Ejercicios

Gestión Electrónica de la Energía Eléctrica

T4 – Paneles fotovoltaicos

Máster Universitario en Ingeniería de la Energía

ETSI Minas y Energía

Hugo Torres Orejudo

Noviembre 2026

Elaborado con IA a partir del material de la asignatura. Material no oficial.

Diez problemas graduados (puntuación orientativa sobre 10). Los problemas 8 y 10 son **[COMPLEMENTO]** (contenido fuera de las diapositivas). Convenios: generador (i_p sale por el borne +), modo corriente si $v_p < V_1$ y modo tensión si $v_p > V_1$; $i_{bat} > 0$ en descarga. Resolución en `GEEE_T4_resoluciones`.

Problema 1 (0,75 p) — Equivalentes Norton y Thevenin

Un panel se modela con la característica a tramos de datos $I_{sc} = 8{,}0\,\text{A}$, $I_1 = 7{,}5\,\text{A}$, $V_1 = 30\,\text{V}$, $V_{oc} = 36\,\text{V}$ (en adelante, «panel P1»).

a) Dibuja la I–V a tramos y calcula R_N y R_{th}. Escribe $i_p(v_p)$ en cada modo e indica su intervalo de validez.

b) Calcula la potencia máxima del modelo y la resistencia de carga $R_{L,opt}$ que la extrae.

c) La irradiancia baja al 60 %. Suponiendo I_{sc} e I_1 proporcionales a G y V_1, V_{oc} constantes, calcula los nuevos R_N, R_{th}, P_{max} y $R_{L,opt}$.

Problema 2 (0,75 p) — Panel conectado directamente a una batería

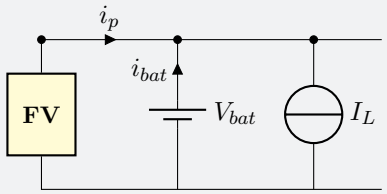
El panel P1 (problema 1) se conecta directamente a una batería de tensión constante V_{bat}. Para $V_{bat} = 24\,\text{V}$, $33\,\text{V}$ y $38\,\text{V}$:

a) ¿En qué modo trabaja el panel? Calcula i_p y la potencia entregada.

b) Exprésala como porcentaje de la potencia máxima del panel.

c) ¿Qué intervalo de V_{bat} permite extraer al menos el 95 % de P_{max}?

Problema 3 (0,75 p) — Batería con carga de corriente y carga de corriente sola



Panel P1. Convenio: $i_{bat} > 0$ cuando la batería se descarga.

a) Con $V_{bat} = 24\,\text{V}$: calcula i_p e i_{bat} para $I_L = 5\,\text{A}$ y para $I_L = 10\,\text{A}$. ¿La batería carga o descarga en cada caso?

b) Sin batería (sólo el panel y la carga de corriente), calcula v_p y la potencia para $I_L = 5\,\text{A}$, $7{,}8\,\text{A}$ y $8{,}5\,\text{A}$.

Problema 4 (0,75 p) — Carga resistiva directa

El panel P1 alimenta directamente una resistencia R_L.

a) Calcula el valor de R_L que separa los modos de trabajo.

b) Para $R_L = 2\,\Omega$ y $R_L = 10\,\Omega$: modo, v_p, i_p y potencia. ¿Qué fracción de P_{max} se aprovecha?

c) ¿Qué R_L extrae la potencia máxima? Compruébalo.

Problema 5 (1,25 p) — MPPT de perturbar y observar

El panel P1 alimenta un convertidor elevador ideal cuya salida está sujeta a una batería de $V_o = 60\,\mathrm{V}$, de modo que $v_p = (1-d)V_o$. El MPPT parte de $d_0 = 0{,}58$, con $\Delta d = 0{,}02$ y una primera perturbación $+\Delta d$.

a) ¿Qué d corresponde al MPP del modelo?

b) Completa una tabla de 13 iteraciones ($k = 0 \ldots 12$) con d, v_p, i_p, P y la decisión del algoritmo.

c) Describe el régimen permanente: valores de d visitados, potencia en cada uno y potencia media. Compara con $\Delta d = 0{,}01$.

d) Explica por qué el algoritmo es mucho más sensible a un paso hacia $d < d_{mpp}$ que a uno hacia $d > d_{mpp}$.

Problema 6 (1,5 p) — Convertidor de potencia constante: puntos de trabajo

Un panel con $I_{sc} = 12\,\mathrm{A}$, $I_1 = 11\,\mathrm{A}$, $V_1 = 40\,\mathrm{V}$, $V_{oc} = 46\,\mathrm{V}$ alimenta un convertidor ($\eta = 95\,\%$) que carga una batería de $48\,\mathrm{V}$ con corriente constante de $5\,\mathrm{A}$.

a) Calcula R_N, R_{th} y la potencia de entrada P_{in} del convertidor.

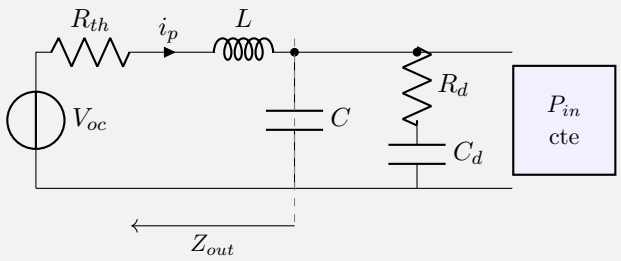
b) Calcula todos los puntos de trabajo válidos (cada modo), descartando razonadamente las raíces absurdas.

c) Impedancia de entrada incremental del convertidor en cada punto.

d) Impedancia de salida (incremental) del panel en cada punto. ¿Cuál de los puntos es estable en continua?

e) Potencia en bornes del panel y potencia de la fuente interna del Thevenin en el punto estable.

Problema 7 (1,5 p) — Filtro de entrada y criterio de Middlebrook



Panel con $I_{sc} = 10{,}5\,\text{A}$, $I_1 = 10\,\text{A}$, $V_1 = 17\,\text{V}$, $V_{oc} = 18\,\text{V}$, trabajando en modo tensión. Convertidor de potencia constante $P_{in} = 60\,\text{W}$. Filtro: $L = 47\,\mu\text{H}$, $C = 47\,\mu\text{F}$ (en los apartados a–c, sin la rama R_d–C_d).

a) Calcula R_{th}, el punto de trabajo y Z_{in} del convertidor.

b) Expresa $Z_{out}(s)$; calcula Z_0, f_0, Q, el pico aproximado de $|Z_{out}|$ y las frecuencias de corte del Bode asintótico.

c) Estudia la estabilidad con Middlebrook: pico exacto de $|Z_{out}|$ y margen en dB.

d) Se añade la rama de amortiguamiento $R_d = 1\,\Omega$ y $C_d = 4C$ en paralelo con C. Calcula el nuevo pico de $|Z_{out}|$ y el margen.

e) Estima el intervalo de R_d (con $C_d = 4C$) que garantiza el margen de 6 dB.

Problema 8 (0,75 p) — [COMPLEMENTO] Serie y paralelo

Se forma un generador con 3 paneles P1 en serie por rama y 2 ramas en paralelo.

a) Calcula I_{sc}, V_{oc}, V_1, I_1, R_N, R_{th} y P_{max} del conjunto.

b) Conexión directa a una batería de 72 V: modo, i_p y potencia. Repite para 100 V.

Problema 9 (1,25 p) — Energía diaria con MPPT y dimensionado de la batería

El panel P1 alimenta un convertidor con MPPT ($\eta = 92\,\%$) que carga una batería de 24 V. Suponemos que la potencia máxima del panel es proporcional a la irradiancia, $P_{max}(G) = G \cdot 225\,\text{W}$, con el perfil: 6–8 h, $G = 0{,}2$; 8–10 h, 0,5; 10–16 h, 1,0; 16–18 h, 0,5; 18–20 h, 0,2.

a) Energía diaria extraída del panel y energía que llega a la batería.

b) Capacidad en A·h que debe poder almacenar la batería y corriente máxima de carga.

c) Con celdas de 3 V, 2 A h e $I_{max} = 4\,\text{A}$, dimensiona la batería (serie × paralelo y número total de celdas).

d) A plena irradiancia, compara la potencia que llega a la batería con MPPT frente a conexión directa a los 24 V (problema 2).

Problema 10 (0,75 p) — [COMPLEMENTO] Temperatura e irradiancia

Un módulo tiene, en condiciones estándar, $V_{oc} = 37{,}2\,\text{V}$, $I_{sc} = 8{,}6\,\text{A}$ y $P_{mpp} = 232\,\text{W}$, con coeficientes $\alpha_I = +0{,}05\,\%/°\text{C}$, $\beta_V = -0{,}32\,\%/°\text{C}$, $\gamma_P = -0{,}40\,\%/°\text{C}$. Además, V_{oc} varía con la irradiancia como $a \ln G$ con $a = 2{,}0\,\text{V}$. Supón I_{sc} y P_{mpp} proporcionales a G (además de la corrección por temperatura). La temperatura de célula se estima $T_c = T_a + \frac{NOCT-20}{800}\, G_{[W/m^2]}$ con $NOCT = 45\,°\text{C}$.

a) Con $T_a = 30\,°\text{C}$ y $G = 800\,\text{W/m}^2$: T_c, I_{sc}, V_{oc} y P_{mpp} del módulo.

b) Una cadena en serie debe tener $V_{oc} \leq 150\,\text{V}$ a $T_c = -10\,°\text{C}$ y $G = 1$ (despreciando el término $a \ln G$ en $G = 1$). ¿Cuántos módulos como máximo?