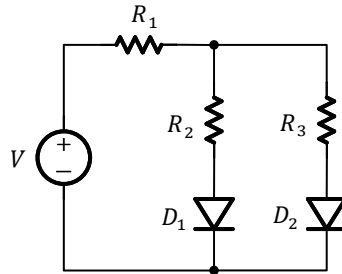


# EL2005 Elektronika – PR#02

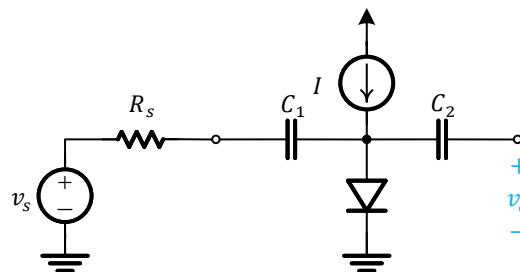
Batas Akhir Pengumpulan : Jum'at, 03 Februari 2017, jam 16:00

## SOAL 1



Diketahui rangkaian diode seperti di atas dengan sumber tegangan DC,  $V = 5 \text{ V}$ ,  $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 220 \Omega$ , dan  $R_3 = 470 \Omega$ . Kedua diode  $D_1$  dan  $D_2$  sama/identik, dengan nilai parameter arus saturasi  $I_S = 0.1 \text{ pA}$ , dan dioperasikan pada suhu ruang (300 K). Tugas Anda adalah menghitung titik operasi (arus dan tegangan) masing-masing diode:  $(V_{D_1}, I_{D_1})$  dan  $(V_{D_2}, I_{D_2})$  dengan model **persamaan karakteristik eksponensial** dan metode **iterasi**. Pada awal iterasi, misalnya Anda dapat mengasumsikan bahwa tegangan setiap diode adalah 0.7 V. Proses perhitungan iterasi cukup dilakukan **maksimum** sebanyak 5 kali. (Contoh soal/Example 4.4 buku **Sedra-Smith Ed. 6** dapat menjadi acuan belajar, dengan 2 perbedaan: (a) nilai arus saturasi  $I_S$  di soal PR ini sudah diketahui, tidak perlu dihitung lagi, (b) berbeda dari contoh di buku, di sini Anda memiliki 2 buah persamaan KVL dan 2 persamaan karakteristik diode.)

## SOAL 2



Rangkaian di atas adalah peredam (atenuator) sinyal sederhana. Besarnya faktor peredaman (atenuasi) dikendalikan oleh nilai arus DC yang mengalir pada diode, yaitu  $I$ . Di rangkaian atenuator tersebut,  $v_s$  adalah sinyal AC frekuensi tinggi (RF) yang akan diredam. Kapasitor  $C_1$  dan  $C_2$  (dengan nilai mendekati tak hingga) berfungsi untuk meng-*couple* sinyal ke dan dari diode namun mencegah arus DC mengalir ke sumber sinyal atau ke beban (tidak ditunjukkan).

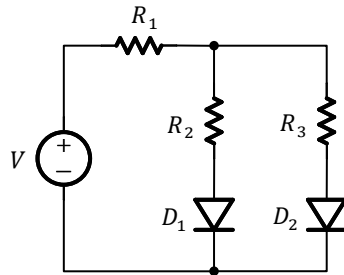
- a. Gunakan model sinyal kecil diode untuk menunjukkan bahwa komponen sinyal dari tegangan output adalah

$$v_o = v_s \frac{V_T}{V_T + IR_s}$$

- b. Jika  $v_s = 10 \text{ mV}$  dan  $R_s = 1 \text{ k}\Omega$ , hitung  $v_o$  untuk  $I = 1 \text{ mA}$ ,  $0.1 \text{ mA}$ , dan  $1 \mu\text{A}$ .
- c. Diberikan diode mengalami drop tegangan 0.7 V pada 1 mA. Untuk input sinyal kecil, berapa nilai  $I$  yang dibutuhkan agar:
- (i)  $v_o/v_s = 0.5$ ? (ii)  $v_o/v_s = 0.1$ ? (iii)  $v_o/v_s = 0.01$ ? (iv)  $v_o/v_s = 0.001$ ?
- d. Untuk tiap kasus di soal (c), berapa batas sinyal input yang dapat digunakan untuk menjamin bahwa komponen sinyal dari arus diode dibatasi pada  $\pm 10\%$  dari arus DC-nya?

# EL2005 Elektronika – PR#02 Solusi

## SOAL 1



Diketahui rangkaian diode seperti di atas dengan sumber tegangan DC,  $V = 5\text{ V}$ ,  $R_1 = 1\text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 220\ \Omega$ , dan  $R_3 = 470\ \Omega$ . Kedua diode  $D_1$  dan  $D_2$  sama/identik, dengan nilai parameter arus saturasi  $I_S = 0.1\ \mu\text{A}$ , dan dioperasikan pada suhu ruang (300 K). Tugas Anda adalah menghitung titik operasi (arus dan tegangan) masing-masing diode:  $(V_{D_1}, I_{D_1})$  dan  $(V_{D_2}, I_{D_2})$  dengan model **persamaan karakteristik eksponensial** dan metode **iterasi**. Pada awal iterasi, misalnya Anda dapat mengasumsikan bahwa tegangan setiap diode adalah 0.7 V. Proses perhitungan iterasi cukup dilakukan **maksimum** sebanyak 5 kali. (Contoh soal/Example 4.4 buku **Sedra-Smith Ed. 6** dapat menjadi acuan belajar, dengan 2 perbedaan: (a) nilai arus saturasi  $I_S$  di soal PR ini sudah diketahui, tidak perlu dihitung lagi, (b) berbeda dari contoh di buku, di sini Anda memiliki 2 buah persamaan KVL dan 2 persamaan karakteristik diode.)

### Jawab:

Hitung nilai  $V_T$ .

$$V_T = \frac{kT}{q} = \frac{(8.62 \times 10^{-5}\ \text{eV/K})(300\ \text{K})}{e} = 0.2586\ \text{V}$$

Aplikasikan Kirchhoff's Voltage Law (KVL) pada kedua loop.

KVL Pada Loop Sebelah Kiri	KVL Pada Loop Sebelah Kanan
$\Sigma V = 0$	$\Sigma V = 0$
$-V + R_1(I_{D_1} + I_{D_2}) + R_2 I_{D_1} + V_{D_1} = 0$	$-V_{D_1} - R_2 I_{D_1} + R_3 I_{D_2} + V_{D_2} = 0$
$(R_1 + R_2)I_{D_1} + R_1 I_{D_2} = V - V_{D_1}$	$-R_2 I_{D_1} + R_3 I_{D_2} = V_{D_1} - V_{D_2}$

Dengan melakukan kombinasi linear pada kedua persamaan KVL di atas, didapat

$$I_{D_1}^{(n)} = \frac{R_3(V - V_{D_1}^{(n-1)}) - R_1(V_{D_1}^{(n-1)} - V_{D_2}^{(n-1)})}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}$$

$$I_{D_2}^{(n)} = \frac{R_2(V - V_{D_1}^{(n-1)}) + (R_1 + R_2)(V_{D_1}^{(n-1)} - V_{D_2}^{(n-1)})}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}$$

Dua persamaan iterasi lainnya didapat dari persamaan karakteristik diode, yaitu

$$V_{D_1}^{(n)} = V_{D_1}^{(n-1)} + V_T \ln \left( \frac{I_{D_1}^{(n)}}{I_{D_1}^{(n-1)}} \right)$$

$$V_{D_2}^{(n)} = V_{D_2}^{(n-1)} + V_T \ln \left( \frac{I_{D_2}^{(n)}}{I_{D_2}^{(n-1)}} \right)$$

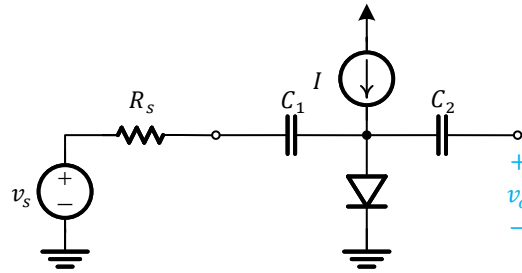
Dengan memasukkan nilai-nilai  $V = 5 \text{ V}$ ,  $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 220 \Omega$ , dan  $R_3 = 470 \Omega$ , dan dengan asumsi bahwa  $I_{D_1}^{(0)} = 1 \text{ mA}$ ,  $I_{D_2}^{(0)} = 1 \text{ mA}$ ,  $V_{D_1}^{(0)} = 0.7 \text{ V}$ , dan  $V_{D_2}^{(0)} = 0.7 \text{ V}$ , didapat tabel iterasi berikut.

Iterasi	$I_{D_1}$ (mA)	$I_{D_2}$ (mA)	$V_{D_1}$ (V)	$V_{D_2}$ (V)
0	1	1	0.7	0.7
1	2.547264936	1.192336778	0.724179623	0.704549163
2	2.50819904	1.222003098	0.72377995	0.705184707
3	2.509740585	1.220195889	0.723795839	0.705146435
4	2.509662908	1.220291832	0.723795039	0.705148468
5	2.509666954	1.220286804	0.72379508	0.705148362

Dengan demikian, titik operasi kedua diode adalah

- $(V_{D_1}, I_{D_1}) \approx (0.724 \text{ V}, 2.510 \text{ mA})$
- $(V_{D_2}, I_{D_2}) \approx (0.705 \text{ V}, 1.220 \text{ mA})$

**SOAL 2**



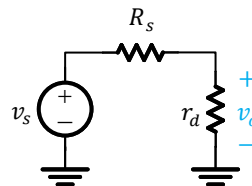
Rangkaian di atas adalah peredam (atenuator) sinyal sederhana. Besarnya faktor peredaman (atenuasi) dikendalikan oleh nilai arus DC yang mengalir pada diode, yaitu  $I$ . Di rangkaian atenuator tersebut,  $v_s$  adalah sinyal AC frekuensi tinggi (RF) yang akan diredam. Kapasitor  $C_1$  dan  $C_2$  (dengan nilai mendekati tak hingga) berfungsi untuk meng-*couple* sinyal ke dan dari diode namun mencegah arus DC mengalir ke sumber sinyal atau ke beban (tidak ditunjukkan).

- a. Gunakan model sinyal kecil diode untuk menunjukkan bahwa komponen sinyal dari tegangan output adalah

$$v_o = v_s \frac{V_T}{V_T + IR_s}$$

**Jawab:**

Model sinyal kecil rangkaian dibangun dengan mengabaikan sumber DC (men-*short*-kan sumber tegangan DC dan meng-*open*-kan sumber arus DC), men-*short*-kan kapasitor, meng-*open*-kan induktor, dan mengganti komponen nonlinear dengan model sinyal kecilnya. Hasilnya, model sinyal kecil rangkaian adalah sebagai berikut.



Dengan prinsip pembagi tegangan, didapat

$$v_o = v_s \frac{r_d}{r_d + R_s}$$

Padahal,  $r_d = V_T/I$ , sehingga

$$v_o = v_s \frac{V_T/I}{V_T/I + R_s} = v_s \frac{V_T}{V_T + IR_s}$$

- b. Jika  $v_s = 10 \text{ mV}$  dan  $R_s = 1 \text{ k}\Omega$ , hitung  $v_o$  untuk  $I = 1 \text{ mA}$ ,  $0.1 \text{ mA}$ , dan  $1 \text{ }\mu\text{A}$ .

**Jawab:**

Asumsikan rangkaian beroperasi pada suhu ruangan, sehingga  $V_T = 0.0253 \text{ V}$ . Dengan demikian

$$v_o|_{I=1 \text{ mA}} = (10 \text{ mV}) \frac{0.0253 \text{ V}}{0.0253 \text{ V} + (1 \text{ mA})(1 \text{ k}\Omega)} \approx 0.247 \text{ V}$$

$$v_o|_{I=0.1 \text{ mA}} = (10 \text{ mV}) \frac{0.0253 \text{ V}}{0.0253 \text{ V} + (0.1 \text{ mA})(1 \text{ k}\Omega)} \approx 2.019 \text{ V}$$

$$v_o|_{I=1 \text{ }\mu\text{A}} = (10 \text{ mV}) \frac{0.0253 \text{ V}}{0.0253 \text{ V} + (1 \text{ }\mu\text{A})(1 \text{ k}\Omega)} \approx 9.620 \text{ V}$$

- c. Diberikan diode mengalami drop tegangan 0.7 V pada 1 mA. Untuk input sinyal kecil, berapa nilai  $I$  yang dibutuhkan agar:  
 (i)  $v_o/v_s = 0.5$ ? (ii)  $v_o/v_s = 0.1$ ? (iii)  $v_o/v_s = 0.01$ ? (iv)  $v_o/v_s = 0.001$ ?

**Jawab:**

Berdasarkan soal (a), didapat

$$v_o = v_s \frac{V_T}{V_T + IR_s} \Leftrightarrow I = \frac{V_T}{R_s} \left( \frac{1}{v_o/v_s} - 1 \right)$$

Dengan demikian, arus  $I$  yang dibutuhkan untuk tiap kasus adalah

Kasus	$v_o/v_s$	$I$ (mA)
i.	0.5	0.0253
ii.	0.1	0.2277
iii.	0.01	2.5047
iv.	0.001	25.2747

- d. Untuk tiap kasus di soal (c), berapa batas sinyal input yang dapat digunakan untuk menjamin bahwa komponen sinyal dari arus diode dibatasi pada  $\pm 10\%$  dari arus DC-nya?

**Jawab:**

Misalkan diode di-*bias* pada titik operasi DC ( $V_{D_1}, I_{D_1}$ ). Di sini, ( $V_{D_2}, I_{D_2}$ ) menyatakan tegangan dan arus diode setelah arus diode diubah 10% dari arus DC-nya (yaitu  $I_{D_1}$ ), dan  $\Delta v_o = \Delta v_d = V_{D_2} - V_{D_1}$  menyatakan perubahan tegangan sinyal kecil diode (= perubahan tegangan sinyal kecil output) akibat perubahan arus. Dengan kata lain, akan dicari  $\Delta v_o$  di mana  $I_{D_2} = 0.9I_{D_1}$  dan  $I_{D_2} = 1.1I_{D_1}$ .

Untuk  $I_{D_2} = 0.9I_{D_1}$ :  $\Delta v_o = V_{D_2} - V_{D_1} = V_T \ln(I_{D_2}/I_{D_1}) = (25.3 \text{ mV}) \ln(0.9) \approx -2.666 \text{ mV}$

Untuk  $I_{D_2} = 1.1I_{D_1}$ :  $\Delta v_o = V_{D_2} - V_{D_1} = V_T \ln(I_{D_2}/I_{D_1}) = (25.3 \text{ mV}) \ln(1.1) \approx 2.411 \text{ mV}$

Perubahan sinyal kecil input adalah

$$\Delta v_s = \frac{\Delta v_o}{v_o/v_s}$$

Dengan demikian, batas sinyal input yang dapat digunakan untuk tiap kasus adalah

Kasus	$v_o/v_s$	Batas Bawah $\Delta v_s$ (mV) (Ketika $\Delta v_o \approx -2.666 \text{ mV}$ )	Batas Atas $\Delta v_s$ (mV) (Ketika $\Delta v_o \approx 2.411 \text{ mV}$ )
i.	0.5	-5.331242	4.822695
ii.	0.1	-26.656210	24.113475
iii.	0.01	-266.562105	241.134755
iv.	0.001	-2665.621046	2411.347549