



CircuitPal V2 (CPAL): Ürün Datasheet'i

Axion Robot *CircuitPal V2*

Rev 2.0-MFG · 5 Ağustos 2026 · Axion Robot™ Tasarım: Hüseyin Efe Karatekin · Doğrulama: çok-turlu datasheet-kanıtlı denetim zinciri
Durum: Üretimde (JLCPCB, her iki kart 5 Ağu 2026'da gönderildi)

Özet—Bu belge CircuitPal V2 eğitim robotunun teknik sözleşmelerinden birini IEEE dergi biçiminde sunar. İçerik depodaki Markdown kaynağından üretilmiştir; kaynak ile bu çıktı arasında bir fark görülürse depo kazanır.

Index Terms—CircuitPal, ESP32-S3, eğitim robotu, gömülü yazılım, Axion Robot

III. MUTLAK MAKSİMUM DEĞERLER

I. GENEL TANIM

CircuitPal V2, **çocuklara yönelik eğitici bir robotik platformun** iki kartlı kontrol elektroniğidir. Öncelik sırası: **güvenlik** → **arıza toleransı** → **kurtarılabirliklik**. ESP32-S3 tabanlı üst kart (güç, haberleşme, kullanıcı arayüzü) ile motor/sensör alt kartı, 5.5cm kablo köprüleriyle bağlanır ve mühürlü (sealed) bir gövdede çalışır.

Özellikler:

- ESP32-S3-WROOM-1-N16R8 (16MB flash, 8MB oktal PSRAM, WiFi/BLE, native USB)
- 2S Li-ion güç (Aspilsan INR18650A28 ×2), S-8252AAK BMS + çift FDS6690A
- QC hızlı şarj (IP2326, 15W; pil >7.8V'ta 7V giriş talebi) + çift USB-C (USB1 şarj / USB2 veri), LM393 tabanlı VBUS OR-ing
- Donanımsal soft-latch güç anahtarı + firmware'den bağımsız zorla-kapatma
- TB6612FNG çift motor sürücü (V-M = pil doğrudan), 20kHz PWM
- 5× TCRT5000 çizgi sensörü, VL53L1X ToF, LSM6DSL IMU, LDR, NTC
- I2S ses: MAX98357A amfi (mono-mix) + INMP441 MEMS mikrofon (donanım kapılı)
- 8× WS2812 RGB, 1.3" SH1106 OLED, 5-buton ladder, PWM fan
- Çift 4 katman PCB, kırmızı maske + ENIG, JLC04161H-7628 stackup

II. SİSTEM BLOK ŞEMASI

```

USB1 (QC şarj)  PTC 3A          USB2 (veri)  PTC 1.1A
                [LM393 VBUS OR-ing, 2×AO3401A]
                USBLC6 ESD   ESP32 USB
                IP2326 ŞARJ (QC: pil>7.8V>7V talebi)

2S Li-ion  S-8252AAK BMS (2×FDS6690A, eksi hat)  BAT

                SOFT-LATCH Q5 (AO3401A)          (doğrudan)

                BUCK_IN  TPS54332  +5V  AMS1117  +3.3V

ÜST KART: ESP32-S3 · OLED · IMU · TOF · mikrofon · amfi · butonlar
Köprü-1 (9 tel) + Köprü-2 (9 tel) + BAT×2/GND/MGND padleri
ALT KART: TB6612 (VM=BAT) · CD74HC4051 mux · 5×TCRT · WS2812 3-8 · fan
  
```

TABLO 1

Parametre	Min	Max	Birim	Not
Pil gerilimi (BAT)	0	8.7	V	BMS aşırı şarj kesimi 4.35V/hücre
USB1 VBUS (şarj)	-0.3	12	V	PTC -12RY + SMAJ8.0A TVS
USB2 VBUS (veri)	-0.3	6	V	5V-only mimari, USBLC6
V-M (motor rayı)	-	8.7	V	SMAJ8.5A kenetleme; regen pil emer
GPIO gerilimi	-0.3	3.6	V	5V toleranslı DEĞİL
Çalışma sıcaklığı (kavite)	0	60	°C	ESP32 modül ortam sınırı 65°C
Lehim (hotplate)	-	235	°C	ENIG, kurşunsuz profil

IV. ÖNERİLEN ÇALIŞMA KOŞULLARI

TABLO 2

Parametre	Min	Tip	Max	Birim
Pil gerilimi	6.0	7.4	8.4	V
Şarj girişi (USB1)	4.75	5.0 / 7.0 (QC)	9.5	V
+5V rayı yükü	-	0.6	1.36 (1.6 tepe)	A
+3.3V rayı yükü	-	0.20	0.31	A
Ortam (gövde içi)	5	25	50	°C

V. ELEKTRİKSEL KARAKTERİSTİKLER

A. Güç rayları

B. Koruma eşikleri ($S-8252AAK + 2 \times FDS6690A$)

C. Tüketim profilleri

TABLO 3

Ray	Kaynak	Gerilim	Sürekli akım	Not
BAT	2S pil	6.0–8.4V	5.5A tepe (çift stall)	Soft-latch ÖNCESİ; V-M ve VBAT_SENSE buradan
BUCK_IN	Q5 sonrası	BAT–(1×50mΩ)	~1.3A	2×22μF/25V X5R giriş
+5V	TPS54332 @1MHz	5.07V	1.5A tasarım noktası	WS2812, amfi, IR, fan, LDO girişi
+3.3V	AMS1117	3.3V	0.31A max	! kapalı-kutu Tj testi gating (LDO 0.53W)
MGND	motor toprağı	-	motor+fan dönüşü	GND ile TEK birleşim: P3↔P4 kablosu

TABLO 4

Koruma	Eşik	Gecikme
Aşırı şarj	4.35V/hücre	1.0s
Aşırı deşarj (donanım)	2.30V/hücre	128ms
Deşarj aşırı akım	4.3–10.2A (RDS bandı)	8ms
Kısa devre	~11–25A	280μs
Şarj aşırı akım	~9A	8ms
FW yumuşak kesim	3.0V/hücre (6.0V pack)	firmware

TABLO 5

Mod	Pil akımı (tip)
Kapalı (soft-latch off)	<50μA (BMS+sızıntılar; VBAT bölücü 26μA dahil)
Boşta, WiFi bağlı	~150–250mA
Sürüş + LED + ses	0.8–1.5A
En kötü (çift stall + tam yük)	~5.5A (BMS bandı içinde, TB6612 termal sınırlar)

VI. GÜÇ MİMARİSİ VE YÖNETİMİ

- **Açılış:** SW9 basılır → Q5 iletir → sistem boot. Firmware ~2s içinde GPIO15'i (GPIO_HOLD) HIGH yapmazsa kart kendini kapatır.
- **Kapanış:** GPIO15 LOW. **Zorla kapatma:** SW9'a 2–8s basılı tutma, Q6/Rt/Ct devresi MCU'dan tamamen bağımsız keser (donmuş MCU dahil).
- **Şarj (IP2326, otonom):** pil <6.2V → 5V girişle; pil >7.8V → adaptörden **7V QC talebi** (başarısızsa 5V'ta kalır, akımı 2.4–3A'ya çıkarır, 15W). Şarj sırasında robot çalışabilir. 0V pil kurtarma etkin.
- **Motor rayı pil doğrudan:** regen (tekerlek elle çevrilir) pile emilir; BMS kesmişse SMAJ8.5A kenetler. Kapalıyken motor güvenliği: TB6612 STBY 100K pull-down + BMS.

VII. GPIO HARİTASI (ESP32-S3)

* Modül pad numarası; şematik net adları esastır.

TABLO 6

GPIO	Net	Yön	Açıklama / kısıt
0	BOOT	IN	Strap; SW1 + 10K PU + 100nF (EN'den hızlı τ , değiştirme!)
1	ESP_MUX_ADC_READ	ADC1_CH0	100 Ω +1nF pin dibinde; kanal sonrası $\geq 20\mu s$ bekle, medyan-3
2	BTN_LADDER_ADC	ADC1_CH1	5-buton ladder (bkz. §11.3)
3	SL_BTN_READ	ADC1_CH2	Güç butonu algısı; strap, boot'ta sürme
4 / 5	I2S_BCLK / WS	OUT	Mikrofon + amfi ORTAK saatler
6	MIC_EN	OUT	HIGH = mikrofon verisi geçer (LVC1G08 kapısı)
7	MIC_LED	OUT	Kayıt LED'i
8	I2S_MIC_SD	IN	AND kapısı üzerinden, 100K PD
9	I2S_SPK_DIN	OUT	Amfi verisi
10 / 11	I2C SDA / SCL	I/O	400kHz; pull-up'lar modüllerde (DNP1/2 yedek)
12	SPK_SD_MODE_CTRL	OUT	HIGH=amfi açık (mono-mix), LOW=shutdown
13	TOF_XSHUT	OD OUT	! YALNIZ open-drain, push-pull HIGH yasak
14 / 47 / 48	ESP_MUX_3/1/2	OUT	Mux S2/S0/S1
15	GPIO_HOLD	OUT	setup() İLK SATIR HIGH , güç kilidi
16	IR_CTRL	OUT	TCRT IR LED'leri (okuma-senkron)
17	TB6612_EN	OUT	Motor STBY; 100K PD; sıra: PWM→DIR→EN
18	IMU_INT1	IN	LSM6DSL kesmesi
19 / 20	USB D-/D+	I/O	Native USB (CDC/DFU)
21	GPIO_WS2812	OUT	RMT 800kHz; FW parlaklık tavanı $\leq 85\%$
31*	TOF_INT_GPIO	IN	JP1 lehim köprüsü kapalıysa (varsayılan açık)
32/33/34/35*	MOTOR	OUT	LEDC 20kHz; modül pin no
	PWM_A/DIR_A/PWM_B/DIR_B		
36/37*	UART0 RX/TX	I/O	Yalnız test padleri TP1/TP2
38	BTN_LADDER_ADC	-	(modül pin 38 = GPIO2 hattı)
45	-	,	Strap, boş bırakıldı
46	FAN_CONTROL	OUT	LEDC 25kHz; strap, boot bitmeden sürme
GPIO35-37	-		Oktal PSRAM, dokunulmaz

VIII. ÇEVREBİRİMLER

A. I2C bus (400kHz): zamanlama sözleşmeli

B. I2S (full-duplex, tek denetleyici)

Philips formatı, **BCLK = 64×fs** (INMP441 şartı), fs 16kHz varsayılan (48kHz'e kadar). Amfi (L+R)/2 mono-mix pence-resinde (SD_MODE 0.458V). **Kayıt ve çalma aynı anda etkinleştirilmez** (GPIO12 LOW ↔ MIC_EN HIGH).

C. Analog mux (CD74HC4051 → GPIO1)

ADC: 11dB atten + kalibrasyon API + medyan-3; VBAT'a ek 1s ortalama.

D. USB

Native USB (CDC konsol + DFU). Brick kurtarma: **BOOT basılı + Reset** → ROM download → USB2'den yükle. UART0 yalnız test padlerinde.

TABLO 7

Cihaz	Adres	Not
SH1106 OLED 1.3"	0x3C	Sayfa modlu (SSD1306 init KULLANMA); tam yenileme parçalanır
LSM6DSL IMU	0x6A	INT1→GPIO18
VL53L1X (TOF400C)	0x29	IMP=100ms otonom mod; XSHUT ile aç-kapa YAPILMAZ

TABLO 8

Kanal	Sinyal	Ölçek/Not
Y0-Y4	TCRT_OUT1..5	Çizgi sensörleri
Y5	LDR_OUT	47K bölücü, kaynakta 100nF
Y6	VBAT_SENSE	$V_{BAT} \times 0.3125$ (8.4V→2.625V)
Y7	NTC_OUT	100K/100K B4100, kavite sıcaklığı

IX. KARTLAR ARASI KÖPRÜ ARAYÜZÜ

Kablolar 5.5cm; **pinler AYNALI eşleşir (TOP n ↔ BOT 10-n), demet 180° çevrilerek bağlanır.** Tel: güç 22AWG silikon (MGND 16-18AWG), sinyal 26AWG.

Köprü-1 (üst kart pin sırası): GND · +5V · GND · IR_CTRL · TB6612_EN · +3.3V · LDR_OUT · GND · ESP_MUX_ADC_READ **Köprü-2:** MOTOR_PWM_B · DIR_B · PWM_A · DIR_A · MUX_1 · MUX_2 · MUX_3 · FAN_CONTROL · WS2812 (LED2→LED3 zincir ortası, 5V seviye) **Güç padleri:** P1+P2 = BAT (çift tel) · P3 = GND · P4 = MGND (GND↔MGND tek birleşim = bu kablo; kartlarda köprülenmez!) Montaj: gövde içi plastik kablo taşıyıcılarla gerginlik alma; MOTOR_GND teli Köprü-2 demetiyle birlikte yürütülür.

X. MEKANİK VE ÜRETİM

Dizgi: hotplate reflow (üst SMD) → alt yüz SMD sıcak hava → THT el lehim (kart ılık plakada; direct-connect padler için ≥80W havaya).

TABLO 9

Özellik	Üst kart	Alt kart
Boyut	100.0 × 100.0 mm	99.97 × 65.26 mm
Katman	4L (JLC04161H-7628)	4L
Kalınlık	1.6mm ±10%	1.6mm
Maske / yüzey	Kırmızı parlak / ENIG 1U"	Aynı
Bakır	Dış 1oz, iç 0.5oz	Aynı
Montaj delikleri	3.2mm PTH, topraklı, via halkalı	Aynı (6 adet)
USB diff çifti	0.254/0.152mm ≈ 91Ω (L1→L2)	-

XI. YAZILIM ARAYÜZÜ VE BOOT SÖZLEŞMELERİ

A. İki zorunlu firmware sözleşmesi

- 1) **setup() ilk satırı: GPIO15 = HIGH** (pencere ~2s; kaçırırsa güç düşer).
- 2) **Task + Interrupt watchdog AÇIK**, donmuş MCU'nun tek otomatik kurtarma zinciri (WDT → Hi-Z → ~2s → güç düşer).

B. Aktif seviyeler ve reset garantileri

GPIO_HOLD, TB6612_EN, SPK_SD, MIC_EN, IR_CTRL = **aktif-HIGH**; TOF_XSHUT, BOOT = **aktif-LOW**. Reset anında TÜM aktüatörler donanımsal kapalı (pull-down ağları), firmware çalışmadan hiçbir şey hareket edemez. Çevre-birim açılış sırası: I2C tara → I2S saatleri → GPIO12 → LEDC(duty0) → DIR → GPIO17 → mux/TOF.

C. Buton ladder pencereleri (GPIO2, 12-bit, 11dB)

OK <300 · UP 500-900 · DOWN 1100-1500 · LEFT 1750-2250 · RIGHT 3000-3600 · boş >3900 (5ms debounce + çift okuma).

D. Batarya yönetimi (FW görevi)

6.6V uyarı → kıs; **6.0V kaydet + kapan**; stall algıla (çift stall ~5.5A BMS bandına girebilir, duty düşür). Fan: kickstart 0.7s %100, min %35, NTC 45/40°C histerezis.

XII. KORUMA ÖZELLİKLERİ ÖZETİ

BMS (aşırı şarj/deşarj/akım/kısa) · donanımsal force-off (2-8s) · USB1: PTC 3A + SMAJ8.0A; USB2: PTC 1.1A + USBLC6; USB1 data: 2×SESD0201 · V-M: SMAJ8.5A · boot-safe strap ağları · mikrofon donanım kapısı (mahremiyet) · tüm aktüatörler reset'te kapalı · 0V pil şarj kurtarma · brick kurtarma.

XIII. TEST NOKTALARI

JLC flying-probe tam test + 3 adet fabrika test padi (+3.3V/+5V/GND).

TABLO 10

TP	Net	TP	Net
BAT / BATM / BAT-	pil uçları	TP1/TP2	UART0 RX/TX
TPVBUS	VBUS ortak ray	TPS1/TPS2	Hoparlör N/P
TPINT	IMU INT2	JP1	TOF_INT → GPIO köprüsü

XIV. BİLİNER SINIRLAMALAR & ERRATA (Rev 2.0)

TABLO 11

#	Kayıt	Etki / çözüm
E-1	Şematik F2/F3 etiketi taban sürüm (KLM3S300RY/110RY)	Monte edilecek parça KLM3S300-12RY / KLM3S110-12RY (12V), taban sürüm Vmax 6V, QC 7V hattında yetersiz. Footprint aynı (1206)
E-2	AMS1117 kapalı-kutu termali	0.31A sürekli @50°C'de Tj~90°C, bring-up'ta kapalı-kutu testi GATING; üretimde LM1086/buck değerlendirilir
E-3	WS2812 zincir sırası kartı 2× kat eder	Fonksiyonel; rev-B'de sıralama düzeltililecek
E-4	Buck DB1/LB yerleşimi ideal değil (DB1 5.3mm)	EMI marjı yeter; rev-B iyileştirmesi
E-5	M1-/M2- faz boyunları 0.55-0.6mm	1oz'da ~2A sınıfı, stall kısa süreli; rev-B'de ≥0.8mm
E-6	Silkscreen'de refdes yok	Dizgi interaktif BOM/CPL ile yapılır
E-7	OLED/mikrofon modül pin sırası satıcıya göre değişebilir	Her partide modül silk'i doğrulanır (footprint: OLED VCC-önce)

XV. REFERANS DOKÜMANLAR VE REVİZYON

- CircuitPal_V2_Tasarim_Notlari.md, tüm kararların gerekçeli kaydı
- CPAL_PCB_Layout_Rehberi.md, layout kuralları + denetim kapanışları (§9)
- CPAL_yazilim_bringup_rehberi.md, bring-up prosedürü (bu datasheet'in yazılım eki)
- CPAL_v2_sematik_denetim_raporu.md, denetim tarihi (EK-2/EK-3)
- CPAL_dual_usb_test_protokolü.md, USB doğrulama protokolü

TABLO 12

Rev	Tarih	Not
2.0-MFG	5 Ağu 2026	İlk üretim gönderimi (bu doküman)