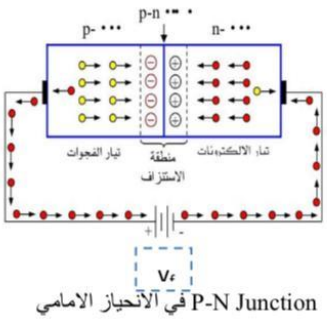
LECTURE NO.4

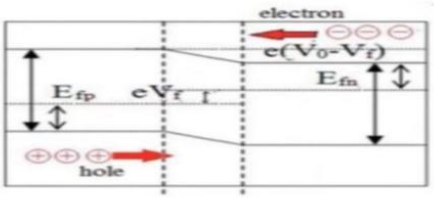
الانحياز الامامي والانحياز العكسي Forward and Reverse Biases of P-N Junction

عند تسليط مصدر فولتية (مصدر جهد مستمر) على طرفي (P-N Junction) تسمى P-N Junction) في حالة انحياز وستظهر لنا حالتين :

الحالة الاولى: اذا ربط P-Side الى الطرف الموجبة وربط N-Side الى الطرف السالب لمصدر الجهد في هذه الحالة سيكون الانحياز امامي والفجوات الموجودة في P-Side ستتنافر مع الطرف الموجب لمصدر الجهد والالكترونات الموجودة في N-Side ستتنافر مع الطرف السالب لمصدر الجهد وكلهما سيتجهان الى منطقة الاستنزاف يودي هذا ان منطقة الاستنزاف ستقل وسيمر تيار كهربائي كما موضح في الشكل



P-N Junction في الانحياز الامامي



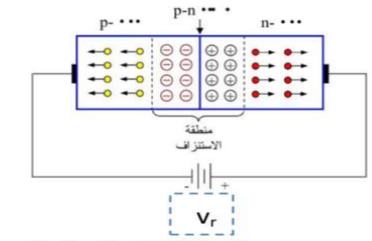
مخطط حزم الطاقة في حالة الانحياز الامامي

من خلال الشكل اعلاه نلاحظ مايلي

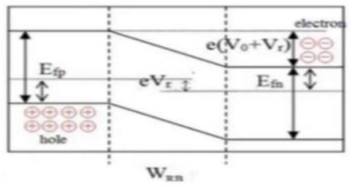
1) التيار سيمر من P-Side الى N-Side ويسمى التيار الامامي (Forward current)
2) حاجز الجهد سيقل الى (V_o-V_f) حيث V_f هي فولتية المسلطة في حالة الانحياز الامامي
3) و سيقل كل من عرض منطقة الاستنزاف وكمية الشحنات $|+Q|$ و $|-Q|$

$$W_{FB} = \sqrt{\frac{2\varepsilon_o \varepsilon_r (V_o - V_f)}{e} \left(\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D}\right)}$$

الحالة الثانية: اذا ربط P-Side الى الطرف السالب وربط N-Side الى الطرف الموجب لمصدر الجهد في هذه الحالة سيكون الانحياز عكسي والفجوات الموجودة في P-Side ستتجاذب مع الطرف السالب لمصدر الجهد والالكترونات الموجودة في N-Side ستتجاذب مع الطرف الموجب لمصدر الجهد وستزداد منطقة الاستنزاف كما موضح في الشكل ادناه



P-N Junction في الانحياز عكسي



مخطط حزم الطاقة في حالة الانحياز العكسي

ملاحظة :زيادة منطقة الاستنزاف هذا يعني زيادة حاجز الجهد بمقدار الفولتية المسلطة

من خلال الشكل اعلاه نلاحظ مايلي

1) التيارالذي يمر من N-Side الى P-Sideجدا قليل يسمى هذا التيار بتيار التشبع العكسي (reverse saturation current) ويرمز له I_o
2) حاجز الجهد العكسي سيزداد (V_r+V_o) حيث V_r هي فولتية المسلطة في حالة الانحياز العكسي
3) و سيزداد كل من عرض منطقة الاستنزاف وكمية الشحنات $|+Q|$ و $|-Q|$

$$W_{RB} = \sqrt{\frac{2\varepsilon_o\varepsilon_r(V_o + V_r)}{e}\left(\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D}\right)}$$

ملخص القوانين

1. في حالة عدم توصيل ثنائي الوصلة P-N Junction الى مصدر خارجي فيمكن حساب عرض منطقة الاستنزاف من خلال العلاقة الاتيه

$$W=\sqrt{\frac{2\varepsilon_o\varepsilon_r Vo}{e}\left(\frac{1}{N_A}+\frac{1}{N_D}\right)} \rightarrow \qquad (E_{fn}=E_{fp})$$

2. في حالة توصيل ثنائي الوصلة P-N Junction الى مصدر خارجي (الانحياز الامامي) فيمكن حساب عرض منطقة الاستنزاف من خلال العلاقة الرياضية الاتيه

$$W_{FB} = \sqrt{\frac{2\varepsilon_o\varepsilon_r(V_o - V_f)}{e}\left(\frac{1}{N_A}+\frac{1}{N_D}\right)} \qquad \rightarrow (E_{fn}=E_{fp}+eV_f)$$

3. في حالة توصيل ثنائي الوصلة P-N Junction الى مصدر خارجي (الانحياز العكسي) فيمكن حساب عرض منطقة الاستنزاف من خلال العلاقة الرياضية الاتيه

$$W_{RB} = \sqrt{\frac{2\varepsilon_o\varepsilon_r(V_o + V_r)}{e}\left(\frac{1}{N_A}+\frac{1}{N_D}\right)} \rightarrow (E_{fn}=E_{fp}-eV_r)$$

خصائص التيار والفولتية للصمام الثنائي (volt & ampere characteristic of diode)

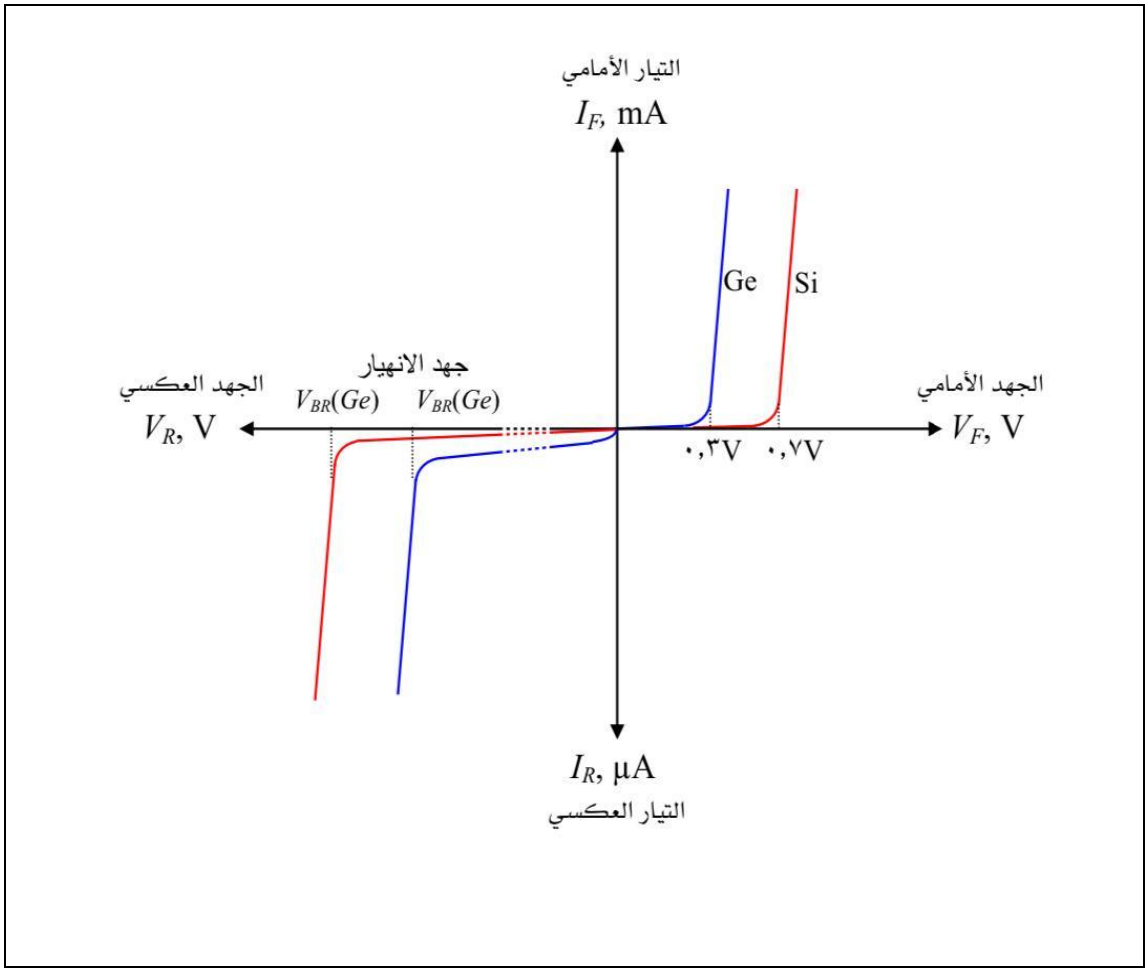
ومن الامثله على

P-N Junction هو الدايود كما موضح في الشكل

لتمثيل منحني الخواص للصمام الثنائي (diode) من خلال العلاقة بين التيار المار في الثنائي وبين الجهد المطبق عليه سواء كان في حالة الانحياز الامامي او الانحياز العكسي من خلال دراستنه للانحياز الامامي والعكسي نستنتج ان

1. فان الثنائي (diode) يوصل التيار عندما يكون في حالة الانحياز الامامي حيث يسمح بمرور التيار باتجاه واحد فقط من الجانب الموجب الى الجانب السالب بسبب حاجز الجهد يقل في الانحياز الامامي مما يودي الى مرور تيار كهربائي

2. اما في حالة الانحياز العكسي فانه حاجز الجهد سوف يزداد مما يمنع مرور التيار (اي التيار يكون صغير جدا) طالما كان الجهد المطبق على طرفية اقل من جهد الانهيار (breakdown voltage)



شكل يوضح منحني الخواص لثنائي شبة الموصل

وبشكل عام فان الفولتية المسلطة على طرفي الدايود (الصمام الثنائي) هي

$$V = \begin{cases} V_f & \text{الانحياز امامي} \\ -V_r & \text{الانحياز العكسي} \end{cases}$$

فان عرض منطقة الاستنزاف هو :

$$W = \sqrt{\frac{2\varepsilon_o\varepsilon_r(V_o - V)}{e}\left(\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D}\right)}$$

في حالة الانحياز الامامي

$$W = \sqrt{\frac{2\varepsilon_o\varepsilon_r(V_o - Vf)}{e}\left(\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D}\right)}$$

في حالة الانحياز العكسي

$$W = \sqrt{\frac{2\varepsilon_o\varepsilon_r(V_o + Vr)}{e}\left(\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D}\right)}$$

لحساب التيار الكلي المار خلال الدايود هو

$$I = I_o\left(exp\left(\frac{V}{\eta V_T}\right) - 1\right)$$

I_o : هو تيار الاشباع العكسي قيمته تعطى بالسؤال

η هو ثابت : $\begin{cases} 1 \text{ للجرمانيوم} \\ 2 \text{ للسيلكون} \end{cases}$

$$V_T = \frac{KT}{e} = \frac{T}{11600}$$

في حالة الانحياز الامامي

$V = +V_f$

$\left(exp\left(\frac{V_f}{\eta V_T}\right)\right) > 1 \rightarrow$ يمكن اهمال الواحد

$$I \cong I_o \left(exp\left(\frac{V_f}{\eta V_T}\right)\right)$$

وعلاقة بين الفوليته المسلطه في حالة الانحياز الامامي والتيار يوضح بشكل ادناه

من الشكل اعلاه حيث لدينا منطقتين

1. $V_f < V_D$ (منطقة الاشارة الصغيره)

اي عندما تكون فولتية المصدر(V_f)اقل من فولتية الدايود (V_D)

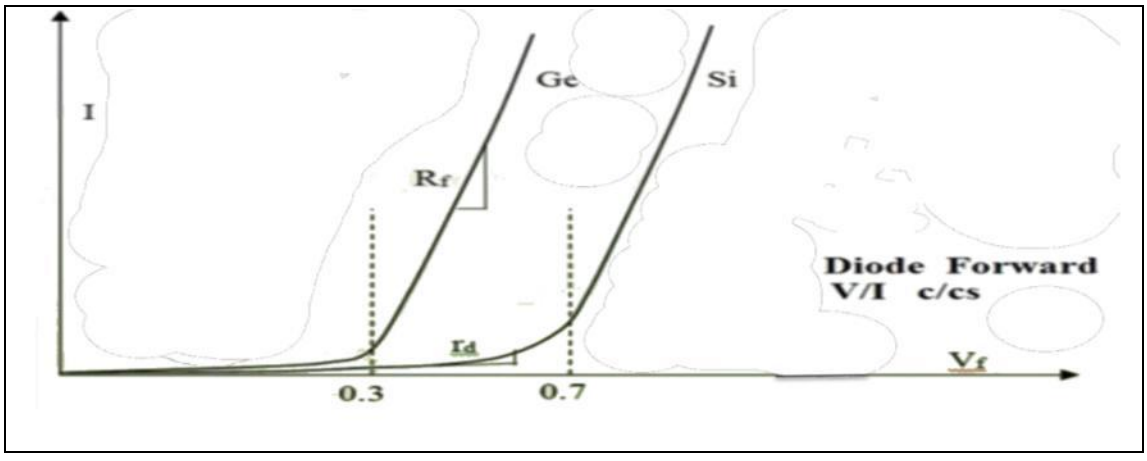
$V_D = 0.3 \rightarrow Ge$

$V_D = 0.7 \rightarrow Si$

r_d: مقاومة الدايود →(تسمى بالمقاومة الدنياميكية)

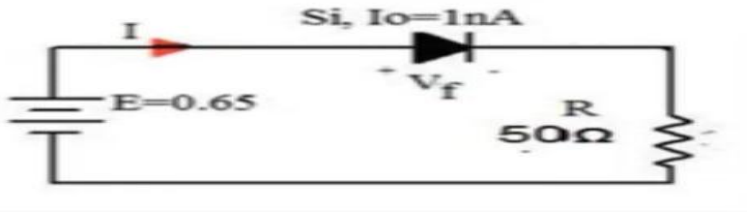
$$I = I_o \left(exp\left(\frac{V_f}{\eta V_T}\right)\right)$$

$$r_d = \frac{\eta V_T}{I}$$



الشكل يوضح عمل الدايود ضمن منطقة الاشارة الصغيره

مثال :احسب مقاومة الدايود (المقاومة الدنياميكية) عند درجة حرارة (300k) للدائرة التالية



الحل : نلاحظ ان الدايود في حالة انحياز امامي وان $V_f < V_D$ نستخدم KVL

$E=V_f + IR$

$E=V_f + \left[I_o \left(exp\left(\frac{V_f}{\eta V_T}\right)\right)\right] * R$

$\eta V_T = \eta \frac{T}{11600} \rightarrow 2 * \frac{300}{11600}=0.0517$

$0.65=V_f + 50 * 10^{-9} * \exp\left(\frac{V_f}{0.0517}\right)=0.6384v$

في حالة عدم توفر الحاسبة يمكن حساب التيار بالقانون الاتي ويكون الناتج تقريبي حيث يجب ان يكون $E > V_f$

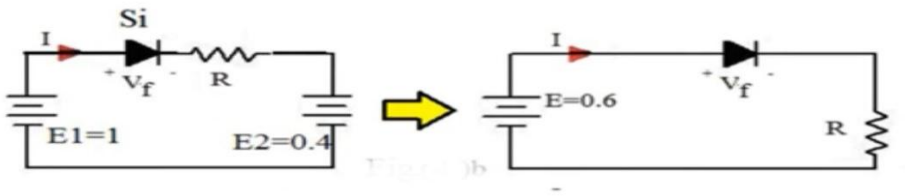
$V_f = 0.6\ v$ نفرض

$E = V_f + IR$

$I=\frac{E-V_f}{R} \rightarrow \frac{0.65-0.6}{50}=1mA$

$rd=\frac{\eta V_T}{I} \rightarrow \frac{0.0517}{10^{-3}}=51.7\Omega$

مثال احسب مقاومة الدايود (المقاومة الدنياميكية) عند درجة حرارة (300k) للدائرة التالية



الحل بما انه E1>E2 اذن الدايود في حالة انحياز امامي ثم نجد الفولتية المصدر المكافئة

$E_{eq}=E_1- E_2 \rightarrow 0.6\ v$

نقارن مابين $V_{D\&}E_{eq}$ لمعرفة منطقة الاشاره نلاحظ

الدايود في حالة انحياز امامي ضمن منطقة الاشارة الصغيرة $\rightarrow E_{eq}<V_D$

$$E=V_f + IR \rightarrow 0.6 = V_f + I_o\left(exp\left(\frac{V_f}{\eta V_T}\right)\right)R$$

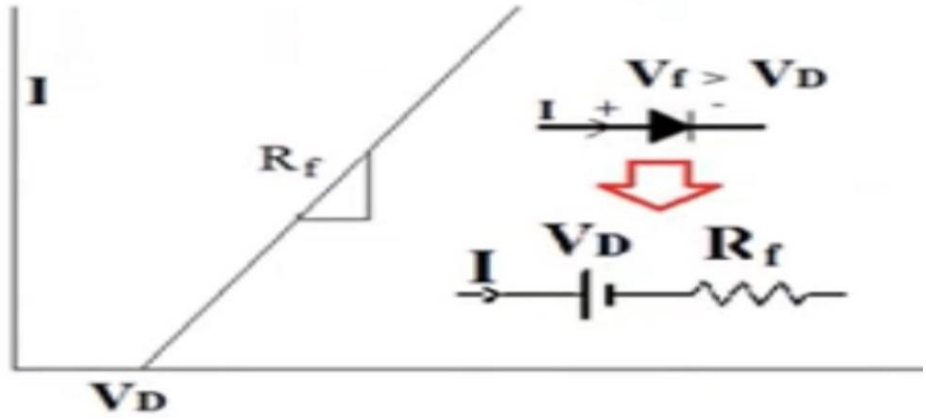
H.W : تكملة الحل

---

2. $V_f > V_D$ (منطقة الاشارة الكبيره)

اي عندما تكون فولتية المصدر(V_f) اكبر من فولتية الدايود (V_D)

فان العلاقة بين التيار والفولتية كما موضح في الشكل ادناه

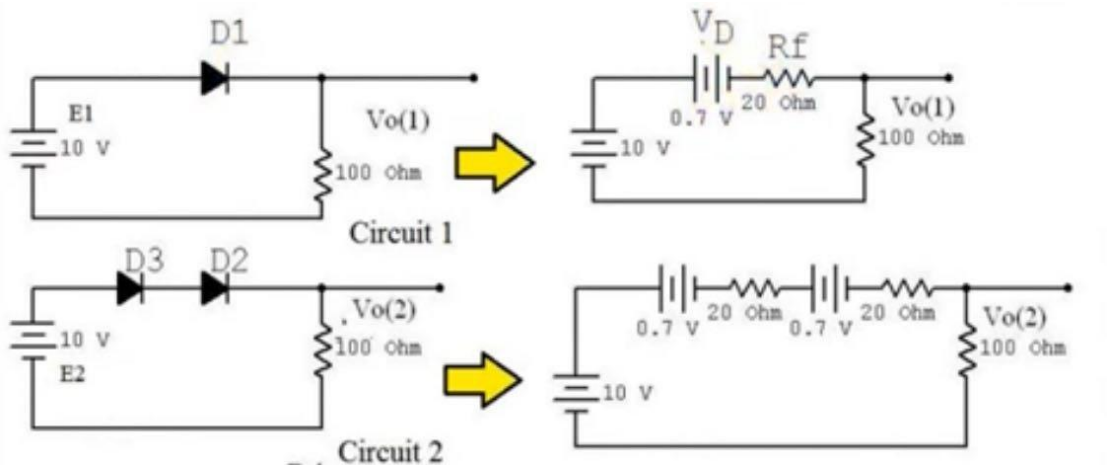


$V_f = V_D + IR_f$

R_f : هي مقاومة الامامية للدايود تمثل (ميل الخط) دائما تعطى قيمتها بالسؤال واذا لم تعطى نفرضها قيمتها صفر

الدائرة المكافئة للدايود عند منطقة الاشارة الكبيرة($V_f > V_D$)هي مصدر فولتية مع فولتية الدايود مربوطة على التوالي مع المقاومة R_f

مثال اوجد فولتية الخرج (V_o) للدوائر الاتية اذا علمت سيلكون دايود مع $R_f=20\Omega$



cct_1:$E_1 > 0.7$

V=10 - 0.7= 9.3v

$V_o = \frac{V*R}{(Rf+R)} \rightarrow \frac{9.3*100}{20+100}$

cct_2: E2>0.7

V=10-1.4=8.4v

$V_o = \frac{V*R}{(Rf+R)} \rightarrow \frac{8.4*100}{40+100}$

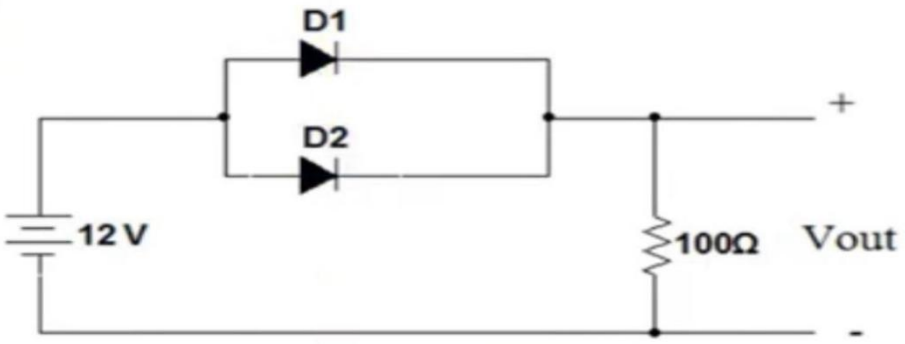
ملاحظة : اذا كان لدينا دايودين متماثلتين (اي اثنانهما جرمانيوم اواثنانهما سيليكون) مربوطين على التوازي في انحياز امامي ضمن منطقة الاشارة الكبيرة اي $V_f > V_D$ فان فولتية الدايودي ين المكافئة تساوي الى فولتية الدايود(V_D) ومقاومة مكافئة هي ($R_{eq} = R_f / 2$)

ملاحظة : اذا كان لدينا دايودين مختلفان (اي احدهما جرمانيوم والاخر سيليكون) مربوطين على التوازي في انحياز امامي ضمن منطقة الاشارة الكبيرة اي $V_f > V_D$ فان فولتية الدايودي ين المكافئة هي

($R_{eq} = R_{f1} \| R_{f2}$)ومقاومة مكافئة هي V= ($\frac{V_{D1}}{R_{f1}} + \frac{V_{D2}}{R_{f2}}$)*$R_{eq}$

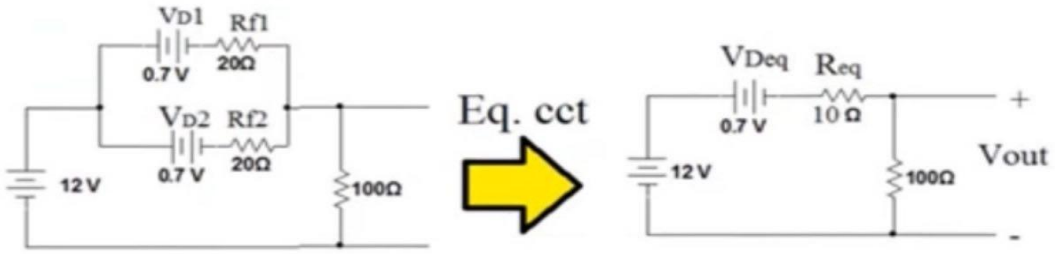
مثال اوجد اوجد فولتية الخرج (V_o) لدائرة الاتية

1. اذا كان D1 &D2 سيلكون مع $R_{f=20\Omega}$
2. اذا كان D1 &D2 جرمانيوم مع $R_{f=10\Omega}$
3. اذا كان D1 سيلكون مع $R_{f=20\Omega}$ & D2 جرمانيوم مع $R_{f=10\Omega}$



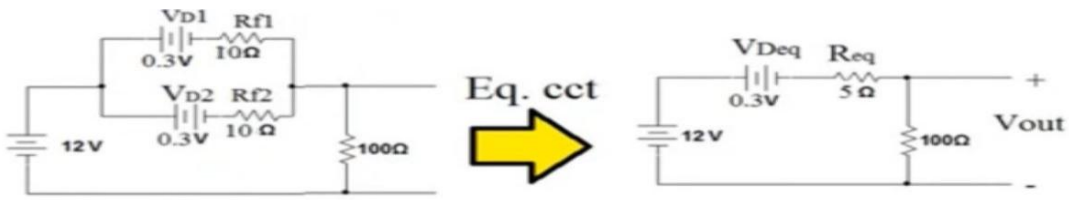
الحل :

1)



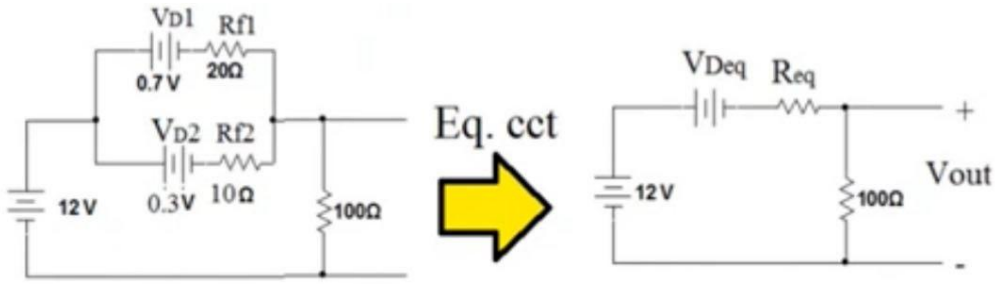
$$V_o = \frac{(12-0.7)*100}{100+10} =$$

2.



$$V_o = \frac{(12-0.3)*100}{100+5}$$

3.



$$R_{eq} = \frac{R_{f1}*R_{f2}}{R_{f1}+R_{f2}} = \frac{200}{30} = \frac{20}{3} = 6.667\Omega$$

$$V_{Deq} = \left(\frac{V_{D1}}{R_{f1}} + \frac{V_{D2}}{R_{f2}}\right) * \text{Req} \rightarrow \left(\frac{0.7}{20} + \frac{0.3}{10}\right) * \frac{20}{3} = 0.4334v$$

$$V_o = \frac{(12-0.4334)*100}{100+6.667}$$