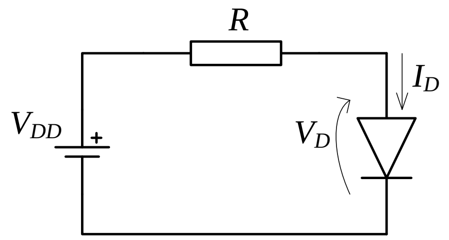
РЕАЛНА ДИОДА

1. Да се одредат напонот и струјата низ диодата за колото прикажано на сликата. Диодата е реална со инверзна струја на заситување на pn спојот $I_S = 10^{-15}$ A. Познато е уште:

$V_{DD} = 1$ V; $R = 1$ kΩ; $V_T = 26$mV; $n = 1$;



Решение:

I начин (Графичка анализа):

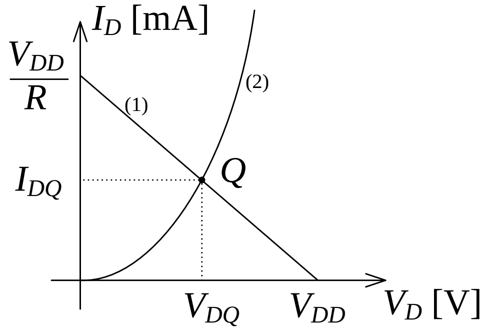
Применувајќи го Кирхофовиот закон за напоните во контурата која ја образува колото на сликата се добива

$$V_{DD} = R \cdot I_D + V_D \quad \Rightarrow \quad I_D = \frac{V_{DD} - V_D}{R} = -\frac{1}{R}V_D + \frac{V_{DD}}{R} \qquad (1)$$

Од друга страна, Шоклиевата равенка налага зависност помеѓу струјата и напонот

$$I_D = I_S(e^{\frac{V_D}{n \cdot V_T}} - 1) = \{n = 1\} = I_S(e^{\frac{V_D}{V_T}} - 1) \qquad (2)$$

Правата (1) е работната права (линијата на потрошувачот) на диодата поставена во конкретното коло, а кривата (2) ја претставува експоненцијалната струјно – напонска карактеристика на диодата. Пресекот помеѓу овие две линии ја дава работната точка на диодата, Q (V_{DQ}, I_{DQ})



$$\left.\begin{aligned} I_{DQ} &= -\frac{1}{R}V_{DQ} + \frac{V_{DD}}{R} \\ I_{DQ} &= I_S(e^{\frac{V_{DQ}}{V_T}} - 1) \end{aligned}\right\} \quad \Rightarrow \quad Q(V_{DQ}, I_{DQ})$$

Овој метод на наоѓање на работната точка на диода е непогоден за рачно изведување. Имено, неговото графичко решавање бара голема прецизност во цртањето и многу време, додека обидот аналитички да се реши системот од равенки доведува до трансцендентна равенка чие нумеричко решавање е многу тешко. Затоа, при одредувањето на напонот и струјата низ диодата се прибегнува кон други, апроксимативни методи кои се многу поедноставни, а решението кое го даваат е релативно точно.

II начин (Итеративна анализа):

Се тргнува од било кое возможно решение за едниот од параметрите, и итеративно користејќи ја конвергенцијата на функцијата ln, се доаѓа до точното решение. Ќе ги користиме следните функции

$$I_D = -\frac{1}{R}V_D + \frac{V_{DD}}{R} \qquad (1)$$

$$V_D = V_T \ln\left(\frac{I_D}{I_S} + 1\right) \qquad (2)$$

Наизменично заменувајќи го решението на едната функција во другата, во неколку чекори итеративно се приближуваме кон точното решение. Постапката се прекинува кога ќе бидеме задоволни со точноста која сме ја постигнале.

На пример, да претпоставиме дека $V_D = V_{DD} = 1$ V.

1. $I_D = -\frac{1\,\text{V}}{R} + \frac{V_{DD}}{R} = 0$

   $V_D = V_T \ln(0+1) = 0$

2. $I_D = 0 + \frac{V_{DD}}{R} = 1\,\text{mA}$

   $V_D = V_T \ln\left(\frac{10^{-3}}{10^{-15}} + 1\right) = 718,\,\text{mV}$

3. $I_D = -\frac{718{,}4\,\text{mV}}{1\,\text{k}\Omega} + 1\,\text{mA} = 0{,}282\,\text{mA}$

   $V_D = V_T \ln\left(\frac{0{,}282 \cdot 10^{-3}}{10^{-15}} + 1\right) = 685{,}5\,\text{mV}$

4. $I_D = -\frac{685{,}5\,\text{mV}}{1\,\text{k}\Omega} + 1\,\text{mA} = 0{,}315\,\text{mA}$

   $V_D = V_T \ln\left(\frac{0{,}315 \cdot 10^{-3}}{10^{-15}} + 1\right) = 688{,}3\,\text{mV}$

5. $I_D = -\frac{688{,}3\,\text{mV}}{1\,\text{k}\Omega} + 1\,\text{mA} = 0{,}312\,\text{mA}$

   $V_D = V_T \ln\left(\frac{0{,}312 \cdot 10^{-3}}{10^{-15}} + 1\right) = 688{,}1\,\text{mV}$

6. $I_D = -\frac{688{,}1\,\text{mV}}{1\,\text{k}\Omega} + 1\,\text{mA} = 0{,}312\,\text{mA}$

Може да се воочи дека по третата итерација промените во резултатот се многу мали, па обично доволно е да се направат три итерации за резултатот да се смета за точен.
Овој метод е поедноставен од графичката анализа, но за кола во кои има повеќе диоди сепак е премногу гломазен и бавен. За такви кола се употребува апроксимативна метода која диодата ја моделира со линеарно коло: линеарно – сегментниот модел на диодата.

III начин (Замена на диодата со нејзиниот линеарно – сегментен модел):

За да се користи овој метод треба да бидат дадени параметрите на линеарно – сегментниот модел со кој може да се замени диодата, V_{DON} и R_{DON}. Нивните типични вредности се каталошки податоци, а за конкретниот пример нека биде
$V_{DON} = 0{,}7$ V
$R_{DON} << R$

Напонот на диодата во овој случај е веќе даден, $V_D \approx V_{DON}$.= 0,7 V. Останува да се најде само струјата:

$$I_D = \frac{V_{DD} - V_D}{R} = \frac{1\text{ V} - 0{,}7\text{ V}}{1\text{ k}\Omega} = 0{,}3\text{ mA}$$

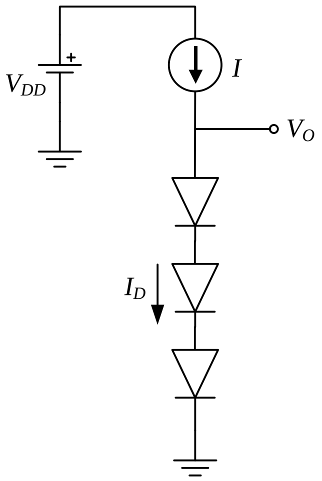
Може да се забележи дека овој метод е далеку поедноставен од другите два. Ако резултатите од 5тата итерација од итеративната анализа ги сметаме за точни, релативната грешка што ја прави овој метод е:

$$\Delta V\ [\%] = \frac{0{,}7 - 0{,}688}{0{,}688} = 1{,}7\ \%$$

$$\Delta I\ [\%] = \frac{0{,}3 - 0{,}312}{0{,}312} = -3{,}8\ \%$$

Овие релативни грешки се прифатливи, и оправдано е користењето на линеарно - сегментниот модел на диодата.
Во генерален случај, при вредности на напонот за напојување блиски до напонот на диодата, $V_{DD} \approx V_D$, се добиваат релативно големи грешки. Колку е поголем напонот на напојување, толку апроксимацијата води кон помали и помали грешки. За дома: да се анализира истото коло (со итеративна метода, и со употреба на линеарно сегментен модел) за $V_{DD} >> V_D$. На пример, 100 волти. Да се споредат релативните грешки.

2. Колото прикажано на сликата користи три идентични диоди со I_S = 10^{-14} A. Да се одреди вредноста на струјата I, за излезниот напон да изнесува V_O = 2 V. Ако низ излезниот вод истекува струја од 1mA, колку ќе изнесува V_O? Да се пресметаат процентуалните промени на струјата и напонот на излезот. n = 1.



$$V_D = \frac{V_O}{3} = \frac{2}{3}\,\mathrm{V}$$

$$I_D = I_S \cdot e^{\frac{V_D}{V_T}} = 3{,}8\,\mathrm{mA} \quad \Rightarrow \quad I = 3{,}8\,\mathrm{mA}$$

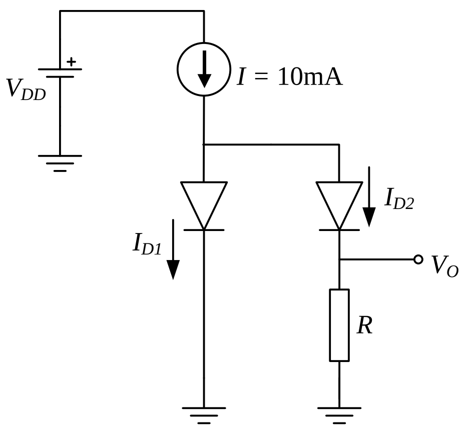
$$I_O = 1\,\mathrm{mA} \quad \Rightarrow \quad I_D = I - I_O = 2{,}8\,\mathrm{mA}$$

$$V_D = V_T \ln \frac{I_D}{I_S} = 0{,}659\,\mathrm{V}$$

$$\mathrm{V_O} = 3V_D = 1{,}977\,\mathrm{V}$$

$$\Delta I = 26\,\% \quad \Rightarrow \quad \Delta V = 1\,\%$$

3. Двете диоди во колото на сликата се идентични, и проведуваат со струја од 10 mA при директен напон од 0,7 V. Да се определи R, за да важи V_O = 50 mV. n = 1.



$$V_D = 0{,}7\,\mathrm{V}; \quad I_D = 10\,\mathrm{mA}; \quad I_D = I_S \cdot e^{\frac{V_D}{V_T}}$$

$$\Rightarrow \quad I_S = \frac{I_D}{e^{\frac{V_D}{V_T}}} = 6{,}9 \cdot 10^{-15}\,\mathrm{A}$$

$$I_{D1} + I_{D2} = I = 10\,\mathrm{mA}$$

$$I_S \cdot e^{\frac{V_{D1}}{V_T}} + I_S \cdot e^{\frac{V_{D2}}{V_T}} = I \qquad (1)$$

$$V_{D1} = V_{D2} + V \qquad (2)$$

$$(2) \rightarrow (1)$$

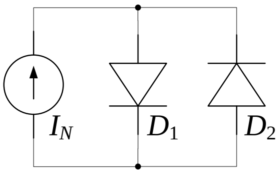
$$I_S \cdot e^{\frac{V_{D2}+V}{V_T}} + I_S \cdot e^{\frac{V_{D2}}{V_T}} = I \quad \Rightarrow \quad V_{D2} = 0{,}647\,\mathrm{V}$$

$$I_{D2} = I_S \cdot e^{\frac{V_{D2}}{V_T}} = 1{,}2\,\mathrm{mA} \quad \Rightarrow \quad I_{D1} = 8{,}8\,\mathrm{mA}$$

$$R = \frac{V}{I_{D2}} = \frac{50\,\mathrm{mV}}{1{,}2\,\mathrm{mA}} = 42\,\Omega$$

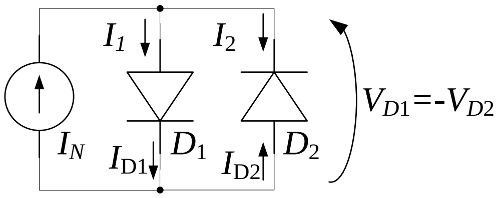
4. За даденото коло, да се одредат насоките и вредностите на струите низ двете диоди, како и напонот кој владее на нивните краеви. Диодите се реални, и можат да се моделираат со Шоклиевиот модел. Да се работи егзактно, без занемарувања и апроксмации. Напоните да се изразуваат во [mV], а струите во [μA], со точност од две децимали. Познато е:

$I_N = 10$ μA; $I_{s1} = 1$ μA; $I_{s2} = 2$ μA; $n = 1$



Забелешка: Шоклиев модел на диода $I_D = I_S(e^{\frac{V_D}{V_T}} - 1)$, $V_T = 25\,\text{mV}$

Решение:



$$I_N = I_1 + I_2 = 10\ \mu\text{A}$$
$$I_1 = I_{D1} \qquad I_2 = -I_{D2} \qquad V_{D1} = -V_{D2}$$
$$I_N = I_{D1} - I_{D2} = 10\ \mu\text{A}$$
$$I_N = I_{S1}\left(e^{\frac{V_{D1}}{V_T}} - 1\right) - I_{S2}\left(e^{\frac{V_{D2}}{V_T}} - 1\right) = 10\ \mu\text{A}$$

Воведуваме замена:

$$\left\{\begin{array}{l} e^{\frac{V_{D1}}{V_T}} = x \\ e^{\frac{V_{D2}}{V_T}} = e^{-\frac{V_{D1}}{V_T}} = x^{-1} = \dfrac{1}{x} \end{array}\right\}$$

$$10 = 1(x-1) - 2\left(\frac{1}{x} - 1\right)$$
$$x^2 - 9x - 2 = 0$$

Решенијата на квадратната равенка се:

$$x_{1/2} = \begin{cases} x_1 = 9,22 \\ x_2 = -0,22 \end{cases} \Rightarrow \quad x = x_1 = 9,22$$

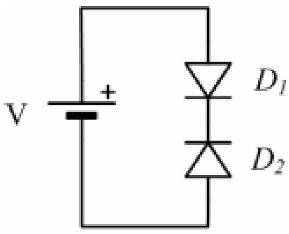
Го прифаќаме x_1 бидејќи не постои логаритам од негативен број

$$V_{D1} = V_T \ln(x) = 55,5\ \text{mV}$$
$$V_{D2} = -V_{D1} = -55,5\ \text{mV}$$
$$I_{D1} = I_{S1}(x-1) = 8,22\ \mu\text{A}$$
$$I_{D2} = I_{S2}\left(\frac{1}{x} - 1\right) = -1,78\ \mu\text{A}$$

На крај, проверка дали збирот на двете струи ја дава струјата I_N :

$$I_{D1} - I_{D2} = I_1 + I_2 = I_N = 10\ \mu\text{A}$$

За даденото коло, да се одредат насоките и вредностите на струите низ двете диоди, како и напоните кои владеат на нивните краеви. Диодите се реални, меѓусебно идентични и можат да се моделираат со Шоклиевиот модел. Да се работи егзактно, без занемарувања и апроксмации. Познато е:
$V = 60$ mV; $I_s = 1$ µA; $V_T = 25$ mV



Решение:

$$I_{D1} = -I_{D2}$$

$$I_s\left(e^{\frac{v_{D1}}{V_T}} - 1\right) = -I_s\left(e^{\frac{v_{D2}}{V_T}} - 1\right) \qquad \{\, V + V_{D2} = V_{D1} \}$$

$$I_s\left(e^{\frac{v_{D2}+V}{V_T}} - 1\right) = -I_s\left(e^{\frac{v_{D2}}{V_T}} - 1\right) \qquad \left\{ e^{\frac{v_{D2}}{V_T}} = x \right\}$$

$$\left(x \cdot e^{\frac{V}{V_T}} - 1\right) = -(x-1) \qquad \left\{ e^{\frac{V}{V_T}} = 11{,}023 \right\}$$

$$11{,}023x - 1 = 1 - x$$

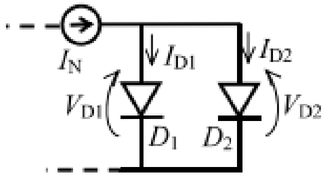
$$x = \frac{2}{12{,}023} = 0{,}166 \quad \Rightarrow \quad v_{D2} = V_T \ln x = 0{,}16 = -44{,}89 \text{ mV} \quad \Rightarrow \quad v_{D1} = v_{D2} + V = 15{,}11 \text{ mV}$$

Струи:

$$I_{D1} = I_s\left(e^{\frac{v_{D1}}{V_T}} - 1\right) = 0{,}83\ \mu\text{A}$$

$$I_{D2} = I_s\left(e^{\frac{v_{D2}}{V_T}} - 1\right) = -0{,}83\ \mu\text{A}$$

Еден студент добил задача да замени дефектна диода во едно коло. Во гранката каде што требало да биде вградена новата диода треба да тече струја I_N = 1,5 A. Студентот во лабораторијата нашол две диоди кои издржуваат максимални струи $I_{DMAX1} = I_{DMAX2}$ = 1A, па одлучил да ги вгради и двете паралелно, резонирајќи дека така максималната струја која може да тече низ гранката би била 2A. Внимавајќи на максималните струи, студентот не забележал дека диодите имаат различни струи на заситување I_{s1} = 100 nA; и I_{s2} = 500 nA. Што ќе се случи во ова коло (да се одредат струите и напоните на диодите, и да се коментира употребливоста на ова решение со две паралелни диоди) ? V_T = 25 mV



Забелешка: При $I_D > I_{DMAX}$, настанува дефект со прекин на диодата (таа се претвора во отворено коло)

Решение:

$$\frac{I_{D1}}{I_{D2}} = \frac{I_{s1}\left(e^{\frac{V_{D1}}{V_T}}-1\right)}{I_{s2}\left(e^{\frac{V_{D2}}{V_T}}-1\right)} = \left\{\begin{matrix}\text{Бидејќи} \\ V_{D1} = V_{D2}\end{matrix}\right\} = \frac{I_{s1}}{I_{s2}} = \frac{1}{5} \qquad (1)$$

$$I_{D1} + I_{D2} = I_N = 1,5\text{ A} \qquad (2)$$

Од (1) и (2) $\Rightarrow$ $I_{D1} = 0,25$ A

$I_{D2} = 1,25$ A $(> I_{DMAX2})$

- Бидејќи низ D_2 тече $I_{D2} > I_{DMAX2}$, D_2 ќе прегори, па целата струја I_N ќе се насочи низ D_1, што ќе предизвика и негово прегорување.

- За да се користи решение од овој тип, мора да се одберат диоди со приближно исти струи на заситување.

2. Во некое електронско коло, низ една од неговите гранки тече струја $I_N = 1{,}5$ A. Во таа гранка се врзани паралелно две диоди, D1 и D2, кои издржуваат максимални струи од $I_{DMAX1} = I_{DMAX2} = 1$A, и имаат исти струи на заситување $I_{s1} = I_{s2} =100$ nA. Диодата D2 потребно е да се замени со нова диода D3, која исто така издржува максимална струја $I_{DMAX3} = 1$A, но нејзината струја на заситување (I_{s3}) не е позната. Кој е опсегот на дозволени вредности за I_{s3}, за кој во колото нема да настане дефект?
Диодите се реални и може да се моделираат со Шоклиевиот модел. $V_T = 25$ mV.

Решение:

Прво треба да се изведе изразот кој ќе ја даде врската помеѓу струјата I_{s3} и струите низ диодите I_{D1} и I_{D3}

$$\left.\begin{array}{ll} I_N = I_{D1} + I_{D3} & V_{D1} = V_{D3} \\ \dfrac{I_{D1}}{I_{D3}} = \dfrac{I_{S1}\cdot\left(e^{\frac{V_{D1}}{V_T}}-1\right)}{I_{S3}\cdot\left(e^{\frac{V_{D3}}{V_T}}-1\right)} = \dfrac{I_{S1}}{I_{S3}} & \textbf{5 п.} \end{array}\right\} \Rightarrow \quad I_{S3} = I_{S1}\frac{I_{D3}}{I_{D1}} = I_{S1}\frac{I_N - I_{D1}}{I_{D1}} = I_{S1}\frac{I_{D3}}{I_N - I_{D3}} \quad \textbf{10 п.}$$

Прва гранична ситуација е ако $I_{D1} = I_{DMAX1} = 1$A

$$I_{S3} = I_{S1}\frac{I_N - I_{D1}}{I_{D1}} = 50 \text{ nA} \qquad \textbf{5 п.}$$

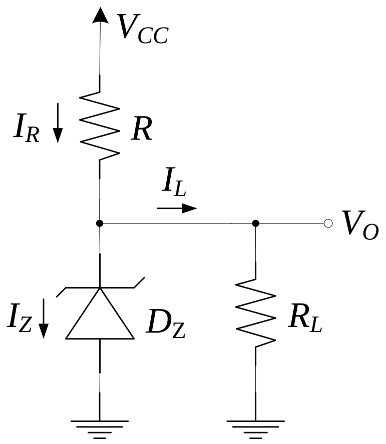
Втора гранична ситуација е ако $I_{D3} = I_{DMAX3} = 1$A

$$I_{S3} = I_{S1}\frac{I_{D3}}{I_N - I_{D3}} = 200 \text{ nA} \qquad \textbf{5 п.}$$

Значи, ако I_{s3} е во опсег од 50 nA до 200 nA, во колото нема да настане дефект.

ДОДАТОК – ЗЕНЕР ДИОДА

1. Колото на сликата се напојува од нестабилизираниот напон V_{CC}, а на неговиот излез дава стабилизиран напон V_O. Колку изнесува минималната вредност на потрошувачот кој може да се приклучи на излезот од ова коло, за тоа се уште да ја врши функцијата на стабилизација на излезниот напон.



$V_{CC} = 10$ V

$V_Z = 5$ V

$R_{L,MIN} = ?$

За излезниот напон да биде стабилизиран, зенер диодата треба да работи во подрачјето на пробив, во кое таа се заменува со напонски генератор V_Z, кој го дефинира и излезниот напон $V_O = V_Z = 5$ V. Условот кој треба да биде исполнет за зенер диодата да работи во подрачјето на пробив, според означените струи на сликата, ќе биде:

$I_Z > 0$

Оттука следува:

$$I_Z = I_R - I_L$$

$$I_Z = \frac{V_{CC} - V_O}{R} - \frac{V_O}{R_L} > 0$$

$$\frac{V_{CC} - V_O}{R} > \frac{V_O}{R_L}$$

$$R_L > R\frac{V_O}{V_{CC} - V_O}$$

$$R_L > 1\ \text{k}\Omega \frac{5\ \text{V}}{10\ \text{V} - 5\ \text{V}} = 1\ \text{k}\Omega$$

$$R_{L,MIN} = 1\ \text{k}\Omega$$