

Séance 4

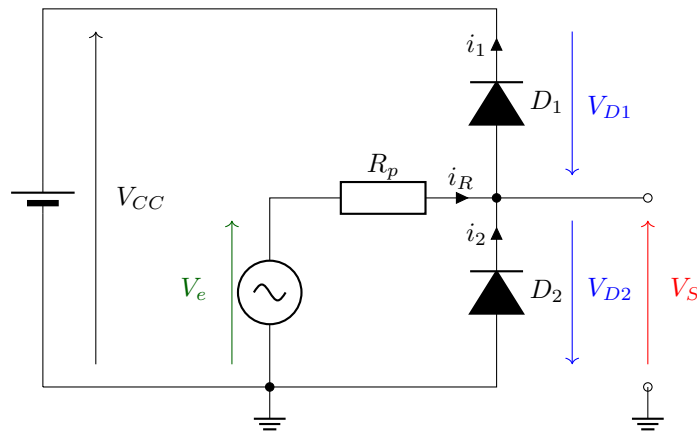
## SÉANCE 4 / DIODES

Pour ce TD, on pourra s'appuyer sur la fiche résumée : [Diodes / LED / Photodiodes](#)

### Mission 4.1 - Limiter une tension

Rappeler le fonctionnement d'une diode.

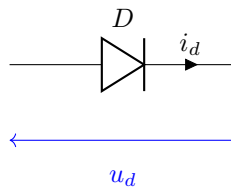
Décrire le fonctionnement du montage suivant :



Loi des mailles du circuit :

1.  $V_{CC} + V_{D1} + R_p \cdot i_R - V_E = 0$
2.  $-V_{D2} + R_p \cdot i_R - V_S = 0$
3.  $V_{D2} = -V_S$

Les éléments  $D_1$  et  $D_2$  ont des caractéristiques tension-courant non linéaires.



On peut modéliser les diodes de la manière suivante :

- si  $u_D > V_F$ ,  $i_d > 0$  et  $u_d = V_F$
- sinon  $i_d = 0$

$V_F$  est la tension directe (*forward*) qui est un seuil de conduction dépendant du matériau utilisé. Cette valeur est fournie par le constructeur.

### Montage

Comme il y a 2 éléments non linéaires dans le montage à étudier (et comme il y a peu de chance que les deux éléments conduisent ou soient bloquées en même temps), il y a 4 cas à traiter.

Nous allons partir d'une hypothèse sur la conduction des deux éléments et déterminer par la suite dans quelles conditions il est possible d'atteindre cet état.

**CAS 1**  $D_1$  et  $D_2$  bloquées.

On a  $i_1 = i_2 = 0$ . Par la loi des noeuds entre les diodes on peut aussi en déduire que  $i_r = i_1 + i_2 = 0$ .

Ainsi, les lois des mailles 2 et 3 donnent :  $V_S = V_E$ .

Pour être dans ce cas, il est impératif de vérifier les conditions suivantes :  $V_{D1} < V_F$  (a) et  $V_{D2} < V_F$  (b) (où  $V_F$  est la tension seuil de conduction des diodes).

*Cas (a)*

$V_{D1} = V_E - V_{CC} - R_p \cdot i_R$  d'après 1

Ainsi  $V_{D1} < V_F$  entraîne  $V_E - V_{CC} < V_F$  et donc

$$V_E < V_{CC} + V_F$$

*Cas (b)*

$V_{D2} = -V_E + R_p \cdot i_R$  d'après 2

Ainsi  $V_{D2} < V_F$  entraîne  $-V_E < V_F$  et donc

$$V_E > -V_F$$

Pour résumé, lorsque  $-V_F < V_E < V_{CC} + V_F$ , les deux diodes sont bloquées et  $V_S = V_E$ .

**CAS 2**  $D_1$  bloquée et  $D_2$  passante

On a  $i_1 = 0$  mais  $i_2 \neq 0$ . Par la loi des noeuds entre les diodes on peut aussi en déduire que  $i_r = -i_2$ .

De plus,  $V_{D2} = V_F$ . D'après 3, on a alors

$$V_S = -V_F$$

Cette condition est réalisée lorsque  $V_{D2} > V_F$ , ce qui entraîne  $-V_E > V_F$  et donc

$$V_E < -V_F$$

On peut vérifier que dans cette condition,  $D_1$  est bien bloquée.

**CAS 3**  $D_1$  passante et  $D_2$  bloquée

On a  $i_1 \neq 0$  mais  $i_2 = 0$ . Par la loi des noeuds entre les diodes on peut aussi en déduire que  $i_r = i_1$ .

De plus,  $V_{D1} = V_F$ . D'après 1, on a alors

$$V_S = V_{CC} + V_F$$

Cette condition est réalisée lorsque  $V_{D1} > V_F$ , ce qui entraîne  $V_E - V_{CC} > V_F$  et donc

$$V_E > V_{CC} + V_F$$

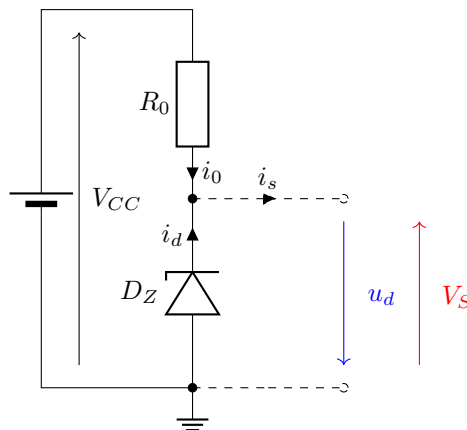
On peut également vérifier que dans cette condition,  $D_2$  est bien bloquée.

**CAS 4**  $D_1$  et  $D_2$  passantes

Ce cas est impossible, d'après les conditions calculées dans le cas 1 (si  $V_{CC}$  est strictement positif).

### Mission 4.2 - Réguler une tension

Soit le montage suivant :

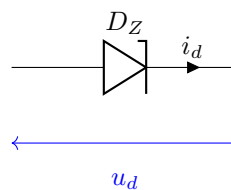
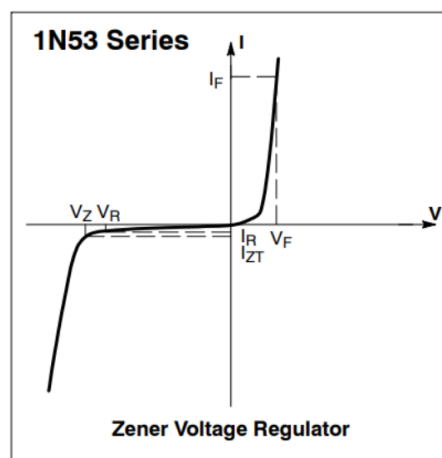


On donne une partie de la documentation d'une diode Zener de type 1N47xxA.

Expliquez le rôle de ce montage.

#### Diode Zener

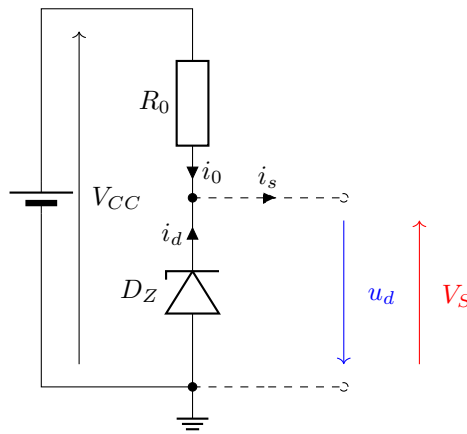
Une diode Zener est un composant non linéaire, qui possède deux zones « passantes », contrairement à des diodes de signal plus classiques qui ne possèdent qu'une zone « passante » pour des tensions positives (voir caractéristique ci-dessous).



Il existe alors deux limites de conduction :

- si  $u_d > V_F$ , alors  $i_d > 0$  (sens direct)
- si  $u_d < -V_Z$ , alors  $i_d < 0$  (sens Zener)
- sinon  $i_d = 0$

#### Montage Zener



Loi des mailles :  $V_{CC} - R_0 \cdot i_0 + u_d = 0$

Ainsi :  $u_d = R_0 \cdot i_0 - V_{CC}$

### Cas 1 (sens direct)

Pour que la diode soit passante dans le sens direct, il faut que  $u_d > V_F$ , c'est à dire que  $R_0 \cdot i_0 - V_{CC} > V_F$ .

On obtient alors, à la limite de conduction (lorsque  $i_0 = 0^+$ ), la condition que  $V_{CC} < -V_F$ .

Par principe  $V_{CC}$  sera positif. Ce cas est donc impossible.

### Cas 2 (sens Zener)

Pour que la diode soit passante dans le sens Zener, il faut que  $u_d < -V_Z$ , c'est à dire que  $R_0 \cdot i_0 - V_{CC} < -V_Z$ .

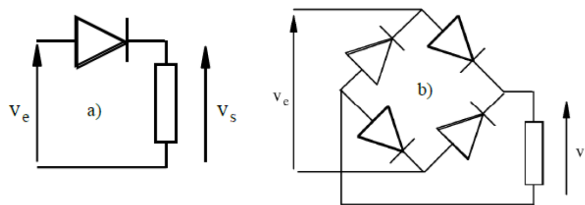
On obtient alors, à la limite de conduction (lorsque  $i_0 = 0^+$ ), la condition que  $V_{CC} > V_Z$ . Dans cette condition,  $u_d = -V_Z$  et donc  $V_S = -u_d = V_Z$  !

Dans cette condition, la tension  $V_S$  de ce montage est (quasi)constante et égale à la tension Zener.

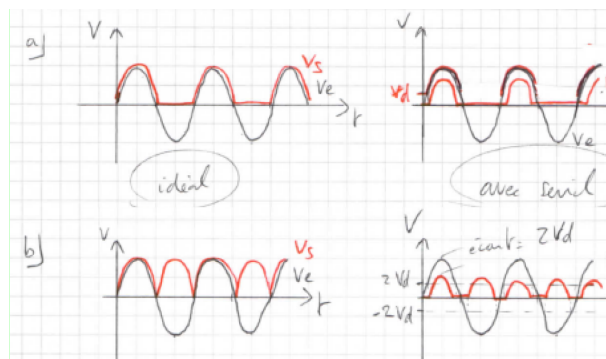
On obtient un **régulateur de tension**.

## Mission 4.3 - Redresser une tension

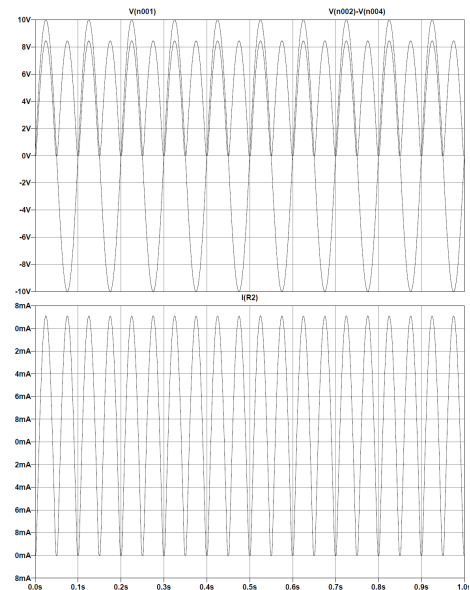
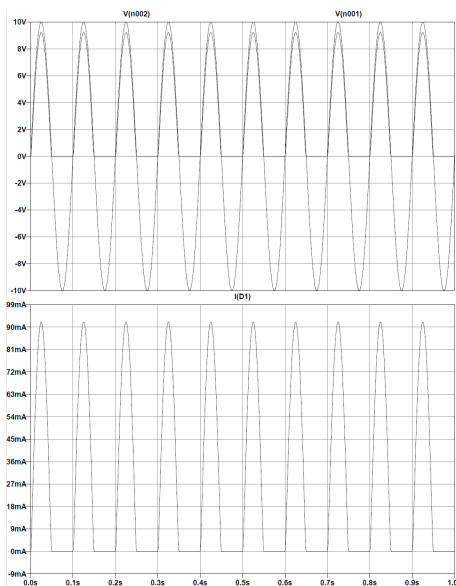
Soient les circuits suivants :



Donnez l'allure du signal de sortie  $V_S(t)$  des circuits a et b suivants pour un signal d'entrée de forme sinusoïdale telle que  $V_e(t) = A \cdot \sin(\omega t)$  dans le cas d'une diode idéale. Puis dans le cas d'une diode avec une tension de seuil  $V_d$ . On supposera que  $A > V_d$ .

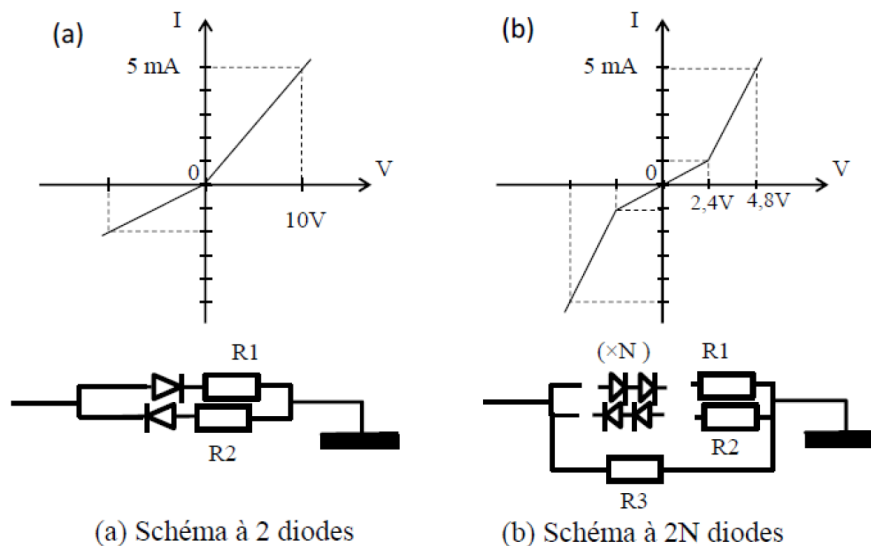


On peut également simuler ce montage (à l'aide du logiciel LTSpice par exemple). On obtient alors, dans le cas d'une diode « classique », la figure suivante - cas (a) à gauche et cas (b) à droite ( $A = 10\text{ V}$  et  $f = 10\text{ Hz}$  - en haut les tensions  $V_E(t)$  et  $V_S(t)$  et en bas le courant dans la diode pour le cas (a) et dans la résistance R pour le cas (b)) :



#### Mission 4.4 - Modifier la forme d'une tension

On considère les deux montages suivants :



1. Dans le cas du montage de la figure (a) et d'utilisation de diodes parfaites et idéales, que doivent valoir  $R_1$  et  $R_2$  pour obtenir la caractéristique tracée dans le graphe  $I(V)$  ?
2. Dans le cas du montage de la figure (b), les diodes ont pour seuil  $0,6\text{ V}$ . Que doivent valoir  $R_1$ ,  $R_2$  et  $R_3$  et le nombre de diodes  $N$  ( $N = 2$  a été dessiné arbitrairement) pour obtenir la caractéristique tracée dans le graphe  $I(V)$  ?

#### Question 1 / Montage a

$R_1$  donne la pente lorsque  $V < 0$ , on a alors :  $R_1 = \Delta V = \Delta I = 10/5 \cdot 10^{-3} = 2\text{ k}\Omega$

De même,  $R_2$  donne la pente lorsque  $V > 0$ , on a alors :  $R_2 = \Delta V = \Delta I = 10/2 \cdot 10^{-3} = 5\text{ k}\Omega$

**Question 1 / Montage b**

Entre  $-2.4\text{ V}$  et  $+2.4\text{ V}$ , seule la résistance  $R_3$  intervient, les diodes des autres branches sont bloquées. On a alors :  $R_3 = \Delta V / \Delta I = 2.4/10^{-3} = 2.4\text{ k}\Omega$

Pour un changement de comportement à  $+2.4\text{ V}$ , il faut au total  $N = 4$  diodes en série ( $4 \cdot 0.6\text{ V} = 2.4\text{ V}$ ).

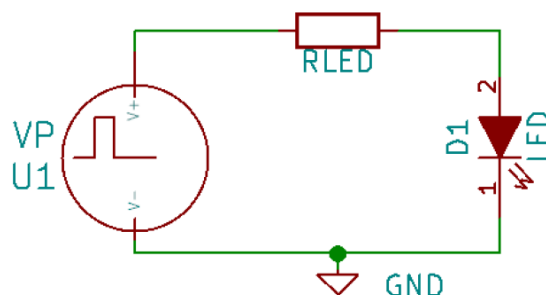
Les pentes avant  $-2.4\text{ V}$  et après  $2.4\text{ V}$  étant les mêmes,  $R_1 = R_2$

De plus, dans cette zone-là,  $R_1 // R_3 = R_1 \cdot R_3 / (R_1 + R_3) = \Delta V / \Delta I = 2.4/4 \cdot 10^{-3} = 600\ \Omega$

Ainsi,  $R_1 = 800\ \Omega$ .

**Mission 4.B1 - Emettre des photons à partir d'une LED**

On souhaite réaliser un montage émetteur à l'aide d'une **diode rouge** de type KingBright L-53HD. On propose d'étudier le montage suivant :



On donne une partie de la documentation :

**Absolute Maximum Ratings at  $T_A=25^\circ\text{C}$** 

Parameter	Bright Red	Units
Power dissipation	120	mW
DC Forward Current	25	mA
Peak Forward Current [1]	130	mA
Reverse Voltage	5	V
Operating/Storage Temperature	$-40^\circ\text{C}$ To $+85^\circ\text{C}$	
Lead Solder Temperature [2]	260°C For 5 Seconds	

Notes:

1. 1/10 Duty Cycle, 0.1ms Pulse Width.

2. 2mm below package base.

- Cas 1 : La source de tension  $V_P$  est une **source continue**. Elle délivre une différence de potentiel de  $5\text{ V}$ .
  - Quelle est la valeur maximale du courant que la diode peut supporter dans ces conditions ?
  - Quelle est la valeur minimale que doit avoir  $R_{LED}$  pour respecter cette condition ?
  - Quel sera alors le courant moyen qui traversera la LED ?
- Cas 2 : La source de tension  $V_P$  est une **source impulsionnelle**. Elle délivre des impulsions de  $5\text{ V}$  de durée  $0.1\text{ ms}$  avec une fréquence de répétition de  $1\text{ kHz}$ .
  - Quelle est la valeur maximale du courant que la diode peut supporter dans ces conditions ?
  - Quelle est la valeur minimale que doit avoir  $R_{LED}$  pour respecter cette condition ?
  - Quel sera alors le courant moyen qui traversera la LED ?

**Cas 1****Question 1.a**

Une tension continu (et donc un courant continu) sera appliqué sur la LED dans les conditions décrites. Ainsi, la donnée qui nous intéresse est le courant direct maximal (ou *DC Forward Current*).  $I_{FMAXDC} = 25 \text{ mA}$ .

**Question 1.b**

Lorsque la diode est passante, elle est soumise à une différence de potentiel nommée tension directe ou  $V_F$  (*Forward Voltage*). Cette différence de potentiel est donnée pour un courant continu de 20 mA.  $V_F = 2.5 \text{ V}$ .

La loi des mailles donne ensuite :  $V_P = R_{LED} \cdot I_F + V_F$ . On a alors le courant  $I_F$  qui vaut :  $I_F = \frac{V_P - V_F}{R_{LED}}$ .

Or on souhaite que  $I_F < I_{FMAXDC}$ . On obtient alors que

$$R_{LED} > \frac{V_P - V_F}{I_{FMAXDC}} = 100 \Omega$$

**Question 1.c**

$$\langle I_F \rangle = I_{FMAXDC}$$

**Cas 2****Question 2.a**

La durée de l'impulsion délivrée est  $t_{on} = 0.1 \text{ ms}$ . La période du signal est  $T = 1/f = 1 \text{ ms}$ . Le rapport cyclique vaut alors  $D = \frac{t_{on}}{T} = 0.1$ .

D'après la documentation technique, dans ces conditions d'utilisation, il est possible d'utiliser un courant plus important, la LED ayant le temps entre deux impulsions de « refroidir ». Ainsi, le courant  $I_{FMAX} = 130 \text{ mA}$ .

**Question 2.b**

De la même manière que précédemment, on a  $R_{LED} > \frac{V_P - V_F}{I_{FMAX}} = 19 \Omega$

**Question 2.c**

$$\langle I_F \rangle = \int_0^T i(t) dt = D \cdot I_{FMAX} = 13 \text{ mA}$$



## Zener Diodes



### FEATURES

- Silicon planar power Zener diodes
- For use in stabilizing and clipping circuits with high power rating
- Standard Zener voltage tolerance is  $\pm 5\%$
- Material categorization:  
for definitions of compliance please see [www.vishay.com/doc?99912](http://www.vishay.com/doc?99912)



**RoHS**  
COMPLIANT  
HALOGEN  
**FREE**

### APPLICATIONS

- Voltage stabilization

### LINKS TO ADDITIONAL RESOURCES



3D Models

### PRIMARY CHARACTERISTICS

PARAMETER	VALUE	UNIT
$V_Z$ range nom.	3.3 to 75	V
Test current $I_{ZT}$	3.3 to 76	mA
$V_Z$ specification	Thermal equilibrium	
Circuit configuration	Single	

### ORDERING INFORMATION

DEVICE NAME	ORDERING CODE	TAPED UNITS PER REEL	MINIMUM ORDER QUANTITY
1N4728A to 1N4761A	1N4728A to 1N4761A -series-TR	5000 per 13" reel	25 000/box
1N4728A to 1N4761A	1N4728A to 1N4761A-series-TAP	5000 per ammpack (52 mm tape)	25 000/box

### PACKAGE

PACKAGE NAME	WEIGHT	MOLDING COMPOUND FLAMMABILITY RATING	MOISTURE SENSITIVITY LEVEL	SOLDERING CONDITIONS
DO-41 (DO-204AL)	310 mg	UL 94 V-0	MSL level 1 (according J-STD-020)	Peak temperature max. 260 °C

### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ( $T_{amb} = 25\text{ °C}$ , unless otherwise specified)

PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
Power dissipation	Valid provided that leads at a distance of 4 mm from case are kept at ambient temperature	$P_{tot}$	1300	mW
Zener current		$I_Z$	$P_V/V_Z$	mA
Thermal resistance junction to ambient air	Valid provided that leads at a distance of 4 mm from case are kept at ambient temperature	$R_{thJA}$	110	K/W
Junction temperature		$T_j$	175	°C
Storage temperature range		$T_{stg}$	-65 to +175	°C
Forward voltage (max.)	$I_F = 200\text{ mA}$	$V_F$	1.2	V



**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** ( $T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , unless otherwise specified)

PART NUMBER	ZENER VOLTAGE RANGE <sup>(1)</sup>	TEST CURRENT		REVERSE LEAKAGE CURRENT		DYNAMIC RESISTANCE $f = 1\text{ kHz}$		SURGE CURRENT <sup>(3)</sup>	REGULATOR CURRENT <sup>(2)</sup>
	$V_Z$ at $I_{ZT1}$	$I_{ZT1}$	$I_{ZT2}$	$I_R$ at $V_R$		$Z_{ZT}$ at $I_{ZT1}$	$Z_{ZK}$ at $I_{ZT2}$	$I_R$	$I_{ZM}$
	V	mA	mA	$\mu\text{A}$	V	$\Omega$		mA	mA
	NOM.			MAX.		TYP.	MAX.		MAX.
1N4728A	3.3	76	1	100	1	10	400	1380	276
1N4729A	3.6	69	1	100	1	10	400	1260	252
1N4730A	3.9	64	1	50	1	9	400	1190	234
1N4731A	4.3	58	1	10	1	9	400	1070	217
1N4732A	4.7	53	1	10	1	8	500	970	193
1N4733A	5.1	49	1	10	1	7	550	890	178
1N4734A	5.6	45	1	10	2	5	600	810	162
1N4735A	6.2	41	1	10	3	2	700	730	146
1N4736A	6.8	37	1	10	4	3.5	700	660	133
1N4737A	7.5	34	0.5	10	5	4	700	605	121
1N4738A	8.2	31	0.5	10	6	4.5	700	550	110
1N4739A	9.1	28	0.5	10	7	5	700	500	100
1N4740A	10	25	0.25	10	7.6	7	700	454	91
1N4741A	11	23	0.25	5	8.4	8	700	414	83
1N4742A	12	21	0.25	5	9.1	9	700	380	76
1N4743A	13	19	0.25	5	9.9	10	700	344	69
1N4744A	15	17	0.25	5	11.4	14	700	304	61
1N4745A	16	15.5	0.25	5	12.2	16	700	285	57
1N4746A	18	14	0.25	5	13.7	20	750	250	50
1N4747A	20	12.5	0.25	5	15.2	22	750	225	45
1N4748A	22	11.5	0.25	5	16.7	23	750	205	41
1N4749A	24	10.5	0.25	5	18.2	25	750	190	38
1N4750A	27	9.5	0.25	5	20.6	35	750	170	34
1N4751A	30	8.5	0.25	5	22.8	40	1000	150	30
1N4752A	33	7.5	0.25	5	25.1	45	1000	135	27
1N4753A	36	7	0.25	5	27.4	50	1000	125	25
1N4754A	39	6.5	0.25	5	29.7	60	1000	115	23
1N4755A	43	6	0.25	5	32.7	70	1500	110	22
1N4756A	47	5.5	0.25	5	35.8	80	1500	95	19
1N4757A	51	5	0.25	5	38.8	95	1500	90	18
1N4758A	56	4.5	0.25	5	42.6	110	2000	80	16
1N4759A	62	4	0.25	5	47.1	125	2000	70	14
1N4760A	68	3.7	0.25	5	51.7	150	2000	65	13
1N4761A	75	3.3	0.25	5	56	175	2000	60	12

**Notes**

<sup>(1)</sup> Based on DC measurement at thermal equilibrium while maintaining the lead temperature ( $T_L$ ) at  $30\text{ }^{\circ}\text{C} + 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 9.5 mm (3/8") from the diode body

<sup>(2)</sup> Valid provided that electrodes at a distance of 4 mm from case are kept at ambient temperature

<sup>(3)</sup>  $t_p = 10\text{ ms}$ .