-485/RS-232 默认波特率及配置	115200 bps, 数据位 8, 校验位 None, 停止位 1		
RS-485/RS-232 用户自定义波特率范围	9600-115200 bps		
RS-485 最大节点数	256 节点		
CAN 总线波特率	3k-1M bps (默认 1M)		
CAN 总线格式	标准帧格式		
通讯协议	私有 AT 指令集 (详见下文)		

规格书 (续)

附加功能		
内置温度传感器	支持, 典型准确度 $\pm 2^{\circ}\text{C}$	
一般规格		
使用环境温度	-10°C to 70°C	
工作相对湿度	至 80 % R.H 非凝露	高湿度可能影响 10k 以上输出的精度
存储温度	-20°C 至 75°C	
尺寸	12.2 (长) \times 7.2 (宽) \times 3.5 (厚) cm	
安装导轨宽度	标准 DIN 35mm	
重量 (含外部接线端子)	167g (标准版)	
质保	2 年	

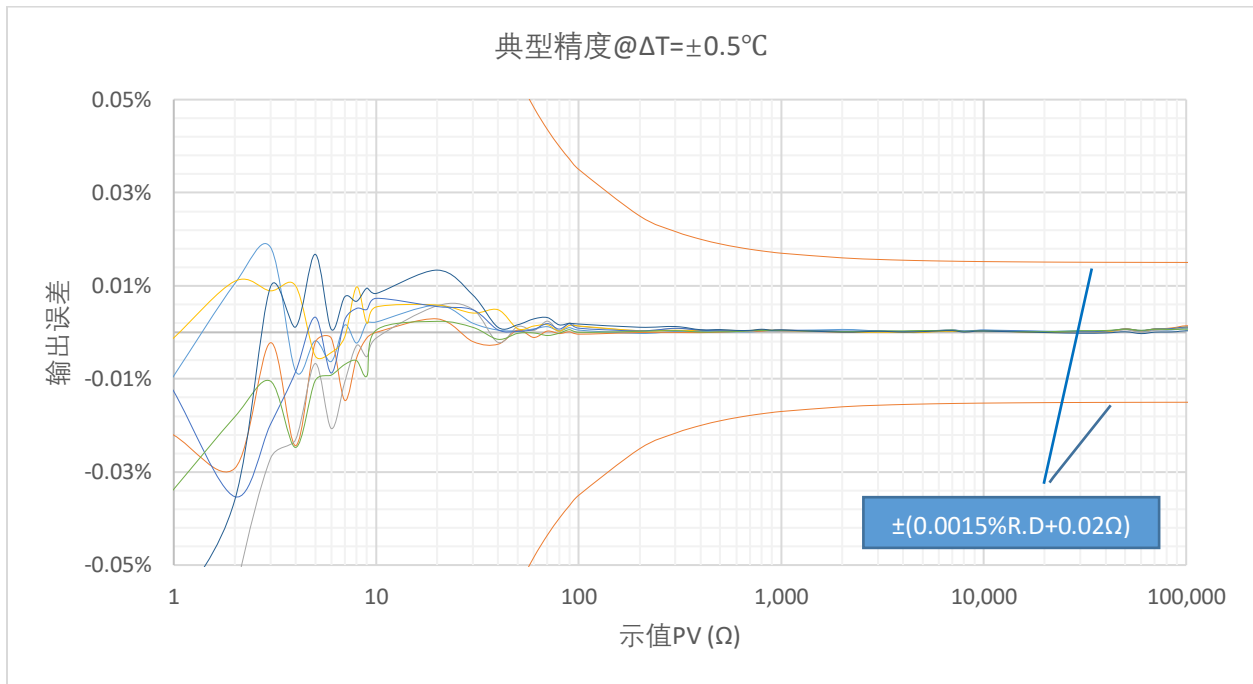
典型特性 (标准版 A 级) *

*除非另有说明, 所有测试基于样品在室温、75%RH 下测试数据, 表中精度是指以参考表读数为准的相对精度。所用参考表的精度在 1M Ω 量程内优于 $\pm 0.01\%$, 推算绝对精度时应考虑该参考表的不确定度。

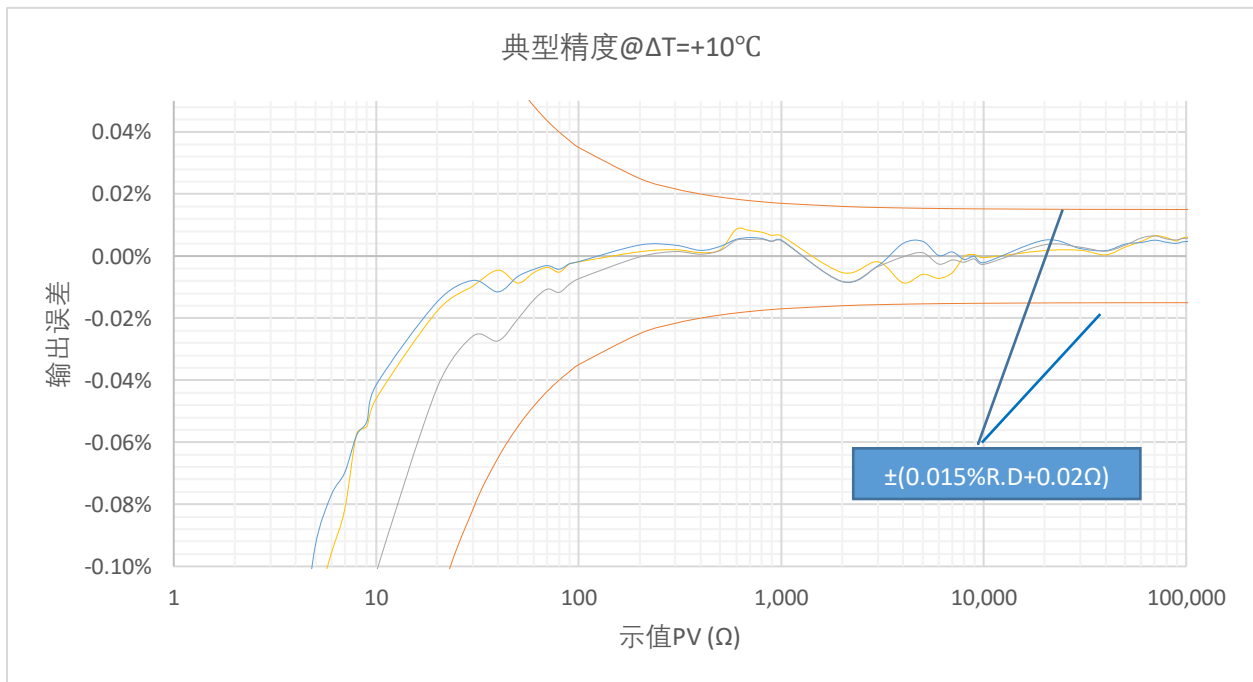


上图: 基于 SP (Setpoint, 设定值) 和基于 PV (Process Value, 返回值/示值) 与参考表测量值分别计算输出误差。输出低于 100 Ω , 整体而言 PV 更客观描述实际输出阻值; 100 Ω 以上可忽略二者差异。

典型特性 (标准版 A 级) (续)

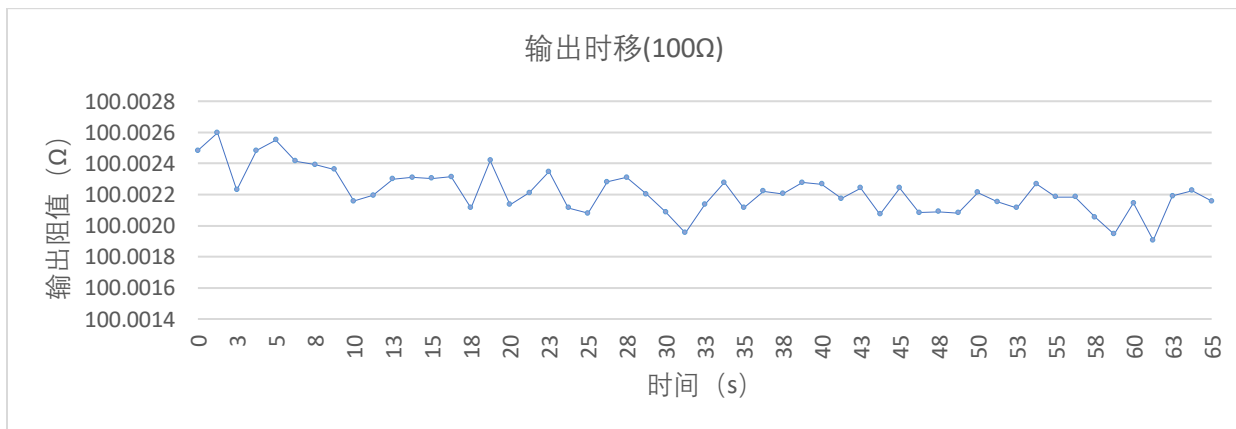
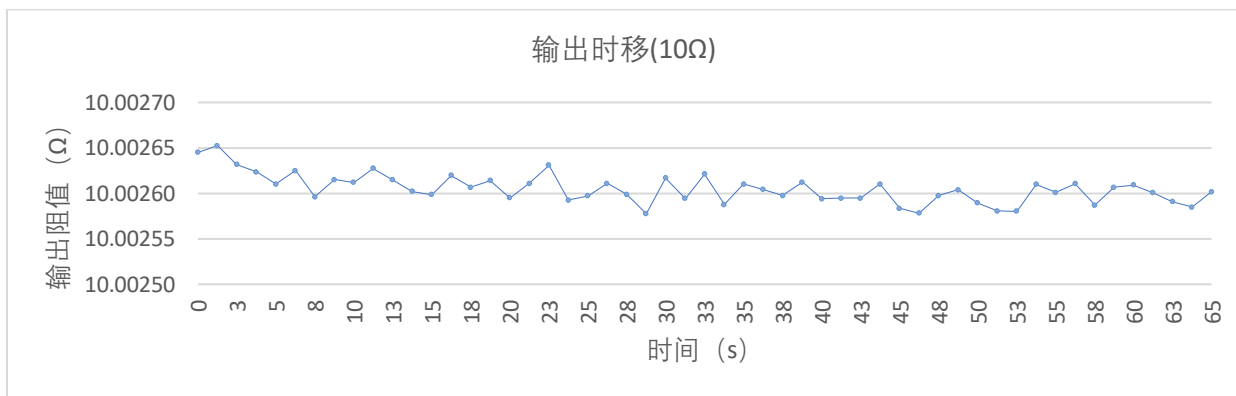
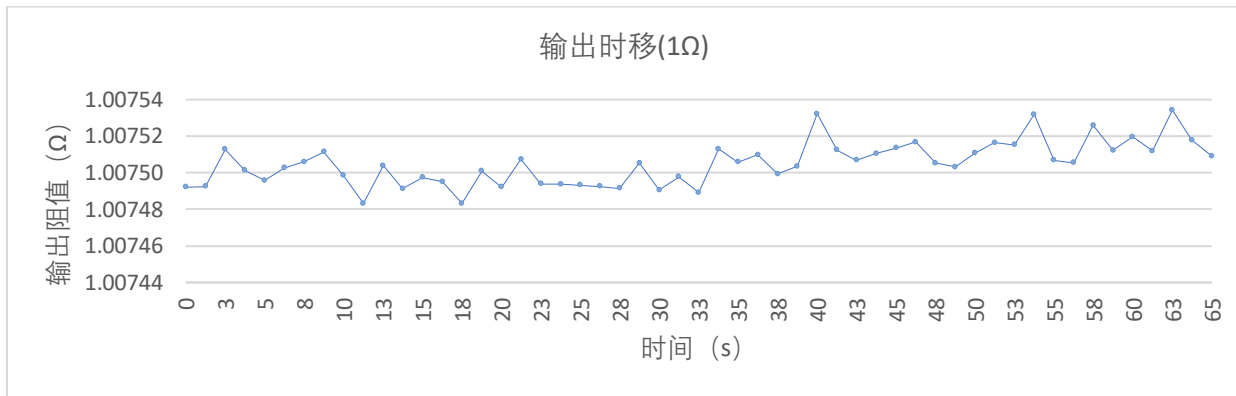


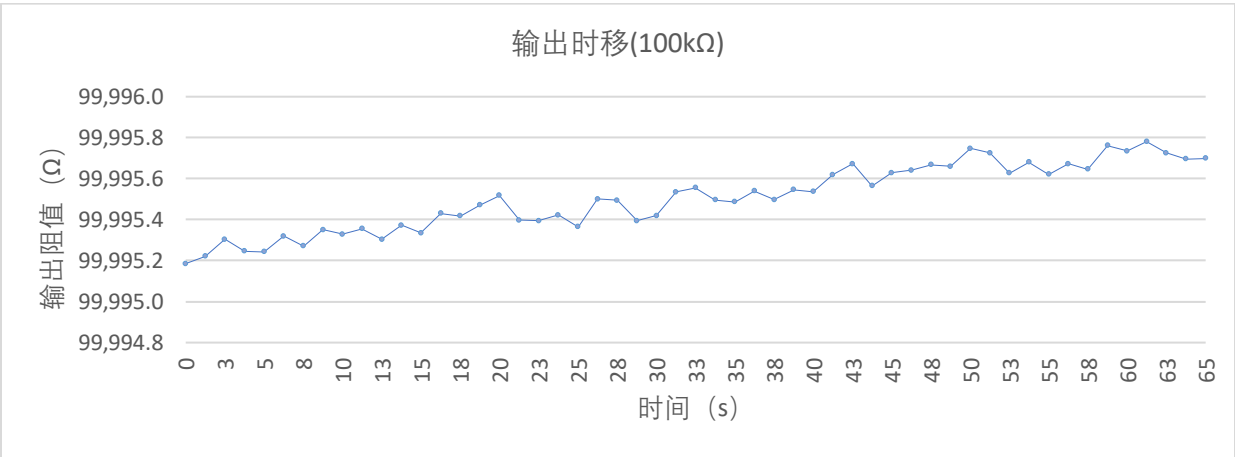
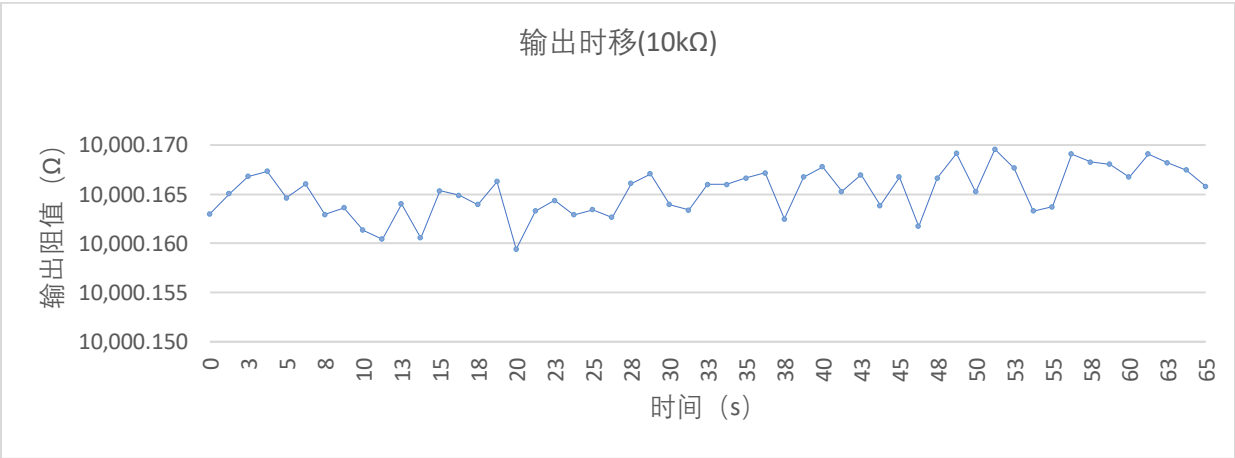
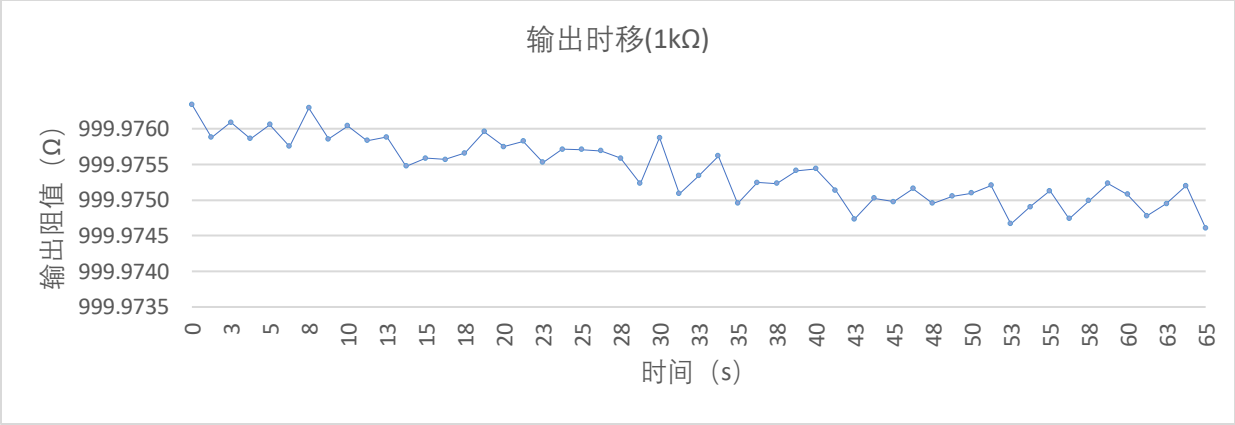
上图：精度是基于数个样品在恒温箱内（温度变化区间： $T_{\text{cal}}-0.5^\circ\text{C} \sim T_{\text{cal}}+0.5^\circ\text{C}$ ）测试的结果汇总



上图：精度是基于数个样品在 $T_{\text{cal}}+10^\circ\text{C}$ (34°C) 条件下测试的结果汇总

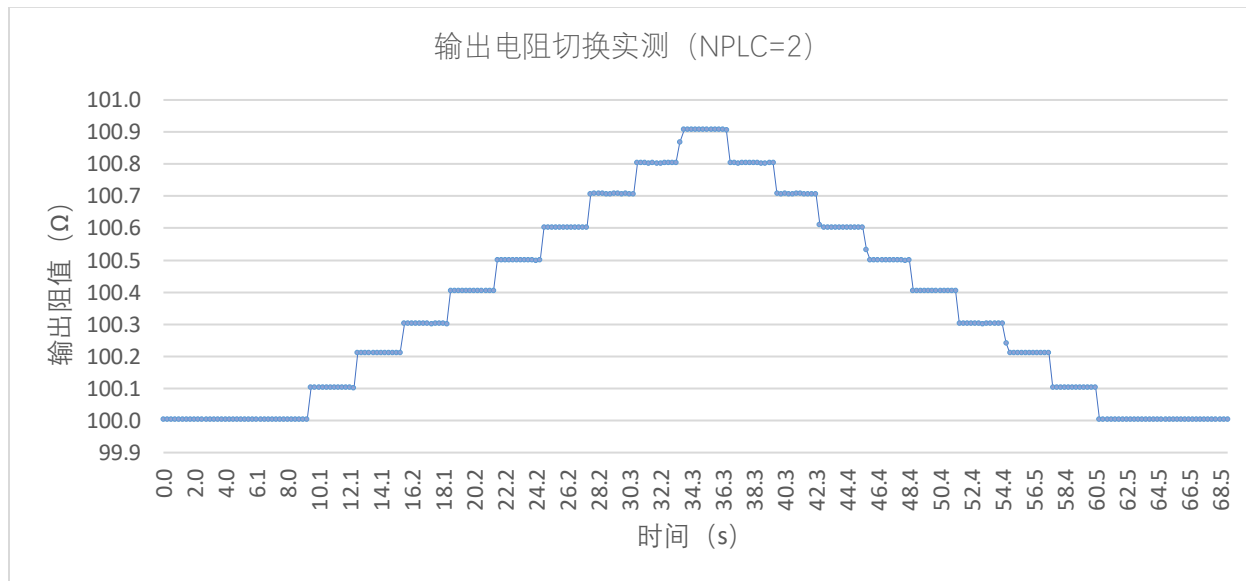
典型特性 (标准版 A 级) (续)





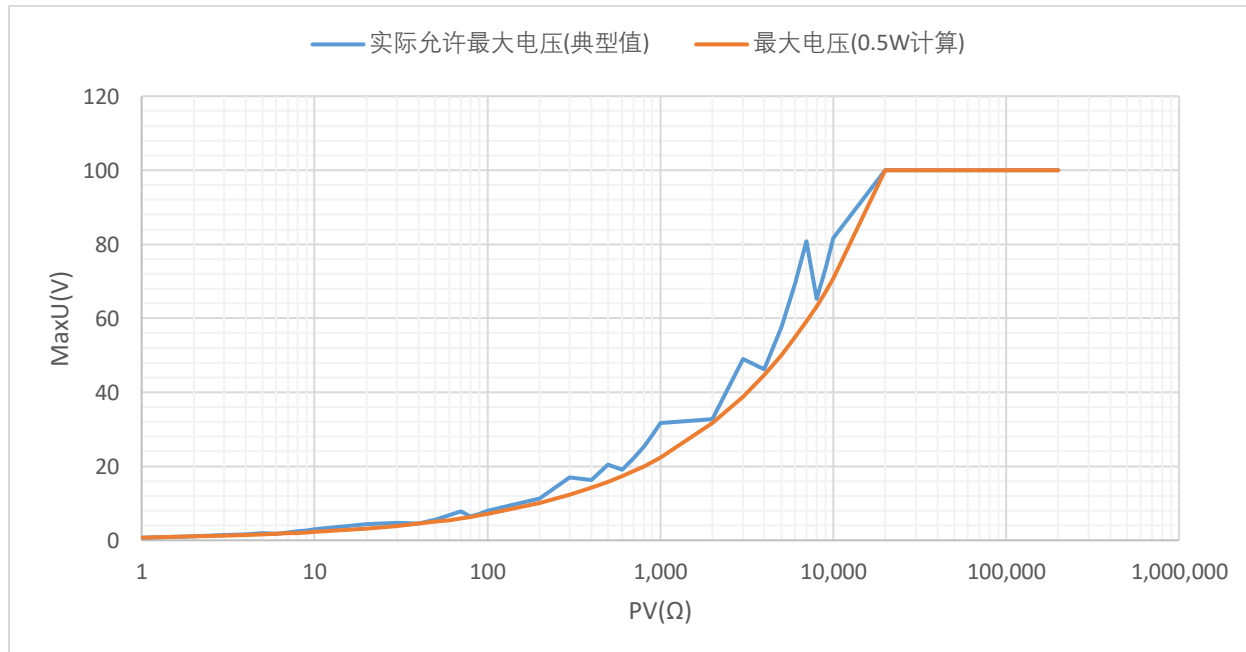
以上输出时移：由于受继电器热电势、寄生电容/电感、测量仪器或测量方法等因素的影响，通常输出电阻测量值需要经过一段时间才能稳定下来，这个过程可能持续数秒乃至数分钟。在高精度或长时间保持固定值应用中或许应该考虑到这一点。测试方法是在输出新值的第一瞬间 (t=0) 开始测量，并记录约 1min 左右的测量数据。

典型特性（标准版 A 级）（续）



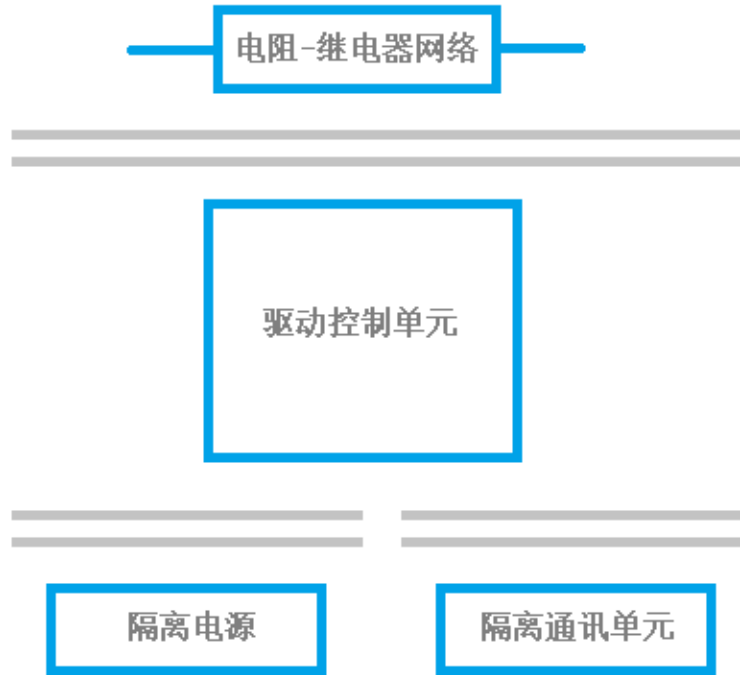
上图：输出由 100Ω 以步进 0.1Ω 递增至 100.9Ω，再递减至 100Ω，每一测点停留 3s，万用表设置 NPLC=2

注意：尽管 BMR-L 具备典型 0.01Ω 的步进分辨率，经验上，以 10 倍最高步进分辨率（即 0.1Ω）作为步进效果较理想。此外在应用时，在算法上可能需要加深滤波以获得低噪音的测试结果。



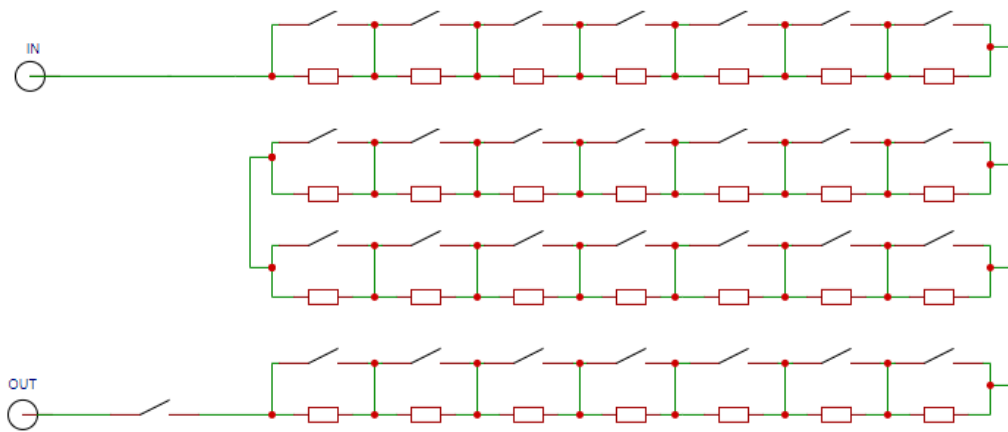
上图：BMR-L 基础电阻的额定功率是 0.5W，而实际上对于绝大多数的输出值 (PV)，其额定功率通常在 0.5W 至 1W 之间。用户可根据串口实际返回的 MaxU 来使用；简化起见，也可一律按照 0.5W 根据公式 $\text{MaxU} = \sqrt{(\text{PV} * 1)}$ 计算出的额定电压来处理。需要注意的是，输出电阻两端最大施加电压不能超过 100V。

模块系统框图



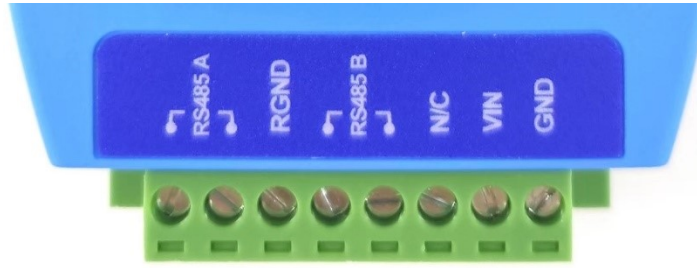
上图：BMR-L 模块系统框图

工作原理（标准版 A 级）



上图：继电器-基础电阻阵列（每个型号基电阻-继电器数目或有差异）。开启或闭合特定开关组合可输出与设定值接近的电阻值

端口信号分配



上图：RS-485 接口

RS-485 型号：

序号	信号定义	功能
1	RS485 A*	RS-485 差分信号 A
2	RGND	RS-485 保留地（可选接）
3	RS485 B*	RS-485 差分信号 B
4	N/C	悬空不接线
5	VIN	模块供电（正），6~24VDC
6	GND	模块供电（负）

*多余的一对 RS485 A 和 RS485 B 可以选择 120Ω电阻，或者连接下一路模块以组网。

RS-232 型号：

序号	信号定义	功能
1	RS232 TXD	RS-232 TXD
2	RGND	RS-232 地
3	RS232 RXD	RS-232 RXD
4	N/C	悬空不接线
5	VIN	模块供电（正），6~24VDC
6	GND	模块供电（负）

CAN 总线型号：

序号	信号定义	功能
1	CAN_H*	CAN H
2	RGND	CAN 地（选接）
3	CAN_L*	CAN L
4	N/C	悬空不接线
5	VIN	模块供电（正），6~24VDC
6	GND	模块供电（负）

*多余的一对 CAN_H 和 CAN_L 可以连接下一路模块以组网。

使用须知



防触电！

由于本产品电阻输出端支持最高 100V DC/AC 的电压，大于 36V 安全电压使用时务必做好防护，禁止触碰输出端子避免人员或设备受损。**推荐使用隔离信号源施加于输出电阻端。**

使用环境温度和湿度

请在推荐使用温度和湿度范围内使用。过高温度可能导致本模块工作异常或损坏，以及导致输出电阻额定功率的下降；高湿度或凝露可能影响输出电阻的准确度以及缩减模块的使用寿命。

接线

请正确区分输入端和输出端，根据标签上的管脚信息正确接线。两线使用时，为避免频繁插拔导致输出电阻漂移，请拧紧固定螺丝（出厂前已经拧紧），电阻输出端接线端子不建议频繁拆卸。

安装

本系列模块支持 DIN 35mm 导轨。

供电

使用 6-24VDC/峰值支持 4W 以上的电源为本模块供电，模块内部具备电源防反接功能。尽管磁保持继电器对电源噪音相对不敏感，仍建议使用低纹波电源为本产品供电以避免 EMC 对应用电路的影响。

测试

断电情况下或刚上电后，模块默认保持断电前的输出。

用四线（开尔文）接法是验证模块输出精度的推荐方法；两线接法通常会引入一个偏移值，**用户需在应用中自行补偿外接导线的电阻（用户需自行测量）和接线端子的接触电阻（约 7mΩ）**。规格书中的电阻输出精度计算**不包含**接线端子的接触电阻。

模块在使用过程中隔离电源和控制驱动电路中某些元件会轻微发热，大概引起约 1°C 的温升，因此引起的精度误差已包含在规格书的初始精度中，可忽略。

上文规格书中的全寿命使用精度是基于所用继电器接触电阻的老化测试数据，使用环境不同对继电器的损耗也不同，日常维护可以定时送检和校准以维持高精度输出。

组网

通讯接口选择 RS-485 或 CAN 均支持组网。最大支持 256 个节点挂在同一条 RS-485 总线上。

本模块的 AT 指令集，允许主机与总线上的任一模块单独通讯。

如主机不需要模块的返回信息，对于 RS-232 接口，所有模块的 RXD 也可以与主机的 TXD 连接在一起组网。

特色功能

用户可自定义“最小输出限制值”（例如使用 AT+RES.RLIMIT=100，将 R0 最小输出值钳位在 100Ω），以避免在应用时误设低于该阈值的值从而导致输出电阻过载。将该阈值设置为 0 即解除输出限制。

允许断路输出和伪短路输出（短路电阻约 0.7Ω，通过将指令 AT+RES.SP=0 输出伪短路电阻）。这在一些模拟传感器故障的应用中非常有用。

AT 指令集

通讯环境配置		
默认波特率及配置	115,200 bps, 数据位 8, 校验位 None, 停止位 1	
指令结束符	\r 或 \n 或字符 '/' 或字符 '\\'	注意：每条指令末尾需加入指令结束符。

AT 指令集介绍

按功能划分，本模块的 AT 指令集分为“RO 通道基础指令”、“多通道扩展指令”、“用户自定义配置指令”、“模块信息查询指令”和“组网扩展指令”几种类型。

- **RO 通道基础指令**：针对 RO（通道 0）输出电阻的设置
- **用户自定义配置指令**：这些指令作用于整个模块，修改通讯波特率、用户自定义 US/N 等
- **模块信息查询指令**：相当于模块的电子标签
- **组网扩展指令**：在组网应用中，利用模块本身的 S/N 作为模块 ID 与主机通讯。主机在上述所有指令末尾增加“@<S/N>”即可实现单独控制某一个模块。机制是：如果<S/N>与模块本身的序列号相符，则执行指令并应答；否则忽略该指令。对于不含“@<S/N>”的指令，模块对这些指令“总是执行并应答”，因此可以借用这种方式来广播。此外，允许用户自定义 S/N (User S/N, 即 US/N)来取代默认的 S/N 作为模块 ID。

AT 指令集列表

序号	功能描述	指令 (每条指令末尾需加入指令结束符)	缺省单位	示例/备注
① RO 通道基础指令				
1	设置 SP	AT+RES.SP=<float string>	Ω	TX: AT+RES.SP=100/ RX: +OK. +R0 .SP(Ohm)=100.000 .PV(Ohm)=99.999 .UMax(V)=8.0 .RLimit(Ohm)=0.000 +Temp(C)=32.3
2	设置 SP (递增)	AT+RES.SP+=<float string>	Ω	TX: AT+RES.SP+=100/ RX: +OK. +R0 .SP(Ohm)=200.000 .PV(Ohm)=199.999 ...
3	设置 SP (递减)	AT+RES.SP-=<float string>	Ω	TX: AT+RES.SP-=100/ RX: +OK. +R0 .SP(Ohm)=100.000 .PV(Ohm)=99.999 ...

AT 指令集列表 (续)

4	设置输出开路	AT+RES.SP=OPEN		TX: AT+RES.RLIMIT?/ RX: +R0 .PV(Ohm)=OPEN .UMax(V)=100.0
5	查询最小输出限制值	AT+RES.RLIMIT?	Ω	TX: AT+RES.RLIMIT?/ RX: +RES.RLIMIT=0.000
6	设置最小输出限制值	AT+RES.RLIMIT= <i><float string></i>	Ω	TX: AT+RES.RLIMIT=500/ RX: +OK. +R0 .SP(Ohm)=100.000 .PV(Ohm)=500.003 .UMax(V)=20.4 .RLimit(Ohm)=500.000 +Temp(C)=32.4 注: 上述指令将最小输出 RLIMIT 设置为 500。此时尽管 SP=100, 但是 PV 此时跟随 RLIMIT。
7	获取模块内部温度	AT+RES.TEMP?	°C	TX: AT+ RES.TEMP?/ RX: + RES.TEMP(C)=32.3
8	获取输出电阻详细信息	AT+RES.INFO?		TX: AT+RES.INFO?/ RX: +R0.INFO: .SP(Ohm)=100.000 .PV(Ohm)=500.003 .UMax(V)=20.4 .Temp(C)=32.5 .TCal(C)=24.0
②用户自定义配置指令				
9	自定义通讯波特率	AT+DEV.BAUDRATE= <i><baud></i> <i><baud></i> 取值范围: 9600~115200 之间 (9600, 14400, 19200, 38400, 43000, 57600, 76800 和 115200 其中 的一种)	bps	TX: AT+DEV.BAUDRATE=9600/ RX: +OK 设置后立即生效。
10	设置用户自定义 S/N (US/N)	AT+DEV.USN= <i><string></i> <i><string></i> 为 8 位字符串		TX: AT+DEV.USN=00000001/ RX: +OK
11	查询 USN.EN 状态	AT+DEV.USN.EN?		TX: AT+DEV.USN.EN?/ RX: +DEV.USN.EN=0
12	允许使用 US/N 组网通讯	AT+DEV.USN.EN=1		该指令使 US/N 取代 S/N 作为组网通讯的 ID
13	恢复使用默认 S/N 组网通讯	AT+DEV.USN.EN=0		该指令使 S/N 恢复作为组网通讯的 ID
14	CAN 总线配置指令	(TBD)		

AT 指令集列表 (续)

③模块信息查询指令				
15	查询模块综合信息	AT+DEV.INFO?		TX: AT+DEV.INFO?/ RX: +DEV.INFO: .SN=00000000 .USN(EN=0)=00000001 .TYPE= BMR-L12600-M1-A1 ...
④组网扩展指令				
16	组网应用主机单独控制某个从机模块, 以 S/N 为 ID	当 USN.EN=0, 上述指令末尾增加"@<S/N>"		TX: AT+DEV.USN.EN?/ RX: +DEV.USN.EN=0 TX: AT+DEV.SN?/ RX: +DEV.SN=00000000 TX: AT+RES.SP=789@00000000/ RX: +OK.@00000000 +R0 .SP(Ohm)=789.000 .PV(Ohm)=788.998 ...
17	组网应用主机单独控制某个从机模块, 以 US/N 为 ID	当 USN.EN=1, 上述指令末尾增加"@<US/N>"		TX: AT+DEV.USN=12345678/ RX: +OK. TX: AT+DEV.USN.EN=1/ RX: +OK. TX: AT+RES.SP=123@12345678/ RX: +OK.@ 12345678 +R0 .SP(Ohm)=123.000 .PV(Ohm)=123.004 ...

使用示例

示例 1（单机设置输出）

- 主机与单个模块（从机）连接好
- 发送 **AT+RES.SP=123.4**/将 RO（通道 0）输出设置为 123.4Ω
- 发送 **AT+RES.SP=OPEN**/将 RO0 输出设置为开路
- 发送 **AT+RES.SP=0**/将 RO 输出设置为（伪）短路，短路电阻约 0.7Ω

示例 2（使用 S/N 作为 ID 进行 RS-485 组网）

- 主机与各模块（从机）连接好，对于 RS-485 总线，所有差分线 A 互联，所有差分线 B 互联
- 发送 **AT+DEV.USN.EN=0**/使全部从机使用默认 S/N 组网通讯
- 发送 **AT+RES.SP=123.4@00000001**/将#00000001 的 RO 输出设置为 123.4Ω 并应答
- 发送 **AT+RES.SP=432.1@00000002**/将#00000002 的 RO 输出设置为 432.1Ω 并应答
- 发送 **AT+RES.SP=100@002**/因序列号错误（不可缺省“0”），无从机应答
- 发送 **AT+RES.SP=200**/将所有从机的 RO 设置为 200Ω，全部从机应答（不过此时造成应答数据乱码）

示例 3（使用 US/N 作为 ID 进行 RS-485 组网）

- 单独连接从机 1，发送 **AT+DEV.USN=12345678**/将其 US/N 设置为 12345678；发送 **AT+DEV.USN.EN=1** /使 US/N 取代该从机出厂时默认的 S/N
- 单独连接从机 2，发送 **AT+DEV.USN=87654321** 将其 US/N 设置为 87654321；发送 **AT+DEV.USN.EN=1** /使 US/N 取代该从机出厂时默认的 S/N
- 参考示例 2@S/N 指令格式，使用新的@US/N（12345678 和 87654321）进行组网通讯单独控制

示例 4（Python 控制示例）

```
import serial

#通常使用 USB 转 RS-232/485 模块与模块进行调试。USB 转接模块映射在电脑上 COM 口

ser = serial.Serial('COM6',115200,timeout=1,parity=serial.PARITY_NONE)

#定义要打开的串口号、波特率、停止位、校验位，需要在设备管理器中查看弹出的串口号，必须保持一致

ser.write(b'AT+USER.SP=10\r\n')

#写入 AT 指令（说明书里有规范的格式），这里是将电阻值设为 10

response=ser.readall().decode()

print(response)

ser.close()

#关闭串口
```


示例 5 (CAN 总线使用说明)

- (TBD)



Eastwood Instruments

- 略胜一筹 -

更多信息:

www.eastwood.tech

©2024 Eastwood Instruments.

文档如有变更，恕不另行通知。

本文档由 Channing Chang 编写和发布
未经书面许可，禁止修改本文档。