

الإلكترونيات الموازية والرقمية
אלקטרוניקה תקבילית
וספרתית

حقوق النشر

جميع الحقوق محفوظة للمؤلف. يُسمح بمشاركة الكتاب ونشره كما هو، بصيغته الرقمية فقط، للاستخدام الشخصي أو التعليمي غير التجاري. لا يجوز طباعة الكتاب، أو نسخه، أو تعديله، أو تحريره، أو ترجمته، أو نشر أجزاء منه، أو استخدامه استخدامًا تجاريًا من أي نوع، دون الحصول على إذن مسبق وخطي من المؤلف.

م. عبد الملك حلواني

ahalawani@gmail.com

זכויות יוצרים

כל הזכויות שמורות למחבר. מותר לשתף ולהפיץ את הספר כפי שהוא, בצורתו הדיגיטלית בלבד, לשימוש אישי או חינוכי שאינו מסחרי. אין להדפיס, להעתיק, לשנות, לערוך, לתרגם, להפיץ חלקים ממנו או לעשות בו שימוש מסחרי מכל סוג שהוא, ללא אישור מראש ובכתב מאת המחבר.

المحتويات

5	مقدمة.....
6	تعليمات الحل.....
7	البادئة المترية (Metric Prefixes).....
8	الإشارات\الأموال والأظمة.....
10	خصائص الإشارة الدورية.....
11	دائرة الوحدة وإشارة الجيب:.....
14	الإزاحة في إشارة الجيب.....
15	عملي - التيار المتناوب.....
17	المكبر المضمخ - مغبر (Amplifier).....
18	التكبير بوحدة الديسبل (dB):.....
21	مغبر شرت - مكبر العمليات (Operational Amplifier).....
22	خصائص مكبر العمليات.....
23	التغذية (الراجعة \ الخلفية \ المرتدة).....
25	تطبيقات مكبر العمليات.....
25	مكبر الوحدة \ العازل \ تابع الجهد - حوآ (Buffer, Voltage Follower).....
27	المكبر عاكس الإشارة - حوآ موفع (Inverting Amplifier).....
30	المكبر المحافظ على الإشارة - حوآ موفع (Noninverting Amplifier).....
33	الجامع السلي - مسكم سليلي (Inverting Summer).....
34	الجامع الإيآبي - مسكم حيوي (Noninverting Summing Amplifier).....
35	الطارح - محسور (Subtractor).....
36	طريقة التجميع\التراكب (Superposition) في تحليل دوائر مكبر العمليات.....
43	المقارن - مغبر شرت كمشوء (Comparator).....
53	الصمام الثنائي \ الداود - ديود (Diode).....
56	أسئلة البجروت ضمن موضوع مكبر العمليات (شامل الداود).....
104	المرشحات - مسننم (Filters).....
105	مرشح الترددات منخفضة (LPF: Low Pass Filter) - مسن معبر نموم.....
114	مرشح ترددات مرتفعة (HPF) - مسن معبر غبوم.....
121	أسئلة بجروت حول المرشحات.....
139	الترانزستور (Transistor).....
142	حالات الترانزستور.....
159	تحليل دوائر الترانزستور في حالة التيار المتناوب.....
165	حساب معامل تكبير الجهد لدائرة الترانزستور في حالة الـ (AC):.....
168	حساب مقاومة الدآل والآرآ.....
170	تمارين تحليل دوائر الترانزستور للتيار المتناوب.....

أسئلة بجروت حول الترانزستور..... 174

تحويل الإشارات - המרת אותות..... خطأ! الإشارة المرجعية غير معرفة.

التحويل من رقمي الى تماثلي (DAC أو D/A)..... خطأ! الإشارة المرجعية غير معرفة.

التحويل من تماثلي الى رقمي (ADC أو A/D)..... خطأ! الإشارة المرجعية غير معرفة.

مقدمة

يهدف هذا الكتاب الى تقديم مادة الإلكترونيات الموازية/التماثلية والرقمية لطلبة تخصص الإلكترونيات (מגמת הנדסת אלקטרוניקה ומחשבים) من أجل تحضيرهم لامتحان البجروت 815381 حسب خطة التعليم الأخيرة.

يعتبر هذا الكتاب الأول من نوعه من حيث توفره باللغة العربية واقتصاره على ما يلزم من النظرية، بالإضافة الى التمارين الأساسية وحلول أسئلة البجروت المرتبطة.

تكمن منهجية هذا الكتاب في تعريف المصطلح، سرد القوانين مع تعريف للرموز المستخدمة ووحدات القياس، ثم حل بعض التمارين وعدد من أسئلة البجروت لنفس الموضوع. يتم وضع عدد من التمارين للطلاب من أجل اختبار معرفته وتطوير قدرته في حل المسائل.

عن المحرر

الأستاذ عبد الملك حلواني حاصل على بكالوريوس هندسة كهربائية من جامعة بيرزيت وماجستير في الإلكترونيات من جامعة لندن بالإضافة الى رخصة التدريس. يمتلك المحرر خبرة 20 عاما في التدريس الجامعي والمدرسي بالإضافة الى العمل الهندسي والبحث العلمي. منذ عام 2016 يعمل الأستاذ كمدرس لمادة الإلكترونيات بكل مركباتها وهو مطلع بشكل قريب على خطط الوزارة للتخصص وسيروته.

عن امتحان البجروت

امتحان البجروت 815381 هو الامتحان الخارجي الكتابي لمسار هندسة الإلكترونيات والحاسوب. والذي يشكل 70% من العلامة النهائية. يقع الامتحان في ثلاثة أقسام، القسم الثاني منها هو قسم الإلكترونيات وفيه يحل الطالب سؤاليين من أصل ثلاثة أسئلة. ويشكل هذا القسم 40 نقطة من أصل 100 نقطة لامتحان الكلي.

تعليمات الحل

ننصح الطالب التدرّب على حل الأسئلة بالطريقة التالية، حتى يعتادها ويحصل على أفضل النتائج:

- كل سؤال على صفحة جديدة (نكتب رقم السؤال وأرقام الأفرع)
- نكتب المعطيات، المطلوب، والقانون الملئم للحل
- نكتب القانون المستخدم في الحل دائما
- نحول المعطيات الى الوحدات الملئمة
- نعوض المعطيات في القانون
- ننفذ العملية الحسابية
- نكتب النتيجة النهائية مع وحدات القياس المناسبة
- كل خطوة في سطر منفصل، نكتب سطر بعد سطر
- تفسير قصير للحل باستخدام الكلمات
- نكتب المصطلحات باللغة العبرية

البادئة المترية (Metric Prefixes)

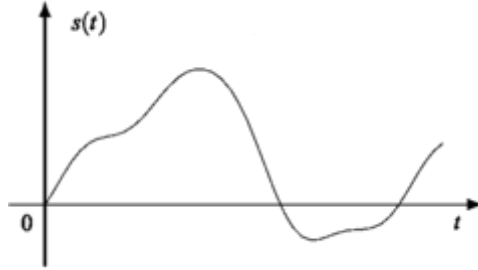
من أجل تمثيل القيم الصغيرة والكبيرة للوحدات في النظام العالمي للقياس (SI)، يسبق الوحدة الرمز التالية.

الرمز	الاسم	القيمة
K	كيلو	$1,000=10^3$
M	ميغا	$1,000,000=10^6$
m	ميلي	$0.001=10^{-3}$
μ	مايكرو	$0.000001=10^{-6}$
n	نانو	$0.000000001=10^{-9}$

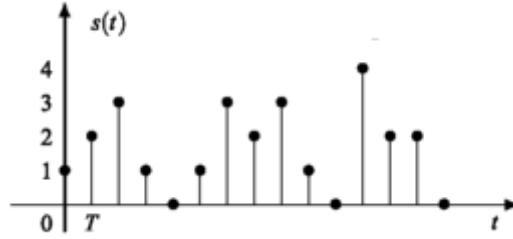
فمثلا يمكن تمثيل المسافة بوحدة المتر، ويمكن تمثيل المسافات الكبيرة بالكيلو متر والمسافات صغيرة بالميلي متر وهكذا.

الإشارات والأمواج والأنظمة

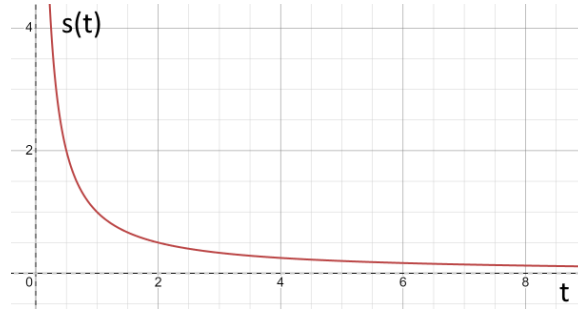
بالإمكان تقسيم الإشارات الى إشارات متصلة. ويكون فيها قيمة على محور (y) لكل نقطة زمنية من محور (x).



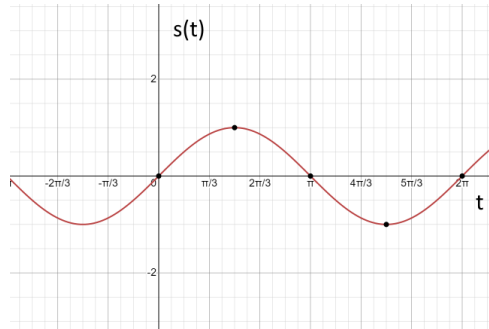
وإشارات متقطعة، بحيث يكون لدى الإشارة قيم في أزمنة محددة فقط.



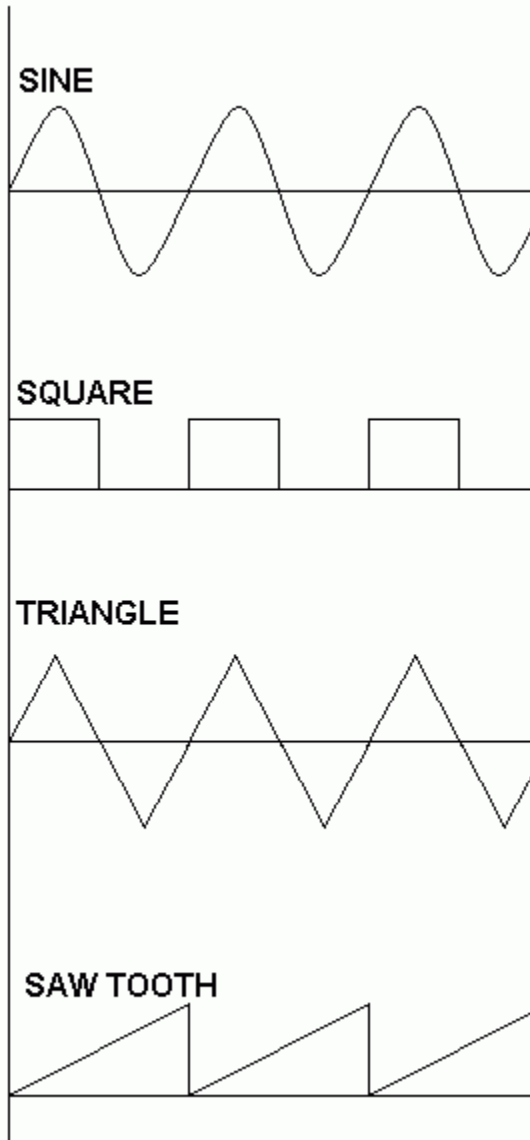
بالإمكان كذلك تقسيم الإشارات المتصلة الى غير دورية لا تتكرر كما يلي:



وإشارات متناوبة|دورية تتكرر قيمها في فترات زمنية محددة تسمى الدورة على غرار ما يلي:



أمثلة على الإشارات الدورية الأساسية:



1. إشارة الجيب (אות סינוס)

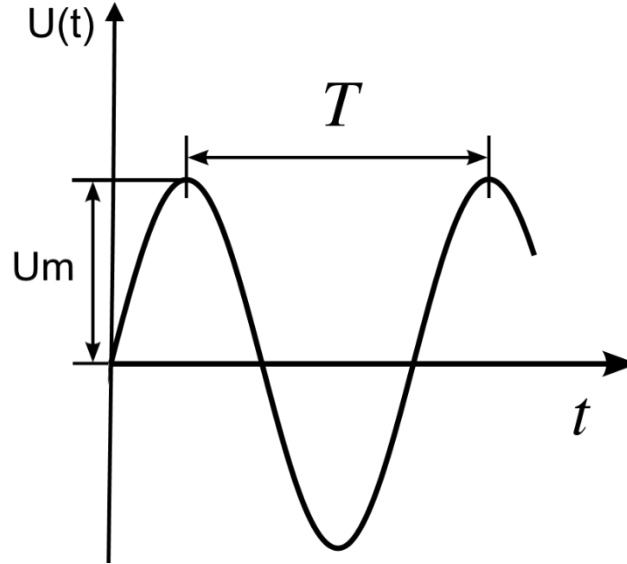
2. إشارة مربعة (אות מדרגה)

3. إشارة مثلثية (אות משולש)

4. إشارة أسنان المنشار

خصائص الإشارة الدورية

الموجة: هي المسار الذي يرسمه الجهد/التيار بدلالة الزمن أو الزاوية.
نأخذ إشارة الجيب كمثال من أجل توضيح خصائص الإشارات الدورية. نلاحظ أن الخصائص التالية تنطبق على التيار والجهد على حد سواء.



- (U_m, U_{max}) : **תנופת האות** - ارتفاع الموجة أو القيمة القصوى للجهد
- (U_{pp}) : القيمة من أعلى القمة الى أسفل القاع وتساوي ضعف قيمة ارتفاع لأن الموجة متماثلة بالنسبة للمحورين

$$U_{pp} = 2U_m$$

- (U_{eff}) : **ערך יעיל** - القيمة الفعالة، وهو الجهد الذي يتم الاستفادة منه فعلياً من الإشارة ويتم اشتقاق قيمته من معنى القيمة الفعالة وهي الجذر التربيعي لمربع متوسط القيم (RMS: Root Mean Square Value)

$$U_{eff} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$$

- (T) : **זמן המחזור** - الزمن الدوري للإشارة، وهي الفترة الزمنية اللازمة من أجل تكرار الإشارة. ويقاس بالثانية.
- (f) : **תדר** - تردد الإشارة، وهي عدد مرات تكرار الإشارة خلال ثانية واحدة. وهي مقلوب الزمن الدوري. وتقاس بوحدة الهيرتز [Hz].

$$f = \frac{1}{T}$$

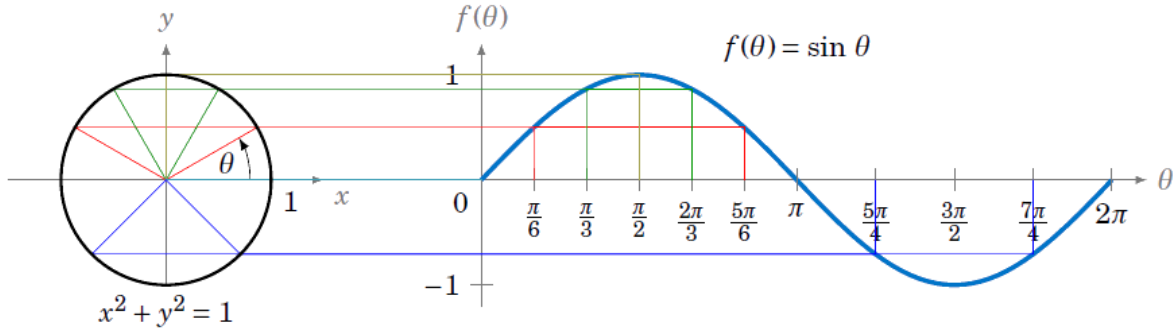
- (w): تدر زویتی - التردد الزاوي للإشارة، وهي عدد مرات دوران زاوية الإشارة خلال ثانية واحدة.

$$\omega = 2\pi f \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right]$$

دائرة الوحدة وإشارة الجيب:

بالإمكان قياس الزاوية بنظام الدرجات أو بالنظام الدوري. الدورة الواحدة تمثل 360 درجة. أما في النظام الدوري الذي ينطلق من دائرة الوحدة ذات نصف القطر الذي يساوي واحد، فإن الدورة تمثل (2π) .

يظهر في الرسم التالي العلاقة بين شكل الإشارة بالنسبة للزمن والتغيير الذي يطرأ على الزاوية.



الرسم الى اليمين يمثل التردد بالنسبة للزمن، أما الرسم الى اليسار فيمثل التردد بالنسبة للزاوية.

الشكل العام لمعادلة الجيب:

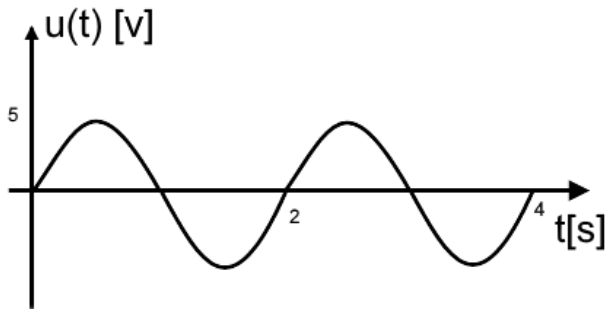
$$u(t) = U_m \sin(2\pi f t + \alpha)$$

(α): زاوية بدء الإشارة (الإزاحة على المحور الأفقي) وتسمى كذلك زاوية الطور.

أمثلة:

1. نوجد خصائص الإشارات التالية:

أ.



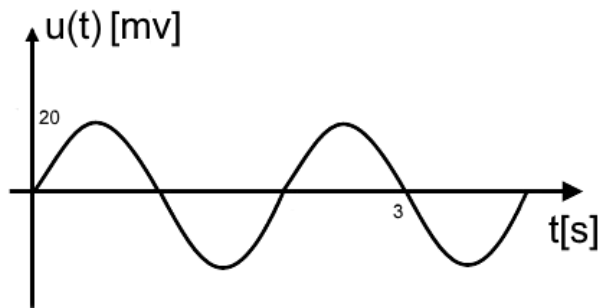
$$U_m = 5V, T = 2s$$

$$U_{\text{eff}} = \frac{5}{\sqrt{2}} = 3.54V, f = \frac{1}{2} = 0.5\text{Hz}$$

$$\omega = 2\pi \cdot 0.5 = \pi \text{ rad/s}$$

$$u(t) = 5\sin(\pi t)[V]$$

ب.



$$U_m = 20\text{mV}, T = 2s$$

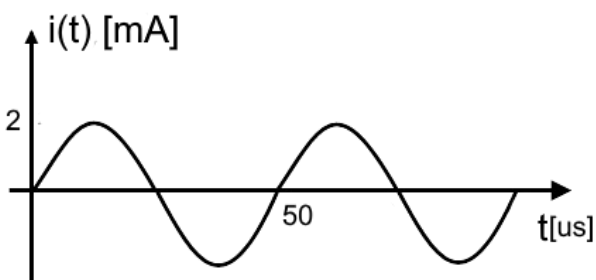
$$U_{\text{eff}} = \frac{20\text{m}}{\sqrt{2}} = 14.14\text{mV}$$

$$f = \frac{1}{2} = 0.5\text{Hz}$$

$$\omega = 2\pi \cdot 0.5 = \pi \text{ rad/s}$$

$$u(t) = 20\sin(\pi t)[\text{mV}]$$

ج.



$$I_m = 2\text{mA}, T = 50\mu\text{s}$$

$$I_{\text{eff}} = \frac{2\text{m}}{\sqrt{2}} = 1.41\text{mA}$$

$$f = \frac{1}{50\mu} = 20\text{kHz}$$

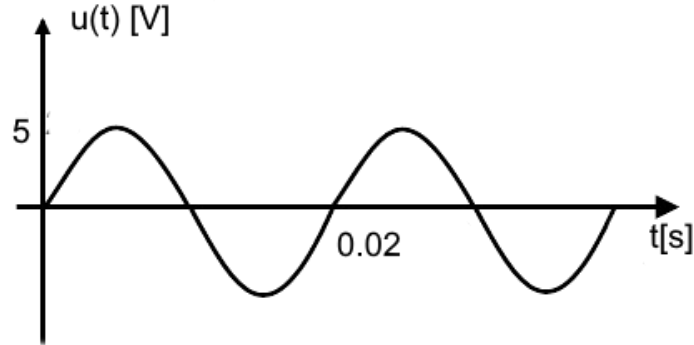
$$\omega = 2\pi \cdot 20\text{k} = 40\pi\text{k rad/s}$$

$$i(t) = 2\sin(40\pi kt)[\text{mA}]$$

2. نحدد خصائص الإشارة ونرسمها للمعادلات التالية:

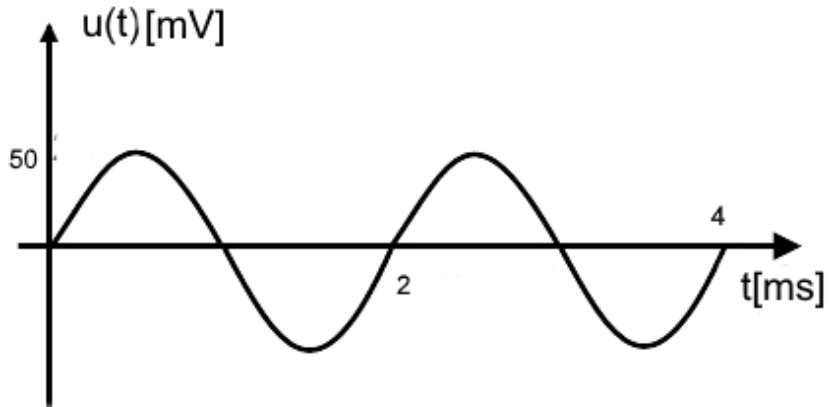
أ. $u(t) = 5 \sin(314t) [V]$

$$U_m = 5V, f = \frac{314}{2\pi} = 50\text{Hz}, T = \frac{1}{50} = 0.02s$$



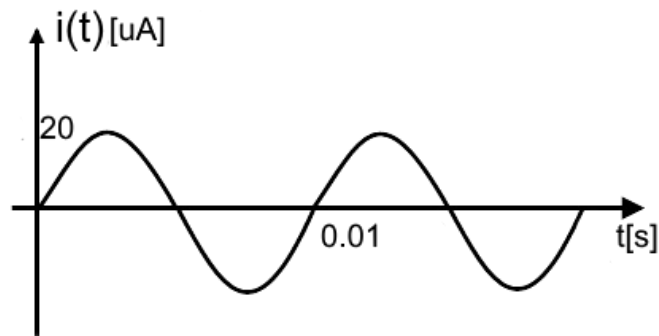
ب. $u(t) = 50 \sin(1000\pi t) [mV]$

$$U_m = 50mV, f = \frac{1000\pi}{2\pi} = 500\text{Hz}, T = \frac{1}{500} = 0.002 = 2ms$$



ج. $i(t) = 20 \sin(628t) [\mu A]$

$$I_m = 20\mu A, f = \frac{628}{2\pi} = 100\text{Hz}, T = \frac{1}{100} = 0.01s$$



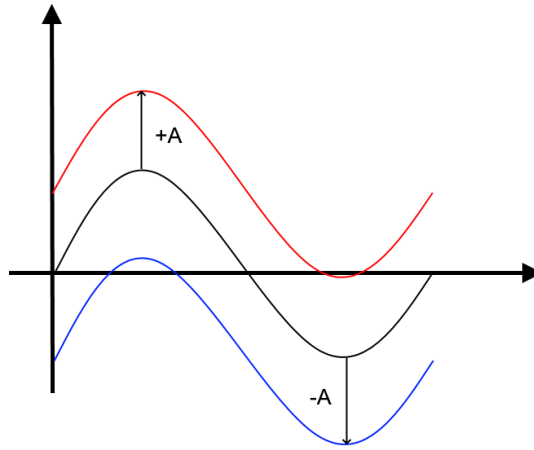
الإزاحة في إشارة الجيب

الإزاحة العمودية:

ولما كانت إشارة الجيب تمثل الجهد الكهربائي، فإن الجهد في بعض الدوائر الإلكترونية يكون مركبا من جهد ثابت يتم تمثيله برقم (A) وجهد متناوب يتم تمثيله بإشارة الجيب. مما يؤدي الى إزاحة على محور (y). وتصبح المعادلة كما يلي:

$$u(t) = U_m \sin(2\pi ft) + A$$

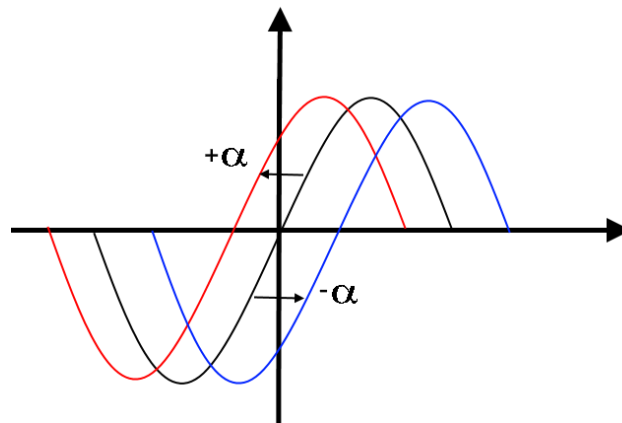
في حال كون الثابت (A) موجبا ترتفع الموجه عن المحور (x) الى الأعلى، أم إذا كان سالبا فتنخفض الموجه عن المحور (x) الى الأسفل. كما يظهر في الرسم التالي:



الإزاحة الأفقية:

نتيجة لوجود المكثف أو الملف في الدائرة الكهربائية، يحدث إزاحة على محور (x) وتتأخر أو تتقدم إشارة التيار عن إشارة الجهد. كما يظهر في المعادلة التالية:

$$u(t) = U_m \sin(2\pi ft + \alpha)$$

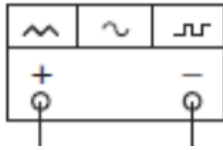


عملي – التيار المتناوب

تعريف: يكون التيار متناوباً/متردداً إذا تغير اتجاهه وقيمه بصورة دورية منتظمة مع الزمن، بحيث يمر في كل دورة في نفس التغيرات التي مر بها في الدورة السابقة. ويكون التيار المتناوب على شكل إشارة جيبية.

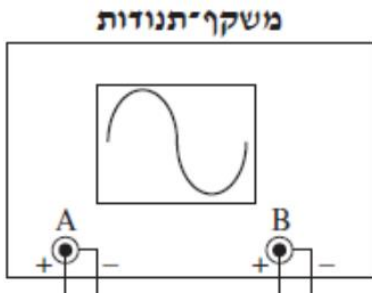
جهاز توليد التيار المتناوب في الدائرة الكهربائية:

מחולל אותות



مولد الإشارة-מחולל (signal generator): يتم استخدامه في المختبر لتوليد إشارة جهد متناوب ويتم توصيله بالدائرة على غرار مصدر الجهد.

جهاز قراءة ورسم التيار المتناوب في الدائرة الكهربائية:

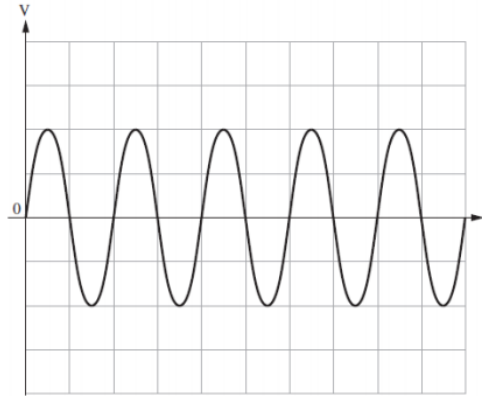


من أجل قراءة إشارة الجيب (الجهد) في الدائرة، نستخدم مسبار الإشارة \ الذبذبات -משקף (oscilloscope)، ونربطه مع الدائرة على غرار عداد الجهد على التوازي مع العناصر المراد قراءة فرق الجهد حولها.

ولقراءة البيانات من شاشة مسبار الإشارة، نضرب عدد المربعات بقيمة كل مربع.

- قيمة كل مربع على المحور (y) للجهد تُسمى (Volts/Div)
- قيمة كل مربع على المحور (x) للزمن تُسمى (Time/Div)

مثال: الصورة التالية تمثل شاشة مسبار الإشارة، والذي فيه: (Volts/Div=5v)،
(Time/Div=10ms)



نحسب:

أ. الزمن الدوري (T)، والقيمة العليا للجهد (U_m)

$$T = 2 \times 10 \text{ms} = 20 \text{ms}$$

$$U_m = 2 \times 5 \text{v} = 10 \text{v}$$

ب. التردد (f)، والجهد الفعال (U_{eff})

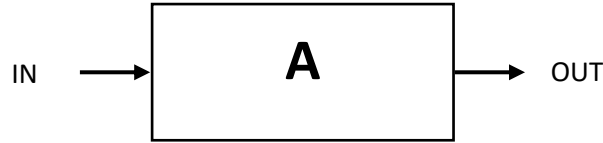
$$f = 1/T = 1/20 \text{m} = 50 \text{ Hz}$$

$$U_{\text{eff}} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = \frac{10}{\sqrt{2}} = 7.07 \text{v}$$

أما فيما يتعلق بعدد التيارات أو الجهد في دوائر التيار المتناوب، فإنه يربط كالمعتاد ويقاس التيار أو الجهد الفعال (Effective). وأي رقم يكون موجود في المعطيات يكون قيمة فعالة (Effective) ما لم يُذكر غير ذلك.

المُكَبِّر\المُضَخَم – مَغْبَر (Amplifier)

المُكَبِّر أو المضخم هو دائرة إلكترونية تقوم بتكبير إشارات المدخل، فنحصل عند المخرج على إشارة شبيهة بالإشارة الداخلة، ولكن بأضعاف قيمتها. يرمز للمكبر بمستطيل للتبسيط ويرمز لمعامل التكبير (الكسب) بالحرف (A) اختصاراً لكلمة تكبير بالإنجليزية (Amplification) وهي عبارة عن نسبة الإشارة الخارجة إلى الإشارة الداخلة كما يظهر فيما يلي:



$$A = \frac{OUT}{IN}$$

قد يكون التكبير للجهد أو التيار أو القدرة. ويصبح معامل التكبير لكل وحدة كما يلي:

$$A_v = \frac{V_o}{V_{in}}$$

$$A_i = \frac{I_o}{I_{in}}$$

$$A_p = \frac{P_o}{P_{in}}$$

بالإمكان الربط بين تكبير القدرة وتكبير كل من الجهد والتيار كما يلي:

$$A_p = \frac{P_o}{P_{in}} = \frac{I_o \cdot V_o}{I_{in} \cdot V_{in}} = \frac{V_o}{V_{in}} \cdot \frac{I_o}{I_{in}} = A_v \cdot A_i$$

والجدير بالملاحظة أن معامل التكبير لا يوجد لها وحدة لأنها نسبة بين قيمتين لها نفس الوحدة. ومن الضروري كذلك ملاحظة أن القيمتين يجب أن يكونوا من نفس النوع. فمثلاً نستخدم الجهد الفعال أو القيمة القصوى لكل من الإشارتين في نفس الوقت.

توالي المكبرات (Cascading)

في حالة توالي المكبرات بعد بعضها البعض فإن شدة التكبير الكلي تكون حاصل ضرب شدة تكبير كل مرحلة.

$$A = A_1 \cdot A_2$$

أسئلة:

1. نوجد معامل تكبير الجهد في حال كان الجهد الداخل 1 فولت والجهد الخارج 5 فولت.
 2. نوجد قيمة التيار الداخل في حال كان التيار الخارج 0.5 أمبير ومعامل التكبير 100.
 3. نوجد الجهد الداخل الفعال في حال كون التكبير 2 والقيمة القصوى للجهد الخارج 10 فولت.
- التكبير بوحدة الديسيبل (dB):

في كثير من التطبيقات يكون معامل التكبير عالياً، لذلك يتم ادخال عملية اللوغاريتم عليها وتصبح بوحدة الديسيبل كما يلي:

$$A_v(\text{dB}) = 20 \cdot \log(A_v)$$

$$A_i(\text{dB}) = 20 \cdot \log(A_i)$$

$$A_p(\text{dB}) = 10 \cdot \log(A_p)$$

للتحويل من وحدة الديسيبل الى نسبة بين قيمتين نستخدم المعادلة التالية (للتخلص من اللوغاريتم نرفع طرفي المعادلة للأساس 10).

$$A_v = 10^{\frac{A_v(\text{dB})}{20}}$$

وبالإمكان الربط بين تكبير القدرة بوحدة الديسيبل وتكبير كل من الجهد والتيار كما يلي:

$$A_p(\text{dB}) = 10 \cdot \log \frac{P_o}{P_{in}} = 10 \cdot \log \frac{I_o \cdot V_o}{I_{in} \cdot V_{in}} = 10 \cdot \log \frac{V_o}{V_{in}} \cdot \frac{I_o}{I_{in}}$$

تتوزع عملية اللوغاريتم على الضرب وتتحول الى عملية جمع:

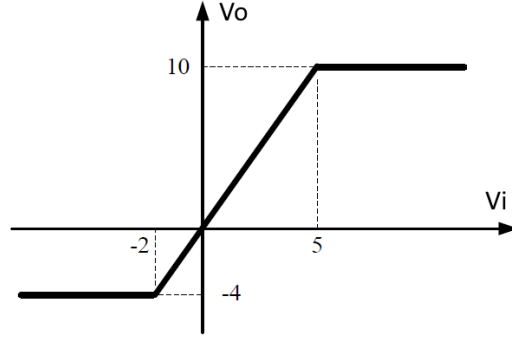
$$A_p(\text{dB}) = 10 \cdot \left(\log \frac{V_o}{V_{in}} + \log \frac{I_o}{I_{in}} \right)$$

$$A_p(\text{dB}) = \frac{A_v(\text{dB}) + A_i(\text{dB})}{2}$$

تمارين

1. نوجد معامل التكبير للجهد بوحدة الديسيبل في حال كان التكبير كنسبة يساوي 100
الإجابة: $A_v=40dB$
2. نوجد معامل التكبير للتيار كنسبة في حال كان التكبير بوحدة الديسيبل 40dB
الإجابة: $A_v=100$
3. مكبر صوت، يدخل به إشارة جهد جيبية ارتفاعها 20mV، وتيار ارتفاعه 20uA. الجهد الخارج ارتفاعه 2V ويتم تزويده لمقاومة قيمتها 2KΩ. نوجد:
أ. التيار الخارج من المكبر، وقيمة تكبير التيار
ب. تكبير الجهد
ج. المقاومة الداخلة للمكبر
الإجابات: أ. $A_i=50$, $I_{out}=1mA$, ب. $A_v=100$, ج. $R_{in}=1k\Omega$
4. مُعطى مكبر جهد، معامل تكبيره $A_v=-50$. مصادر الجهد للمكبر هي $\pm 10V$ مما يحدد اعلى قيمة ممكنة للجهد الخارج.
أ. ماذا يعني أن معامل التكبير سالب
ب. نوجد معامل تكبير الجهد بوحدة الديسيبل
ج. نربط مدخل المكبر بمصدر جهد متناوب ارتفاعه 0.3V وتردده 2KHz. نرسم الجهد الداخل وأسفل منه الجهد الخارج. خذ بعين الاعتبار القيم القصوى الممكنة.
الإجابات: ب. $A_v=34dB$, ج. $V_{out}=\pm 15V$ لكن يحدث اقتصاص عند $V_{out}=\pm 10V$
5. مكبر صوت يدخله جهد متناوب ارتفاعه 0.1 فولت وتردده 100 هيرتز. ارتفاع الجهد الخارج هو 8 فولت.
أ. نرسم الإشارة الداخلة بشكل دقيق ومناسب
ب. نحسب معامل تكبير المكبر
ج. نربط مع المكبر، جمل قيمته 200 أوم، نحسب القدرة المستهلكة من الجمل.
الإجابات: أ. $V_{in}(t)=0.1\sin(2\pi*100t)$, ب. $A_v=80$, ج. $P=0.32W$

6. في الرسم التالي، تظهر العلاقة بين الجهد الخارج والجهد الداخل



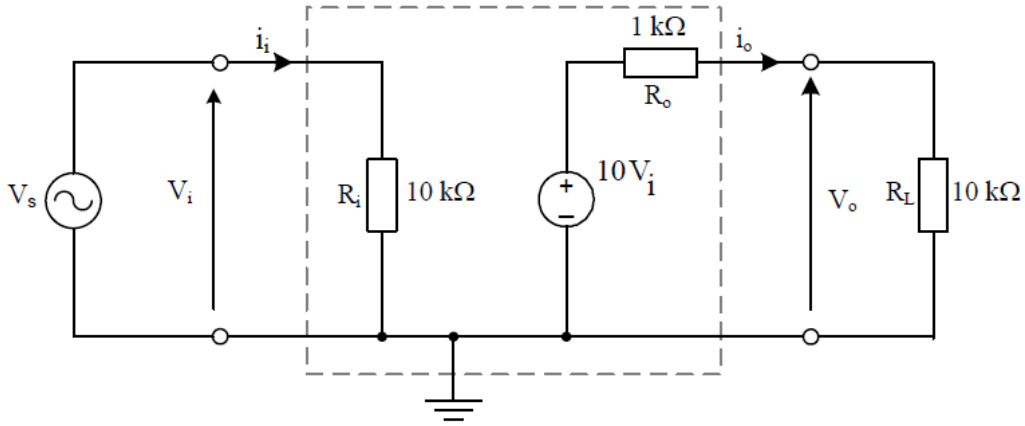
أ. ننسخ الرسم الى الدفتر، ونحدد منطقة التكبير الخطي، منطقة الإشباع الموجبة ومنطقة الإشباع السالبة.

ب. نزود الى مدخل المكبر، إشارة جيبية ارتفاعها 3 فولت. نرسم الجهد الداخل وأسفل منه الجهد الخارج من المكبر، بشكل دقيق.

ج. ما هو أعلى قيمة للجهد الداخل المسموحة من أجل عدم حصول اقتصاص في الإشارة الخارجة (لا يصل الجهد الخارج الى أعلى قيمة ممكنة).

الإجابات: ب. $V_{i, max} = 2V$ ، ج. $V_i = 3\sin(\omega t)$ ، $V_{o, max} = 10V$ ، $V_{o, min} = -4V$.

7. في الرسم التالي، تظهر الدائرة المكافئة لمكبر مرتبط مع مصدر للجهد وحمل.



أ. نحسب معامل التكبير $A_v = \frac{V_o}{V_i}$

ب. إذا كان جهد المصدر $V_s = 0.1V$ ، نحسب التيار في مقاومة الحمل.

ج. إذا قمنا بتكبير المقاومة الداخلية للمكبر R_i ، هل تزداد أم تقل معامل التكبير؟ فسر إجابتك

الإجابات: أ. $A_v = 9.09$ ، ب. $i_o = 90.9 \mu A$ ، ج. معامل التكبير لا يتغير، لأنه معادلته لا تعتمد على R_i

مغبر شرت - مكبر العمليات (Operational Amplifier)

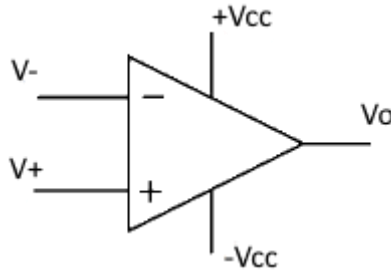
مكبر العمليات\المُضخم التشغيلي عبارة عن دائرة متكاملة (Integrated Circuit) تستخدم في الأجهزة الإلكترونية في مجالات التحكم والاتصالات والحواسيب ومولدات الإشارة وغيرها. ويُسمى مكبر العمليات لأنه صُمم في البداية للقيام بالعمليات الحسابية من جمع وطرح وضرب وقسمة وغيرها. وهو دائرة متكاملة مكونة من العديد من القطع الإلكترونية من ترانزستورات ومقاومات ومكثفات مدمجة في شريحة واحدة.

رمز مكبر العمليات في الدوائر الكهربائية:

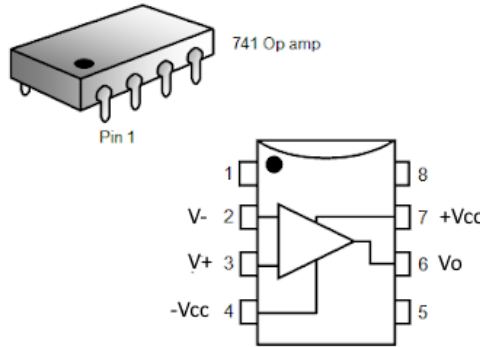
لدى مكبر العمليات مخرج\خَرَج وحيد (V_o)، ومدخلان\دخَلان العاكس (V_-) وغير العاكس (V_+). في حالة إدخال جهد إلى المدخل العاكس فإن إشارته\قطبيته تنعكس عند المخرج ولا تنعكس عند غير العاكس. ويُعرف جهد الدخل بفرق الجهد بين مدخلي المكبر.

$$V_{in} = V_+ - V_-$$

لتشغيل المكبر نحتاج إلى مصدر قادر على إعطاء جهد موجب ($+V_{CC}$) وسالب ($-V_{CC}$) كما يظهر في الشكل التالي:



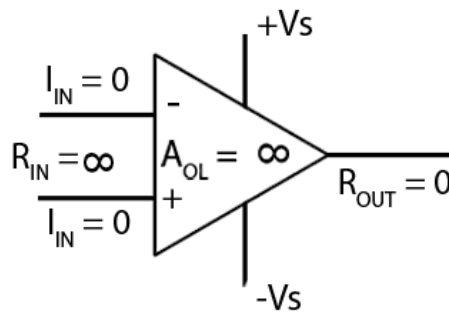
من أشهر مكبرات العمليات ما يرمز له بالأرقام 741 ويتوفر على شكل شريحة كما يظهر في الشكل التالي:



خصائص مكبر العمليات

فيما يلي بعض من الخصائص الأساسية لمكبر العمليات، مع ملاحظة أن هذه الخصائص مثالية وتم افتراضها من أجل تسهيل تحليل دوائر مكبر العمليات وأن القيم العملية مختلفة.

- مقاومة الدخّل كبيرة جدا ($R_{in} \rightarrow \infty$): مما يجعل التيار الداخل يساوي صفرا تقريبا ($I_+ = I_- = 0$)، ويعني أن المكبر لن يؤثر على مصدر الإشارة أو الدائرة التي تسبقه.
- مقاومة الخرج صغيرة جدا ($R_{out} \rightarrow 0$): مما يعني أن المكبر لن يؤثر على الدائرة التي تليه.
- معامل التكبير للمكبر عالي جدا ($A \rightarrow \infty$): مما يعني أن أي جهد موجب على الدخل يؤدي إلى أن يكون جهد الخرج أعلى قيمة ($+V_{cc}$) وأن أي جهد سالب على الدخل ينتج أقل قيمة ($-V_{cc}$).
- مدى الترددات للمكبر عالي جدا (BW): مما يعني أن المكبر يقوم بتكبير الجهد الثابت بنفس المقدار



التغذية (الراجعة \ الخلفية \ المرتدة)

في حال كون دائرة المكبر مفتوحة تكون معامل التكبير عالية جدا ولا يمكن التحكم بقيمتها. لذلك يتم ربط المخرج مع أحد المدخلين بسلك أو بمقاومة من أجل تقليل معامل التكبير وإتاحة إمكانية التحكم بها. يسمى هذا الربط بالتغذية الراجعة - **משוב (Feedback)**.

هناك نوعان من التغذية الراجعة: تغذية موجبة ويُربط المخرج مع الدخل الموجب وتؤدي الى زيادة قيمة الجهد الداخل مما يؤدي الى عدم استقرار جهد الدخل وتستخدم عادة في دوائر توليد الإشارة. أما التغذية السلبية فيُربط المخرج فيها مع جهد الدخل السالب وتستخدم في دوائر تكبير الإشارة. نلاحظ أنه عند وجود تغذية راجعة سلبية فإن كل من الجهد الداخل السالب والموجب يتساويان.

$$V_- = V_+$$

أسئلة:

1. في الدائرة سلسلة - **שרשרת (Cascading)** من مكبرين. معطيات المكبرين كما يلي:

$$R_{i1} = \infty$$

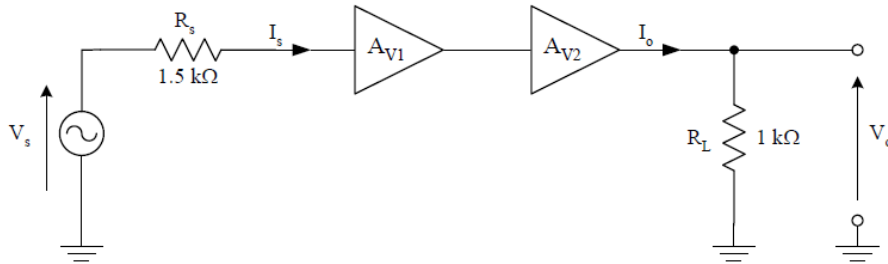
$$R_{o1} = 0$$

$$A_{v1} = 20\text{dB}$$

$$R_{i2} = \infty$$

$$R_{o2} = 0$$

$$A_{v2} = 40$$



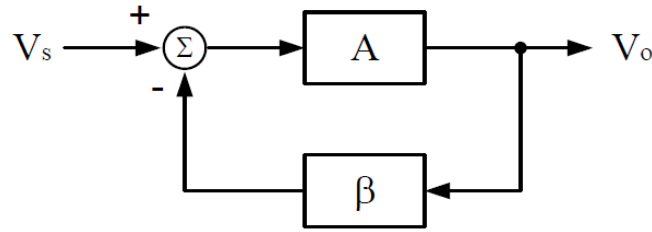
أ. نحسب تكبير المكبر لأول كنسبة بين جهدين

ب. نحسب التكبير الكلي للدائرة (ملاحظة: $A = A_1 * A_2$)

ج. نحسب التيار الخارج I_o ، إذا كان جهد المصدر $V_s = 20\text{mV}$

الإجابات: أ. $A_{v1} = 10$ ، ب. $A_v = 400$ ، ج. $I_o = 8\text{mA}$

2. في الصورة التالية، رسم مربعات لنظام يشمل تغذية راجعة سلبية.



أ. فسر ماذا يعني: تغذية راجعة سلبية

ب. نكتب الدالة لمعامل التكبير

ج. نحسب معامل التكبير، إذا علمت أن $A=50$ ، $B=0.1$

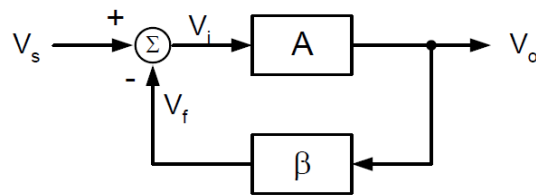
الإجابات:

أ. تغذية راجعة سلبية تعني أن جزءًا من إشارة الخرج V_o يُعاد إلى دخل المكبر بعد ضربه بمعامل β ، ثم يُطرح من إشارة المصدر V_s .
أي أن الإشارة الداخلة للمكبر تصبح أصغر، وهذا يقلل التكبير لكنه يحسن الاستقرار ويقلل التشويه.

ب. $A_f = \frac{V_o}{V_s} = \frac{A}{1 + A\beta}$ ج. $A_f=8.33$

3. مُعطى مكبر مع تغذية راجعة كما يظهر في الصورة. إذا كانت البيانات كما يلي: $A=1000$

$B=0.1$, $V_s=1V$



أ. نحسب معامل التكبير للمكبر مع التغذية الراجعة (حוג סגור)

ب. نحسب قيمة التغذية الراجعة (β) بوحدّة الديسيبل

ج. نحسب الجهد الخارج وجهد التغذية الراجعة (V_f)

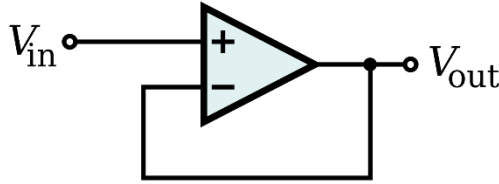
د. تم تكبير معامل التكبير (A) بمقدار 10 مرات، نحسب كم يكبر أو يصغر التكبير الكلي للدائرة

الإجابات: أ. $A_f=9.9$ ، ب. $B=-20dB$ ، ج. $V_o=9.9V$ ، $V_f=0.99V$ ، د. $A_{fnew}=9.99$ ، Increase by 0.9%

تطبيقات مكبر العمليات

مكبر الوحدة \ العازل \ تابع الجهد – V_{in} (Buffer, Voltage Follower)

ويتم فيه ربط جهد المخرج مباشرة عن طريق سلك الى المدخل السالب. ويُستخدم للفصل بين مراحل الدوائر الإلكترونية المختلفة.



وفيه يكون الجهد الخارج مساوي للجهد الداخل كما يظهر في المعادلات التالية:

$$V_{out} = V_{-}$$

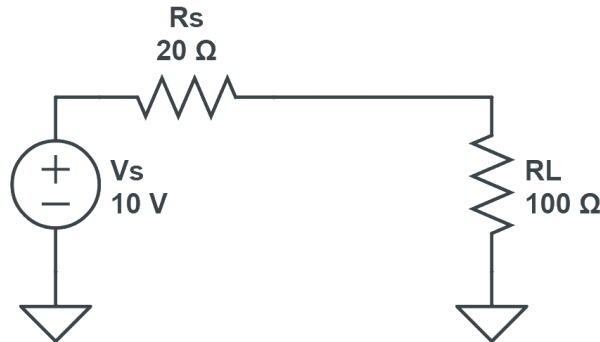
$$V_{in} = V_{+}$$

وبما أن الجهد السالب والجهد الموجب متساويان، فإن الجهد الخارج يُصبح مساويا للجهد الداخل.

$$V_{out} = V_{in}$$

مثال: في الدائرة التالية مصدر جهد قيمته ($V_s = 10V$) وقيمة مقاومته الداخلية ($R_s = 20\Omega$). نوجد قيمة الجهد الذي يصل الى الحمل (R_L) في حالة وجود العازل وعدمه.

أ. لا يوجد عازل. نربط الحمل مباشرة الى المصدر.

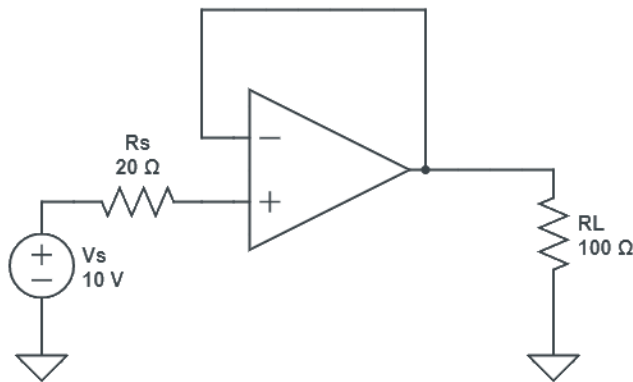


نطبق قانون مجزئ/تقسيم الجهد:

$$V_{R_L} = \frac{R_L \cdot V_s}{R_L + R_s} = \frac{100 \cdot 10}{100 + 20} = 8.33v$$

نلاحظ ضياع جزء من الجهد على المقاومة الداخلية للمصدر

ب. في حال وجود عازل.



بما أن التيار الداخل على المكبر يساوي صفراً، فإن جهد مقاومة المصدر يساوي صفر. وجهد المدخل الموجب يساوي جهد المصدر:

$$V_+ = V_s$$

وبسبب التغذية الراجعة فإن جهد الحمل يساوي جهد المدخل السالب:

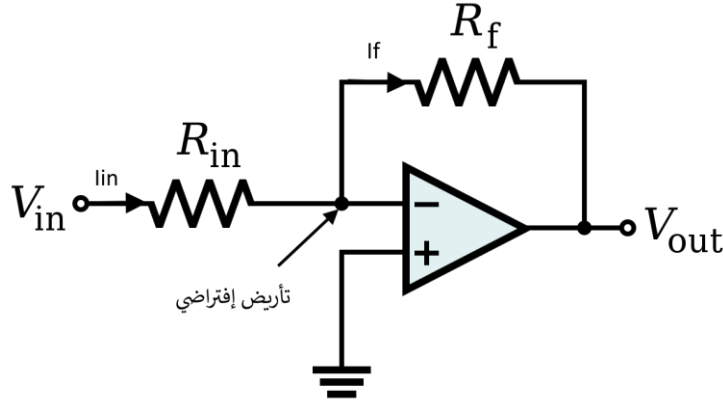
$$V_{R_L} = V_-$$

وبما أن جهد المدخلين متساوي بسبب التغذية الراجعة، فإن جهد الحمل يساوي جهد المصدر، ولا يوجد ضياع للجهد.

$$V_{R_L} = V_s = 10v$$

المكبر عاكس الإشارة - الحوفر موفر (Inverting Amplifier)

يكون الجهد الداخل الى المدخل السالب (-) عن طريق مقاومة، أما المدخل الموجب (+) فيرتبط بالأرضية.



في تحليل دوائر مكبر العمليات التي تحتوي على تغذية راجعة سلبية، نعتد على تساوي قيمة جهد المدخل السالب وجهد المدخل الموجب ($V_+ = V_-$). وفي حالة المكبر عاكس الإشارة تكون قيمة الجهد صفراً.

كما ونفترض أن مكبر العمليات مثالي وفيه التيار الداخل لكل من المدخل السالب والموجب يكون صفراً $(I_+ = I_- = 0)$.

وبتطبيق قانون كيرخوف للتيار عن نقطة التغذية الراجعة يكون:

$$I_{in} = I_f$$

نكتب التيارات بدلالة الجهد والمقاومة بالاعتماد على قانون أوم (التيار المار في المقاومة = فرق الجهد حولها / مقاومة).

$$\frac{V_{in}}{R_{in}} = \frac{0 - V_o}{R_f}$$

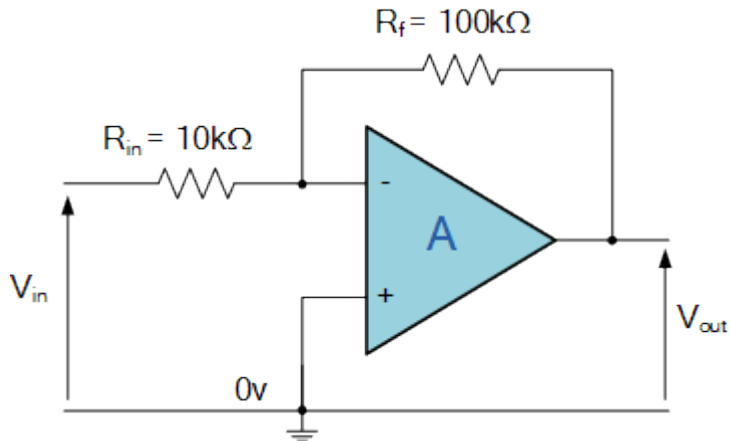
نحلل من أجل إيجاد قيمة الجهد الخارج لتصبح المعادلة:

$$V_o = \frac{-R_f}{R_{in}} \cdot V_{in}$$

وبذا يكون معامل التكبير:

$$A = \frac{-R_f}{R_{in}}$$

مثال: في الدائرة التالية مكبر عمليات مثالي، إذا علمت ان الجهد الداخل قيمته 2 فولت، نوجد:



أ. الجهد الخارج

ب. قيمة التيار في كل مقاومة، ونحدد اتجاهه

ج. نبدل الجهد الداخل بجهد متناوب ارتفاعه 1 فولت، نرسم الجهد الداخل وأسفل منه الجهد الخارج بشكل دقيق.

الحل:

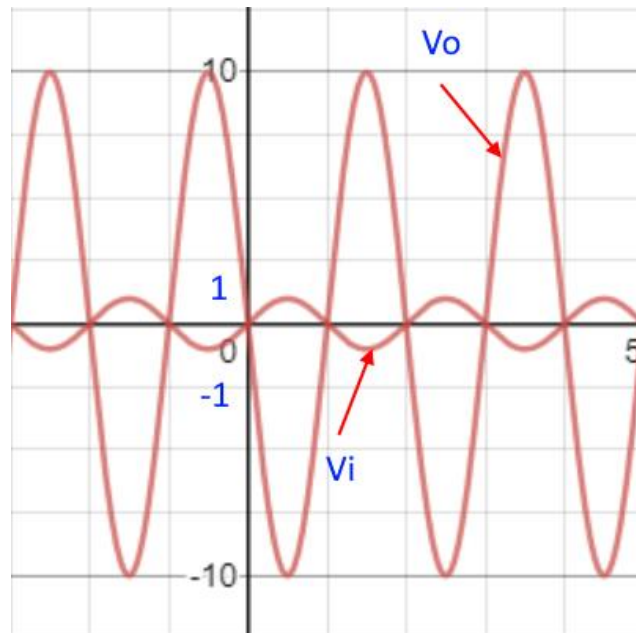
$$V_o = A \cdot V_{in} = \left(\frac{-R_f}{R_{in}} \right) \cdot V_{in} = \left(\frac{-100k}{10k} \right) \cdot 2 = -20v \quad \text{أ.}$$

ب. اتجاه التيار ان الى اليمين مع عقارب الساعة.

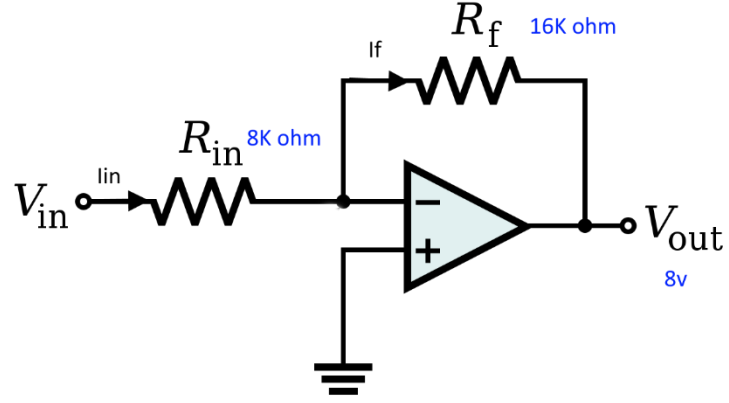
$$I_{in} = \frac{V_{in}}{R_{in}} = \frac{2}{10k} = 0.2mA$$

$$I_f = \frac{0 - -20}{100k} = 0.2mA$$

$$V_{in} = \sin(\omega t), V_o = A \cdot V_{in} = -10 \sin(\omega t) \quad \text{ج.}$$



سؤال: في الدائرة التالية مكبر عمليات مثالي، نوجد:



أ. الجهد الداخل ونحدد قطبيته

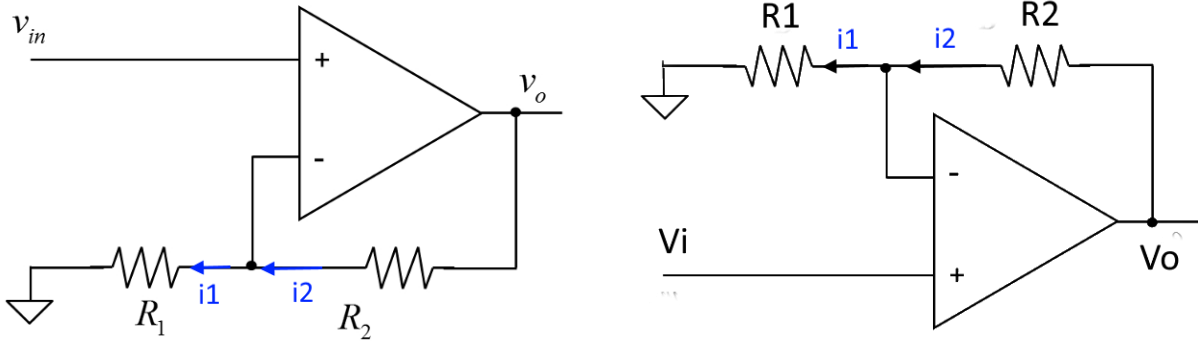
ب. قيمة التيار في كل مقاومة، ونحدد اتجاهه

ج. نبدل الجهد الداخل بجهد متناوب ارتفاعه 0.5 فولت، نرسم الجهد الداخل وأسفل منه الجهد الخارج بشكل دقيق.

الإجابات: أ. $V_{in} = 04V$ ، ب. $I_{in} = I_f = 0.5mA$

المكبر المحافظ على الإشارة - شومر مופع (Noninverting Amplifier)

جهد المصدر يدخل في المدخل الموجب (+)، أما المدخل السالب (-) فيرتبط بالأرضية عن طريق مقاومة. وبالإمكان رسم دائرة المكبر المحافظ على الإشارة بطريقتين.



في تحليل دوائر مكبر العمليات التي تحتوي على تغذية راجعة سلبية، نعتمد على تساوي قيمة جهد المدخل السالب وجهد المدخل الموجب ($V_+ = V_-$). كما ونفترض أن مكبر العمليات مثالي وفيه التيار الداخل لكل من المدخل السالب والموجب يكون صفراً ($I_+ = I_- = 0$).

وبتطبيق قانون كيرخوف للتيار عن نقطة التغذية الراجعة يكون:

$$I_1 = I_2$$

نكتب التيارات بدلالة الجهد والمقاومة بالاعتماد على قانون أوم (التيار المار في المقاومة = فرق الجهد حولها / المقاومة).

$$\frac{V_{in}}{R_1} = \frac{V_o - V_{in}}{R_2} = \frac{V_o}{R_2} - \frac{V_{in}}{R_2}$$

نحلل من أجل إيجاد قيمة الجهد الخارج لتصبح المعادلة:

$$\begin{aligned} \frac{V_{in}}{R_1} + \frac{V_{in}}{R_2} &= \frac{V_o}{R_2} \\ R_2 \cdot \left(\frac{V_{in}}{R_1} + \frac{V_{in}}{R_2} \right) &= V_o \\ V_{in} \cdot \left(\frac{R_2}{R_1} + 1 \right) &= V_o \end{aligned}$$

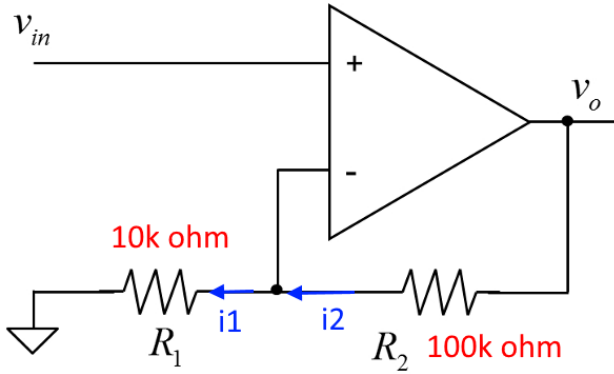
ويصبح الشكل النهائي:

$$V_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot V_{in}$$

وبذا يكون معامل التكبير:

$$A = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

مثال: في الدائرة التالية مكبر عمليات مثالي، إذا علمت ان الجهد الداخل قيمته 2 فولت، نوجد:



- الجهد الخارج
- قيمة التيار في كل مقاومة، ونحدد اتجاهه
- نبدل الجهد الداخل بجهد متناوب ارتفاعه 1 فولت، نرسم الجهد الداخل وأسفل منه الجهد الخارج بشكل دقيق.

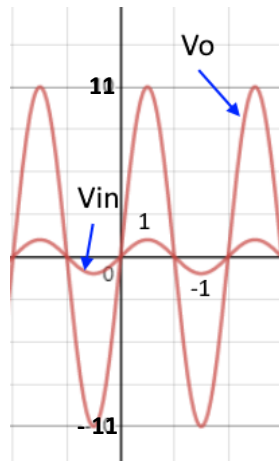
الحل:

$$V_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot V_{in} = \left(1 + \frac{100k}{10k}\right) \cdot 2 = 22V \quad \text{أ.}$$

ب. اتجاه التياران الى اليسار بعكس عقارب الساعة.

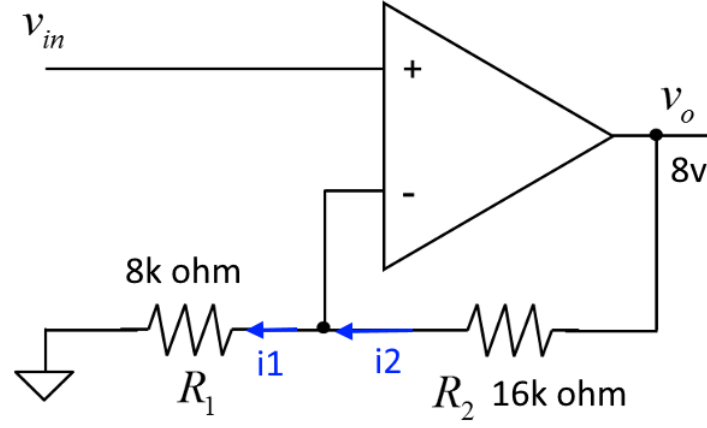
$$I_1 = \frac{V_{in}}{R_1} = \frac{2}{10k} = 0.2mA$$

$$I_2 = \frac{V_o - V_{in}}{R_2} = \frac{22 - 2}{100k} = 0.2mA$$



ج.

سؤال: في الدائرة التالية مكبر عمليات مثالي، نوجد:



أ. الجهد الداخل ونحدد قطبيته

ب. قيمة التيار في كل مقاومة، ونحدد اتجاهه

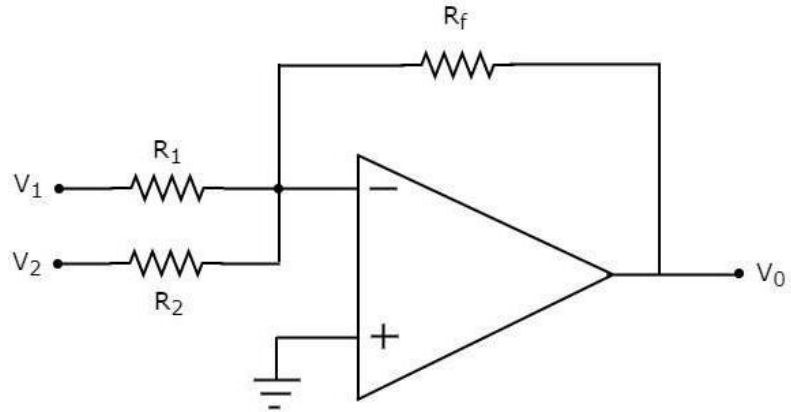
ج. نبذل الجهد الداخل بجهد متناوب ارتفاعه 0.5 فولت، نرسم الجهد الداخل وأسفل منه الجهد الخارج بشكل دقيق.

الإجابات: أ. $V_{in}=2.67\text{V}$ ، ب. $I_1=I_2=0.333\text{mA}$

الجامع السليبي - מסכם שלילי (Inverting Summer)

في حال ربط أكثر من مصدر للجهد الى مدخل المكبر في دائرة المكبر العاكس للإشارة، يكون الناتج حاصل جمع كل قيمة من مصادر الجهد مضروباً في نسبة مقاومة التغذية الراجعة الى مقاومة مصدر الجهد مع الإشارة السالبة كما يظهر في المعادلة التالية:

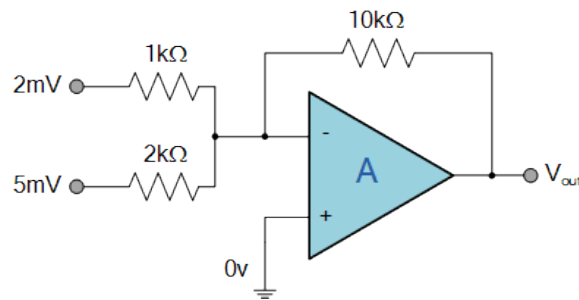
$$V_o = -R_f \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} \right)$$



وبالإمكان تعميم المعادلة لأي عدد من مصادر الجهد.

نشاط: نُثبت معادلة الجامع السليبي في حالة وجود مدخلين فقط، باستخدام قانون أوم وقانون كيرخوف للتيار.

مثال: نوجد الجهد الخارج في الدائرة التالية:

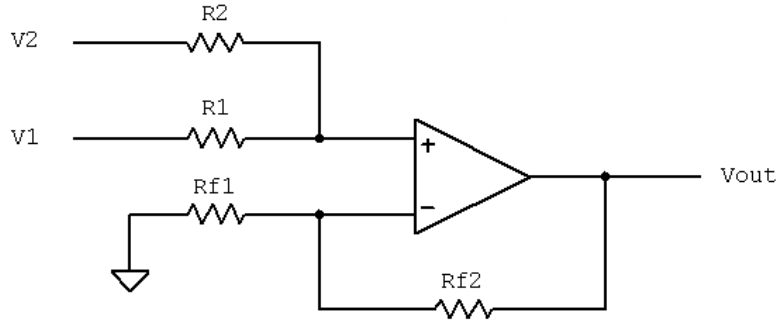


الحل:

$$V_o = -R_f \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} \right) = -10k \left(\frac{2m}{1k} + \frac{5m}{2k} \right) = -45mV$$

الجامع الإيجابي - מסכם חיובי (Noninverting Summing Amplifier)

في حال ربط أكثر من مصدر للجهد الى مدخل المكبر في دائرة المكبر العاكس للإشارة، يكون الناتج حاصل جمع كل قيمة من مصادر الجهد كما يظهر في المعادلة التالية:



$$V_o = \left(1 + \frac{R_{f2}}{R_{f1}}\right) \cdot V_+ = \left(1 + \frac{R_{f2}}{R_{f1}}\right) \cdot \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_1 + \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot V_2\right)$$

نشاط: نُثبت معادلة الجامع السلبي في حالة وجود مدخلين فقط، باستخدام قانون أوم وقانون كيرخوف للتيار.

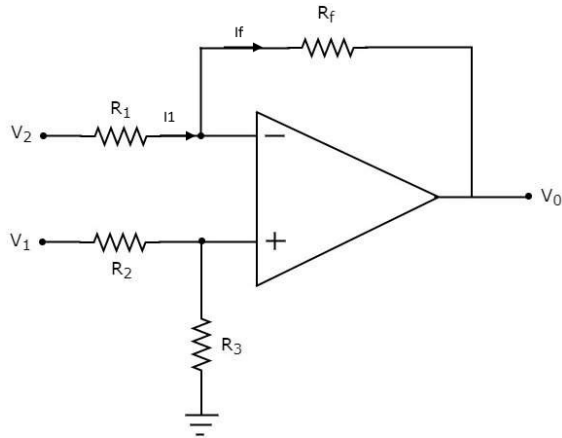
ملاحظة: نبدأ الإثبات بمعادلة كيرخوف للتيار عند المدخل الموجب:

$$I_1 + I_2 = 0$$

نكتب التيارات بدلالة الجهود والمقاومات:

$$\frac{V_1 - V_+}{R_1} + \frac{V_2 - V_+}{R_2} = 0$$

الطراح - מחסיר (Subtractor)



لمكبر العمليات المثالي:

$$I_+ = I_- = 0$$

$$V_+ = V_-$$

لإيجاد الجهد الموجب نستخدم علاقة تقسيم الجهد:

$$V_+ = \frac{R_3}{R_3 + R_2} \cdot V_1$$

نطبق قانون كيرخوف للتيار عند نقطة التغذية الراجعة:

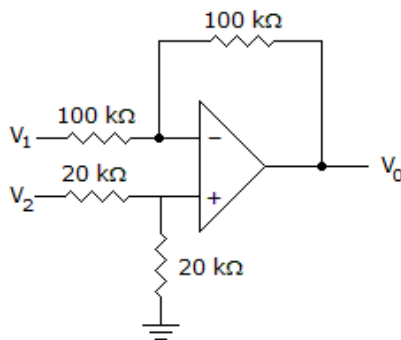
$$I_1 = I_f$$

$$\frac{V_2 - V_+}{R_1} = \frac{V_+ - V_0}{R_f}$$

نعوض بدلالة الجهد الموجب، ونحل من أجل إيجاد جهد المخرج لتصبح المعادلة:

$$V_0 = V_1 \left(\frac{(R_f + R_1)R_3}{(R_3 + R_2)R_1} \right) - V_2 \left(\frac{R_f}{R_1} \right)$$

مثال: نوجد الجهد الخارج في الدائرة التالية ($V_1 = -V_2 = 1 \text{ V}$):



الحل: نلاحظ تبديل تسمية الجهود (V_1) و (V_2). فتصبح معادلة

الطراح كما يلي:

$$V_0 = V_2 \left(\frac{(R_f + R_1)R_3}{(R_3 + R_2)R_1} \right) - V_1 \left(\frac{R_f}{R_1} \right)$$

$$V_0 = -1 \cdot \left(\frac{(100\text{k} + 100\text{k}) \cdot 20\text{k}}{(20\text{k} + 20\text{k}) \cdot 100\text{k}} \right) - 1 \cdot \left(\frac{100\text{k}}{100\text{k}} \right)$$

$$V_0 = - \left(\frac{200\text{k} \cdot 20\text{k}}{40\text{k} \cdot 100\text{k}} \right) - 1 = -2\text{v}$$

طريقة التجميع/التراكب (Superposition) في تحليل دوائر مكبر العمليات

هي طريقة اضافية لتحليل دوائر مكبر العمليات في حال وجود اكثر من جهد دخل للدائرة.

نحسب تأثير كل مصدر دخل وحده على الخرج، ثم نجمع التأثيرات للحصول على الخرج النهائي.

تُستخدم كثيرًا عندما يكون لدينا أكثر من دخل مثل:

$$V_1, V_2, V_3$$

والدائرة خطية، مثل مكبر عمليات مثالي مع مقاومات.

الفكرة الأساسية

إذا كان الخرج يعتمد على أكثر من مصدر:

$$V_o = f(V_1, V_2, V_3)$$

نحسب:

$$\text{فقط } V_1 \text{ بسبب } V_{o1}$$

ثم:

$$\text{فقط } V_2 \text{ بسبب } V_{o2}$$

ثم:

$$\text{فقط } V_3 \text{ بسبب } V_{o3}$$

وفي النهاية:

$$V_o = V_{o1} + V_{o2} + V_{o3}$$

كيف نعطل المصادر الأخرى؟

عندما نريد حساب تأثير مصدر واحد فقط:

- مصدر الجهد غير المستخدم نعوضه بقصر، أي:

$$V = 0$$

يعني نربطه بالأرضي.

مثلاً إذا نحسب تأثير V_1 فقط:

$$V_2 = 0, \quad V_3 = 0$$

أي نربط V_2 و V_3 بالأرضي.

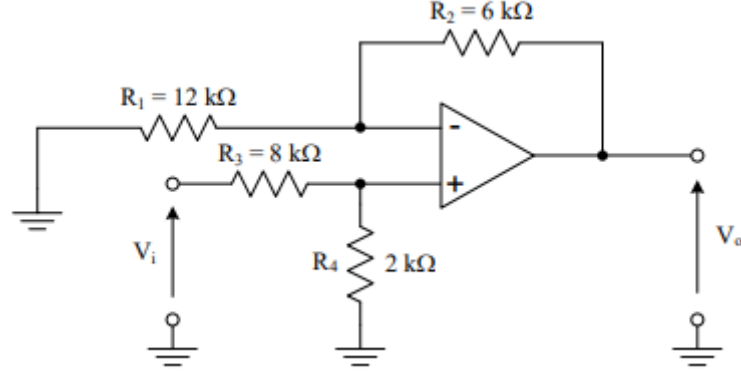
خطوات الحل في دوائر مكبر العمليات

1. نحدد نوع الدائرة
2. نحسب تأثير كل دخل لوحده
3. نجمع النتائج

بالإمكان تجربة هذه الطريقة في الأمثلة السابقة ومقارنة النتائج.

تمارين حول مكبر العمليات مع تغذية راجعة سلبية

1. في الدائرة التالية مكبر عمليات مثالي، فيه $V_i=6V$



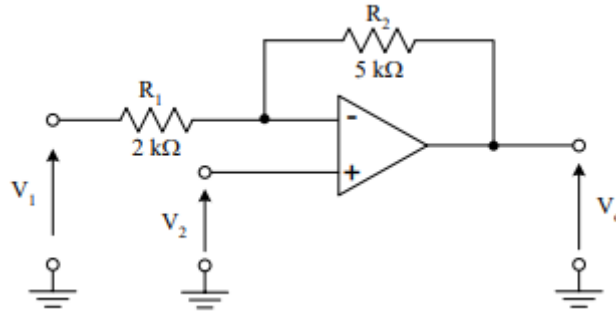
أ. نحسب الجهد الخارج

ب. نحسب التيار المار في المقاومة R_1

ج. بحسب استنتاجك، هل هذا المكبر عاكس للإشارة أم يحافظ على الإشارة؟ فسر

الإجابات: أ. $V_o=1.8v$ ، ب. $I_{R1}=0.1mA$

2. في الدائرة التالية مكبر عمليات مثالي، مُعطى $V_1=3V$ ، $V_2=2V$



أ. نحسب الجهد الخارج V_o

ب. نحسب التيار المار في المقاومة R_1 ، ونحدد اتجاهه

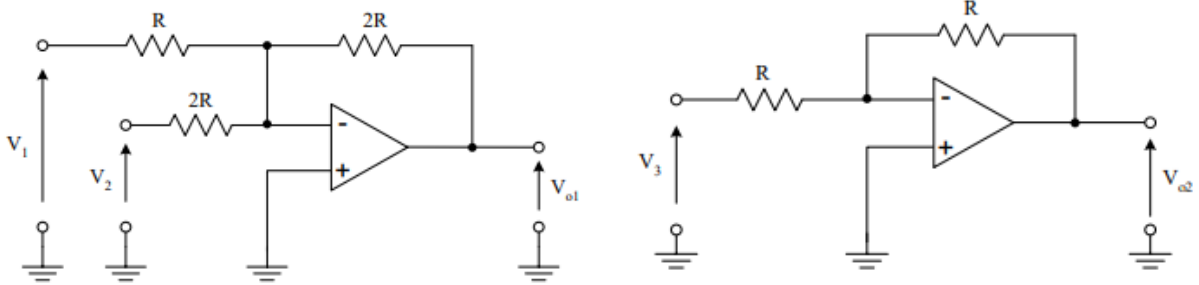
ج. ما هو عمل الدائرة

الإجابات: أ. $V_o=-0.5v$ ، ب. $I_{R1}=0.5mA$

3. في الدائرتين التاليتين مكبري عمليات مثاليين، مُعطى $V_1=2V$, $V_2=3V$

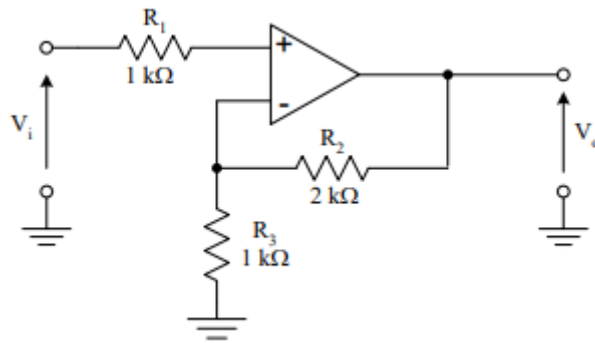
أ. نحسب الجهد الخارج من الدائرة الأولى V_{o1}

ب. في حال ربطنا مدخل الدائرة الثانية الى مخرج الدائرة الأولى، نوجد الجهد V_{o2}



الإجابات: أ. $V_{o1}=-7v$ ، ب. $V_{o2}=7v$

4. في الدائرة التالية مكبر عمليات مثالي



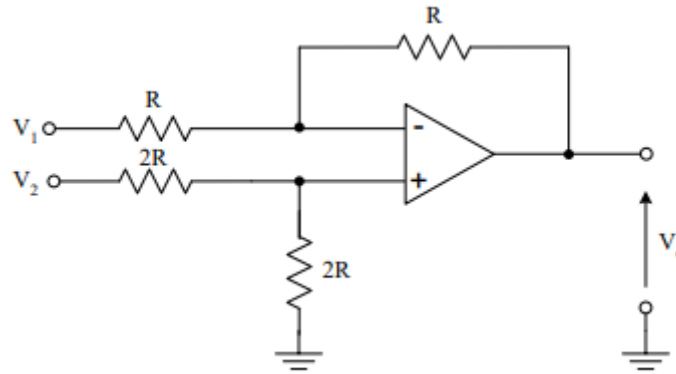
أ. إذا كان الجهد الخارج $V_o=6v$ ، نحسب الجهد الداخل V_i

ب. إذا تم تبديل الجهد الداخل بمصدر جهد متناوب ارتفاعه $0.3v$ وتردده $5kHz$ ، نرسم الجهد

الداخل وأسفل منه الجهد الخارج مع تحديد القيم على المحورين بدقة

الإجابات: أ. $V_i=2v$

5. في الدائرة التالية مكبر عمليات مثالي، فيه $R=5k\Omega$



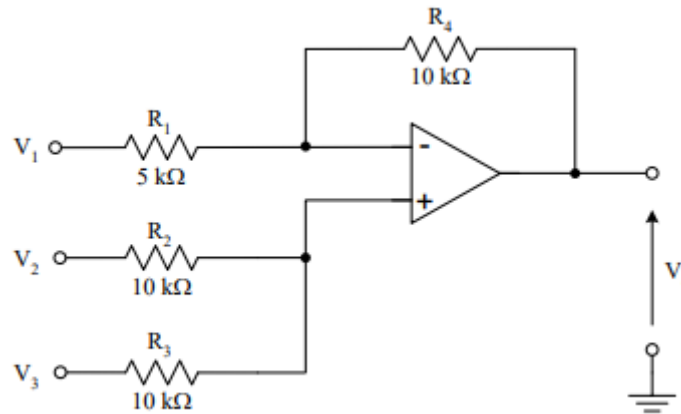
أ. نحسب الجهد الخارج بدلالة V_1 و V_2

ب. ما هو عمل الدائرة التالية؟

ج. مُعطى أن $V_1=3v$ و $V_0=1v$ ، نحسب قيمة الجهد ونحدد قطبيته

الإجابات: أ. $V_0=V_2-V_1$ ، ب. مكبر فرق الجهدين الداخلين/طرح ، ج. $V_2=4v$

6. في الدائرة التالية مكبر عمليات مثالي



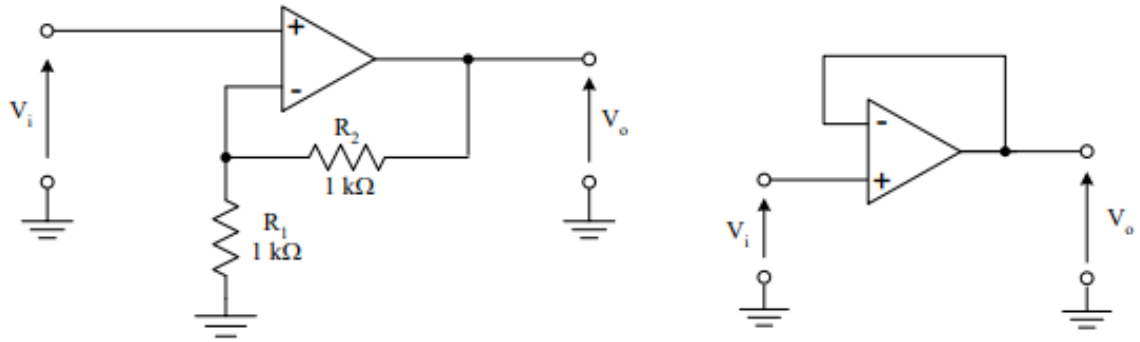
أ. إذا كان $V_2=V_3=0v$ ، نوجد الجهد الخارج بدلالة V_1

ب. إذا كان $V_1=V_3=0v$ ، نوجد الجهد الخارج بدلالة V_2

ج. نحسب الجهد الخارج في حال $V_1=1v$, $V_2=3v$, $V_3=0v$

الإجابات: أ. $V_0=-2V_1$ ، ب. $V_0 = \frac{3V_2}{2}$ ، ج. $V_0=2.5v$

7. في الدائرتين التاليتين مكبري عمليات مثاليين، جهود المصدر لمكبري العمليات هي ± 15

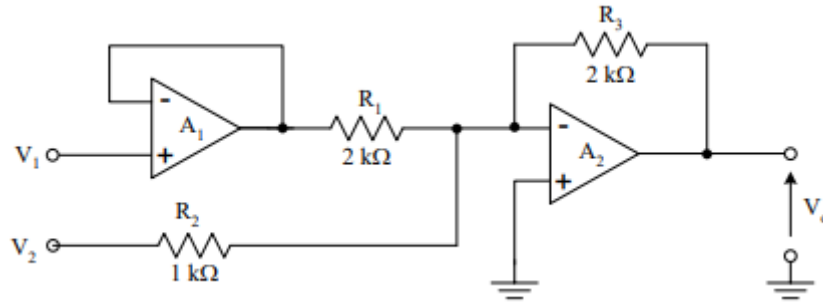


أ. نكتب وظيفة كل دائرة

ب. نزود كل دائرة بجهد متناوب ارتفاعه 2v وتردده 1KHz. نرسم الجهد الداخل وأسفل منه الجهد الخارج لكل دائرة

الإجابات: أ. اليمين: مكبر وحدة/تابع جهد/عازل، اليسار: مكبر محافظ على الإشارة

8. في الدائرة التالية مكبري عمليات مثاليين

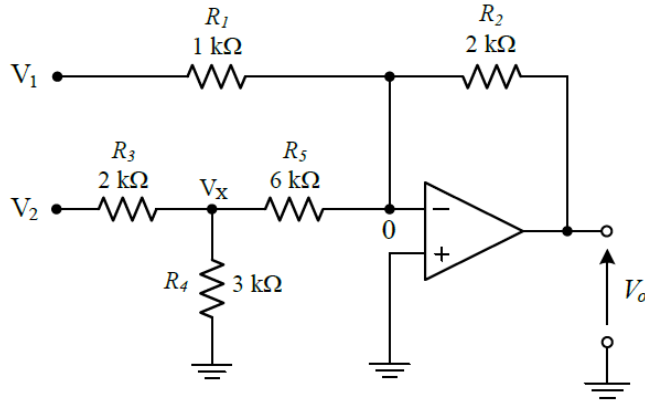


أ. ما هو عمل كل من المكبر A1 والمكبر A2

ب. مُعطى أن $V_1 = 3v$ و $V_2 = -4v$ نحسب الجهد الخارج

ج. نكتب الدالة التي تربط الجهد الخارج V_o مع الجهد الداخلة V_1 و V_2

الإجابات: أ. عازل، جامع سلبي، ب. $V_o = 5v$ ، ج. $V_o = -V_1 - 2V_2$



9. في الدائرة التالية مكبر عمليات مثالي،

مُعطى $V_1=1\text{v}$, $V_2=3\text{v}$

أ. نحسب قيمة الجهد V_x

ب. نحسب شدة التيار المار في المقاومة

R_1

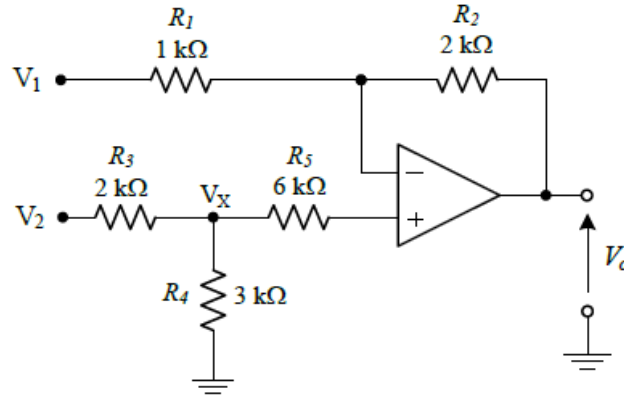
ج. نكتب الدالة التي تربط بين الجهد

الخارج V_o مع الجهود الداخلين V_1 , V_2 ، ثم نحسب قيمة الجهد الخارج

د. نحسب قيمة الجهد V_1 ، من أجل الحصول على جهد خارج قيمته 0v . لا تتغير قيمة الجهد V_2

الإجابات: أ. $V_x=1.5\text{v}$ ، ب. $I_{R1}=1\text{mA}$ ، ج. $V_o=-2.5\text{v}$ ، $V_1=-0.25\text{v}$ ، د.

10. في الدائرة التالية مكبر عمليات مثالي، مُعطى $V_1=1\text{v}$, $V_2=3\text{v}$



أ. نحسب قيمة الجهد V_x

ب. نحسب شدة التيار المار في المقاومة

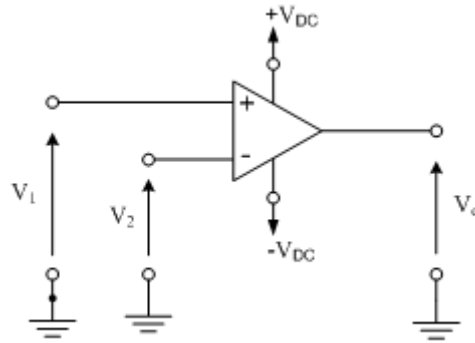
ج. نكتب الدالة التي تربط بين الجهد الخارج V_o مع الجهود الداخلين V_1 , V_2 ، ثم نحسب قيمة

الجهد الخارج

د. نحسب قيمة الجهد V_1 ، من أجل الحصول على جهد خارج قيمته 0v

الإجابات: أ. $V_x=1.8\text{v}$ ، ب. $I_1=0.8\text{mA}$ ، ج. $V_o=1.8V_2-2V_1$ ، $V_o=3.4\text{v}$ ، د. $V_1=2.7\text{v}$

المُقارن - מגבר שרת כמשווה (Comparator)



في حال لم يكن هناك تغذية راجعة لمكبر العمليات، تكون العلاقة بين الجهد الخارج والجهد الداخل كما يلي:

$$V_o = A \cdot V_i$$

$$V_o = A \cdot (V_+ - V_-)$$

كما هو واضح، في حال كان تساوي جهد المدخل السالب والمدخل الموجب، فإن الجهد الداخل يكون صفراً مما يؤدي إلى أن يكون الجهد الخارج صفراً كذلك.

ولما كان معامل التكبير عالياً جداً فإن أي جهد داخل موجب ولو كان قليلاً فإنه يؤدي إلى أن يكون الجهد الخارج أعلى قيمة $(+V_{DC})$ ، وإن أي جهد داخل سالب يؤدي إلى أن يكون الجهد الخارج أقل قيمة سالبة ممكنة $(-V_{DC})$.

توضح العلاقات التالية آلية عمل المُقارن:

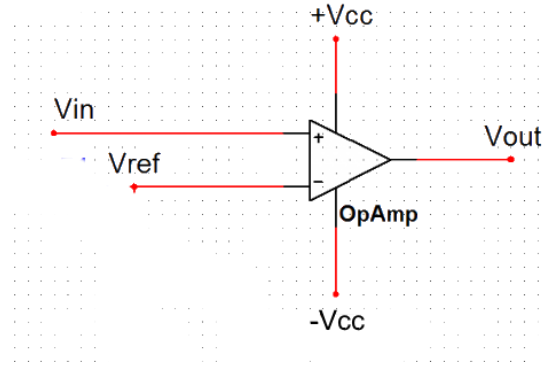
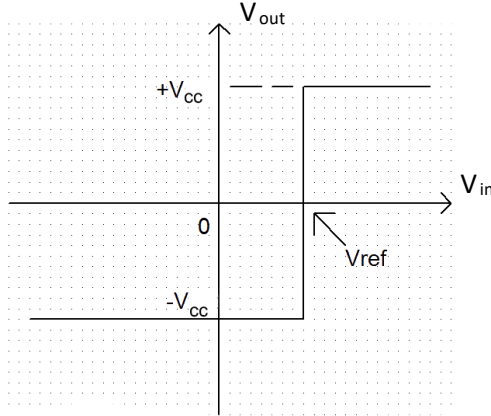
$$V_+ > V_- \quad \Rightarrow \quad V_o = +V_{DC}$$

$$V_+ < V_- \quad \Rightarrow \quad V_o = -V_{DC}$$

$$V_+ = V_- \quad \Rightarrow \quad V_o = 0$$

رسمه العلاقة بين الجهد الداخل والجهد الخارج (أوفيئ الممعبم):

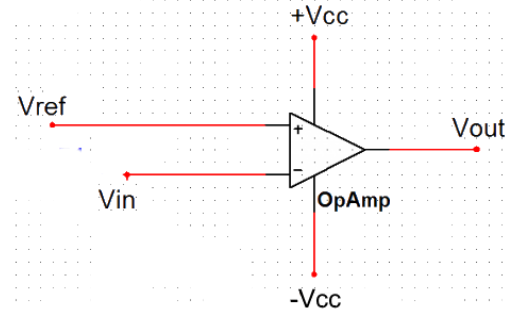
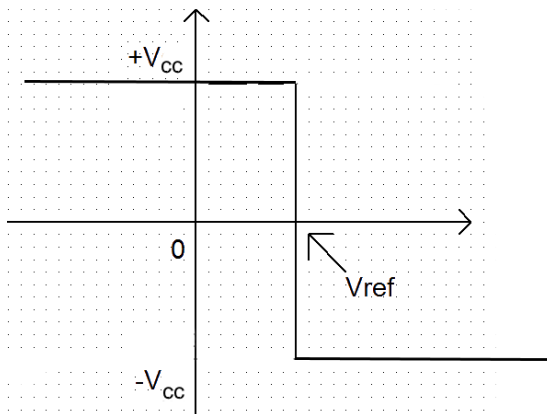
أ. في حال كون الجهد يدخل على الطرف الموجب.



تفسير الرسمه، أنه في حال كون الجهد على المدخل الموجب أقل من الجهد على المدخل السالب فإن الجهد الخارج يكون أقل قيمة ($-V_{cc}$) كما يظهر في الجزء السفلي للرسمه على المستوى الديكارتى.

وفي أنه في حال كون الجهد على المدخل الموجب أكبر من الجهد على المدخل السالب فإن الجهد الخارج يكون أعلى قيمة ($+V_{cc}$) كما يظهر في الجزء العلوي للرسمه على المستوى الديكارتى.

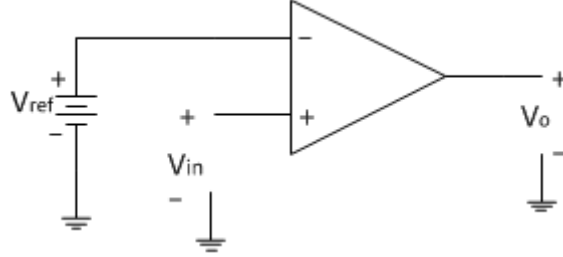
ب. في حال كون الجهد يدخل على الطرف السالب.



بسبب نقل الجهد المرجع (V_{ref}) فإن الرسمه تتقلب بالنسبة للمحور العمودي. ففي البداية يكون الجهد على المدخل الموجب أكبر ومن ثم يُصبح الجهد على المدخل السالب أكبر.

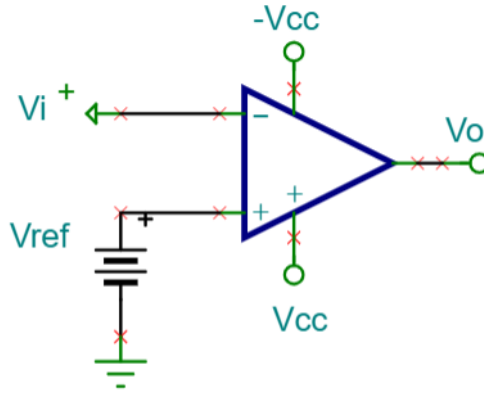
حساب قيمة ورسم الجهد الخارج:

1. عندما يكون الجهد الداخل قيمة ثابتة.



نُطبق آلية عمل المُقارن مباشرة، لإيجاد قيمة الجهد الخارج. كما في الأمثلة التالية:

مثال 1: مُعطاه دائرة فيها مكبر عمليات مثالي، ومصدري طاقة $\pm 15\text{V}$. نوجد V_o فيما يلي:



أ. إذا كان $V_i = 0.5\text{V}$ و $V_{\text{ref}} = 1\text{V}$

$$V_+ > V_- \Rightarrow V_o = V_{\text{cc}}$$

$$1 > 0.5 \Rightarrow V_o = 15\text{V}$$

ب. إذا كان $V_i = 0.5\text{V}$ و $V_{\text{ref}} = 0.5\text{V}$

$$V_+ = V_- \Rightarrow V_o = 0$$

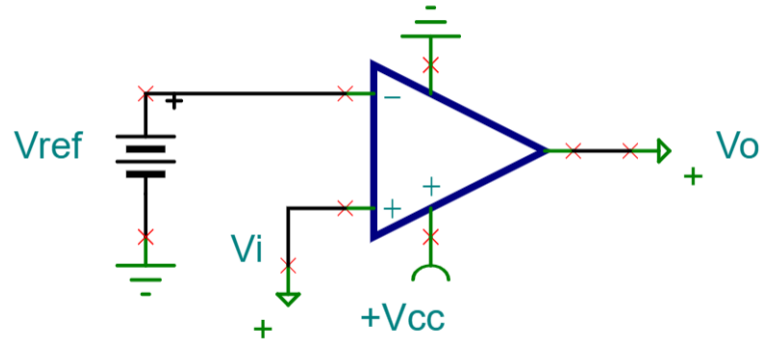
$$0.5 = 0.5 \Rightarrow V_o = 0\text{V}$$

ج. إذا كان $V_i = 1\text{V}$ و $V_{\text{ref}} = 0.5\text{V}$

$$V_+ < V_- \Rightarrow V_o = -V_{\text{cc}}$$

$$0.5 < 1 \Rightarrow V_o = -15\text{V}$$

مثال 2: مُعطاه دائرة فيها مكبر عمليات مثالي، ومصدر طاقة 15v. نوجد V_o فيما يلي:



أ. إذا كان $V_i = 0.5v$ و $V_{ref} = 1v$

$$V_+ < V_- \Rightarrow V_o = -V_{cc}$$

$$0.5 < 1 \Rightarrow V_o = 0v$$

ب. إذا كان $V_i = 0.5v$ و $V_{ref} = 0.5v$

$$V_+ = V_- \Rightarrow V_o = 0$$

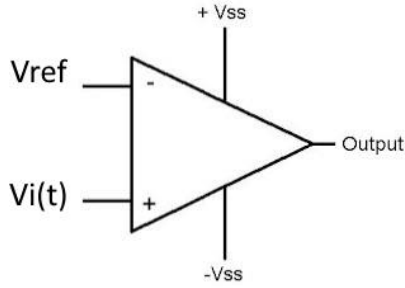
$$0.5 = 0.5 \Rightarrow V_o = 0v$$

ج. إذا كان $V_i = 1v$ و $V_{ref} = 0.5v$

$$V_+ > V_- \Rightarrow V_o = +V_{cc}$$

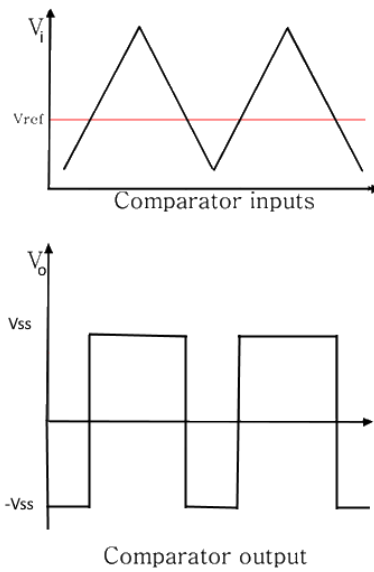
$$1 > 0.5 \Rightarrow V_o = 15v$$

2. عندما يكون الجهد الداخل إشارة بدلالة الزمن، يكون الجهد الخارج إشارة مربعة (بدلالة الزمن)

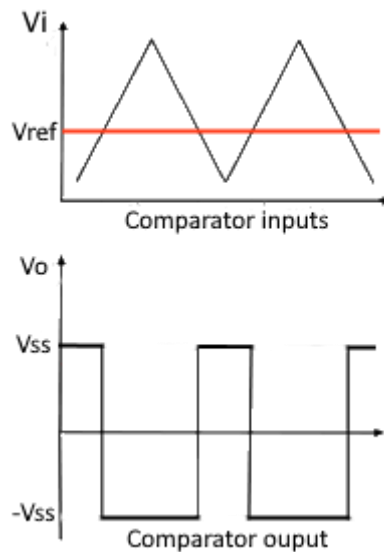


أ. الجهد الداخل إشارة مثلثية

إذا تجاوزت قيمة الإشارة على المدخل الموجب، قيمة الجهد على الجهد السالب، فإن الإشارة الخارجة تكون أعلى قيمة في تلك الفترة. أما إذا كانت قيمة الإشارة أقل من الجهد على المدخل السالب، فإن الإشارة الخارجة تكون أقل قيمة في تلك الفترة. كما يظهر في الرسم التالي:

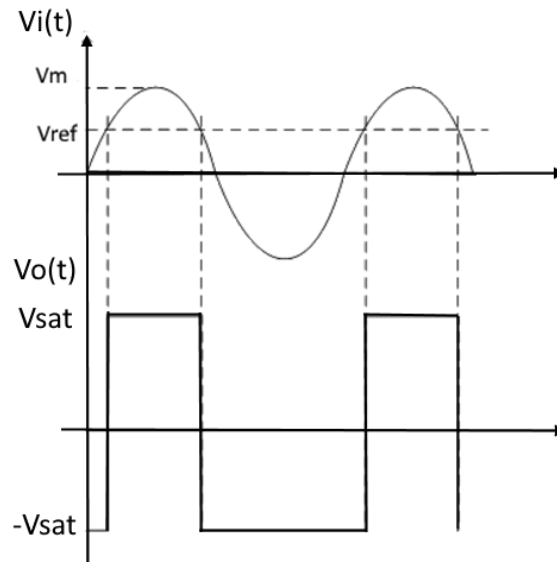


وفي حال تبديل مدخل الإشارة لتصبح على المدخل السالب والجهد المرجع على المدخل الموجب. يتبدل مكان أعلى وأقل قيمة للجهد الخارج. دون أي تغيير على عمل المُقارن الأساسي.

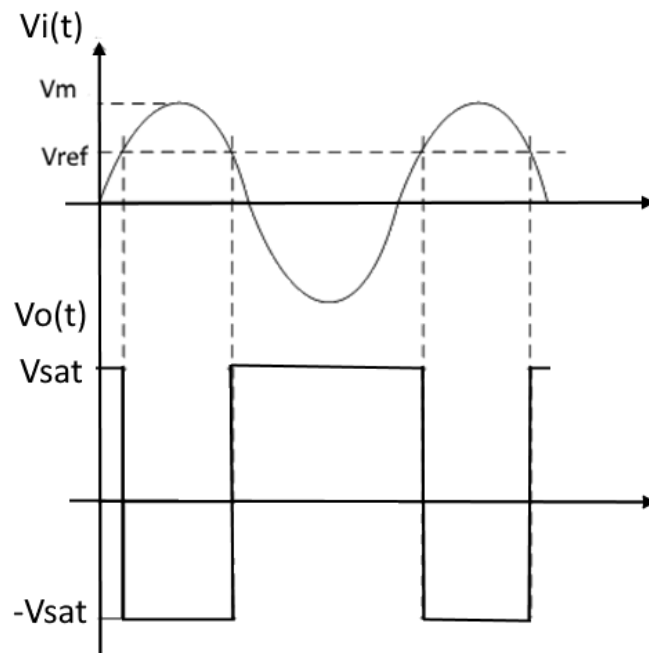


ب. عندما يكون الجهد الداخل إشارة جيبية ($\sin$)

إذا تجاوزت قيمة الإشارة على المدخل الموجب، قيمة الجهد على الجهد السالب، فإن الإشارة الخارجة تكون أعلى قيمة في تلك الفترة. أما إذا كانت قيمة الإشارة أقل من الجهد على المدخل السالب، فإن الإشارة الخارجة تكون أقل قيمة في تلك الفترة. كما يظهر في الرسم التالي:



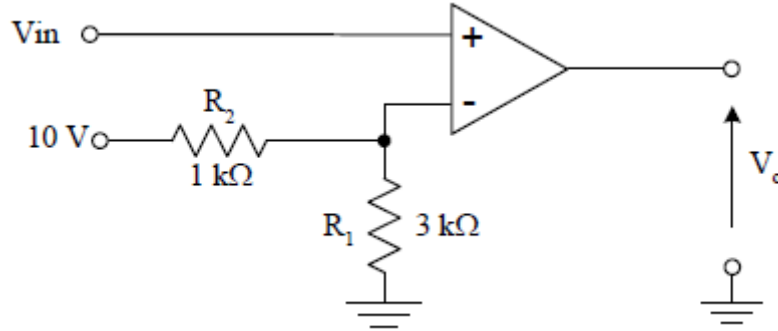
وفي حال تبديل مدخل الإشارة لتصبح على المدخل السالب والجهد المرجع على المدخل الموجب. يتبدل مكان أعلى وأقل قيمة للجهد الخارج. دون أي تغيير على عمل المُقارن الأساسي.



ملاحظة: يتم استخدام مجسات داخل دوائر مكبر العمليات وذلك من أجل التحكم، مصدر إضاءة مثلاً، بناء على قراءة المجس. يتم تمثيل المجس بمقاومة تتغير بناء على القيمة الفيزيائية (إضاءة أو حرارة مثلاً).

تمارين:

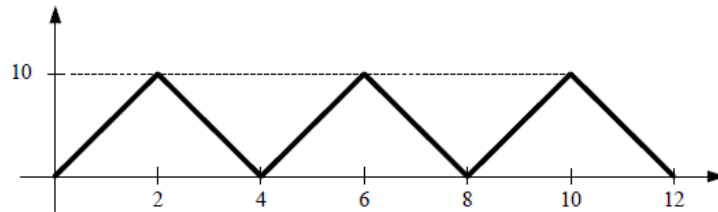
1. في الدائرة التالية مكبر عمليات مثالي، قيم جهود الإشباع $V_{OL}=0V$, $V_{OH}=+10V$



أ. نوجد جهد المقاومة R_1

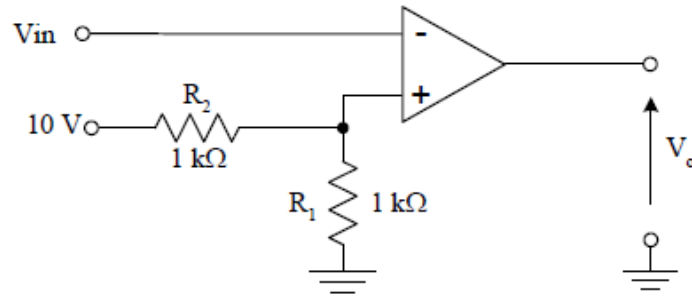
ب. نرسم العلاقة بين الجهد الخارج والجهد الداخل للدائرة $V_o=f(V_{in})$

ج. على مدخل الدائرة إشارة مثلثية كما يظهر في الرسم التالي، انقل الرسم الى دفترك وارسم أسفل منه الجهد الخارج بشكل دقيق



الإجابات: أ. $V_{R1}=7.5V$

2. في الدائرة التالية مكبر عمليات مثالي، قيم جهود الإشباع $V_{OL}=0V$, $V_{OH}=+10V$

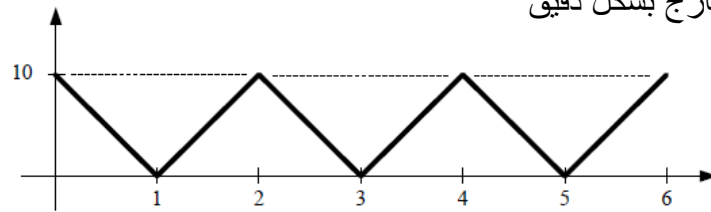


أ. نوجد جهد المقاومة R_1

ب. نرسم العلاقة بين الجهد الخارج والجهد الداخل للدائرة $V_o=f(V_{in})$

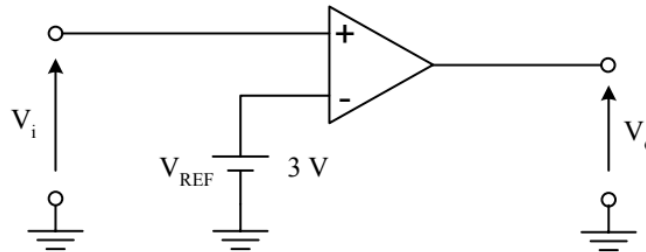
ج. على مدخل الدائرة إشارة مثلثية كما يظهر في الرسم التالي، انقل الرسم الى دفترك وارسم أسفل

منه الجهد الخارج بشكل دقيق



الإجابات: أ. $V_{R1}=5V$

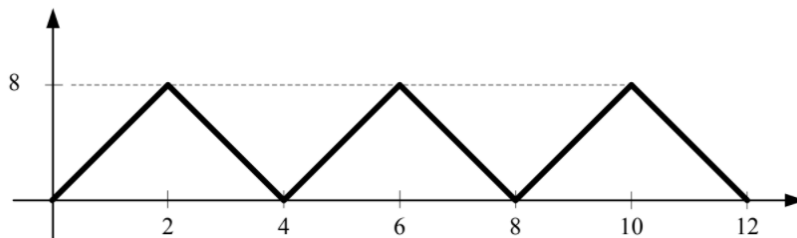
3. في الدائرة التالية مكبر عمليات مثالي، قيم جهود الإشباع $V_{OL}=0V$, $V_{OH}=+10V$



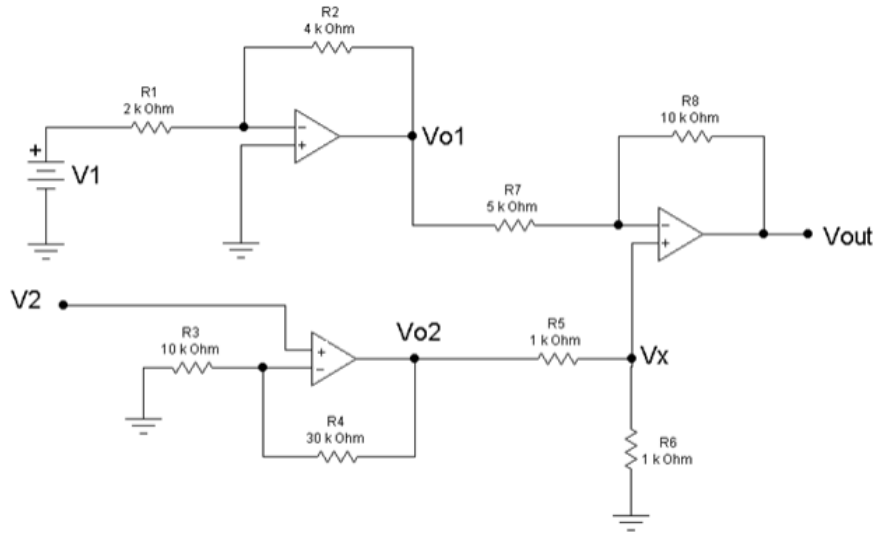
أ. نرسم العلاقة بين الجهد الخارج والجهد الداخل للدائرة $V_o=f(V_{in})$

ب. على مدخل الدائرة إشارة مثلثية كما يظهر في الرسم التالي، انقل الرسم الى دفترك وارسم أسفل

منه الجهد الخارج بشكل دقيق



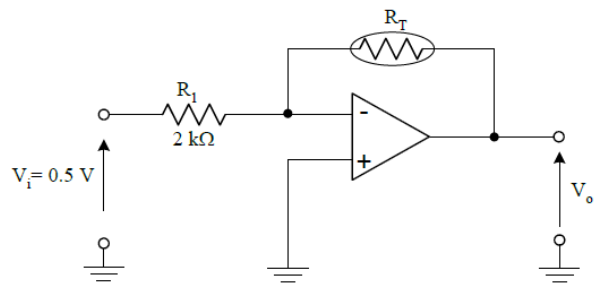
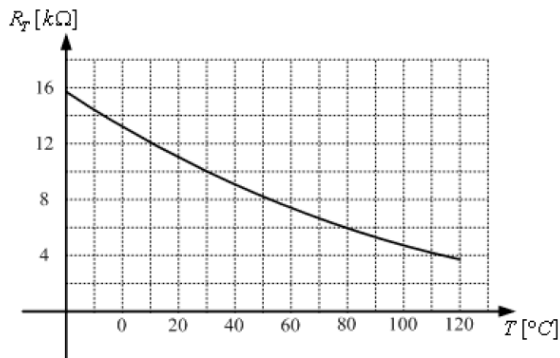
4. في الدائرة التالية مكبرات عمليات مثالية، قيم جهود الإشباع $\pm 12V$



أ. نوجد دالة الجهد الخارج V_{out} بدلالة الجهود الداخلة V_1 و V_2
 ب. مُعطى $V_1=1V$, $V_2=0.5\sin 314t$ ، نكتب معادلة الجهد الخارج ثم نرسم الجهد كدالة بدلالة الزمن

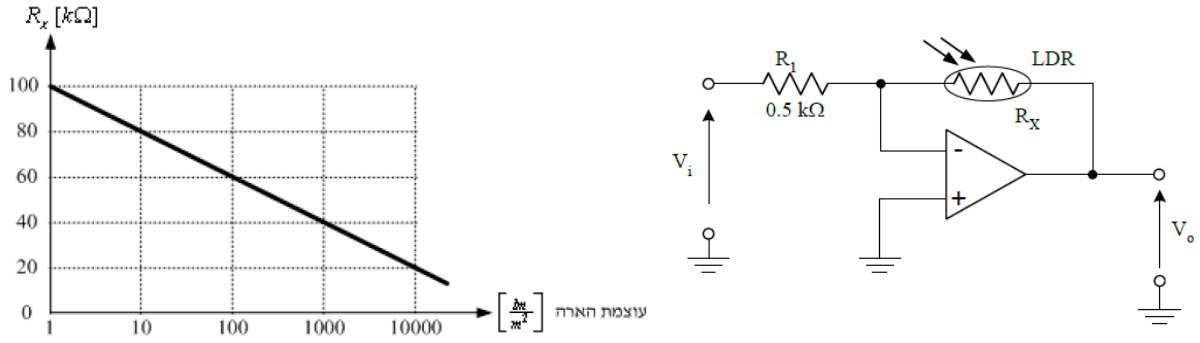
ج. نحسب القيمة القصوى للجهد V_2 حتى لا يحدث اقتصاص في الجهد الخارج V_{out}
 د. حدث عطل في الدائرة وفُصلت المقاومة R_8 ، نحسب قيمة الجهد الخارج في هذه الحالة
 الإجابات: أ. $V_{out}=4V_1+6V_2$ ، ب. $V_{out}=4+3\sin(314t)$ ، ج. $V_{2max}=1.33V$ ، د. $V_{out}=12V$

5. في الدائرة التالية مكبر عمليات مثالي، ومجس حرارة R_T مُعطى كذلك العلاقة بين شدة الحرارة وقيمة المقاومة.



أ. ما هي قيمة المقاومة عند الحرارة 20 درجة
 ب. نحسب الجهد الخارج عند الحرارة 20°
 ج. ما هي درجة الحرارة عندما يكون الجهد الخارج -1.5V
 الإجابات: أ. $R_T=11k\Omega$ ، ب. $V_o=-2.75V$ ، ج. $T=75^\circ-80^\circ$

6. في الدائرة التالية مكبر عمليات مثالي، ومجس إضاءة (LDR)، مقاومته R_x مُعطى كذلك العلاقة بين شدة الإضاءة ومقاومة المجس.



أ. ما هي مقاومة المجس R_x ، عندما تكون شدة الإضاءة (100 lm/m^2)

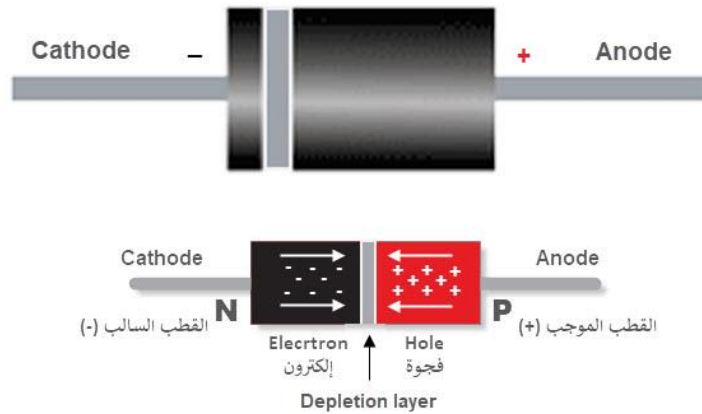
ب. نحسب معامل التكبير للمكبر عند شدة الإضاءة في الفرع السابق

ج. ما هي شدة الإضاءة اللازمة حتى تكون معامل التكبير تساوي 160.

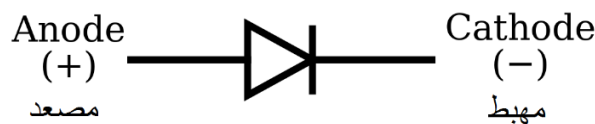
الإجابات: أ. $R_x=60\text{k}\Omega$ ، ب. $A_v=-120$ ، ج. $R_x=80\text{k}\Omega$

الصمام الثنائي \ الدايدود – ديوذا (Diode)

الصمام الثنائي \ الدايدود هو عنصر الكتروني له طرفين ويسمح فقط بمرور التيار الكهربائي باتجاه واحد عند تشغيله بجهد محدد. يتكون من طبقتي سيليكون احدهما مُشبعة بشحنات سالبة (N) والأخرى مشبعة بشحنات موجبة (P). ويُسمى التقاء هذه الطبقتين بـ (PN Junction) كما يظهر في الرسم التالي:

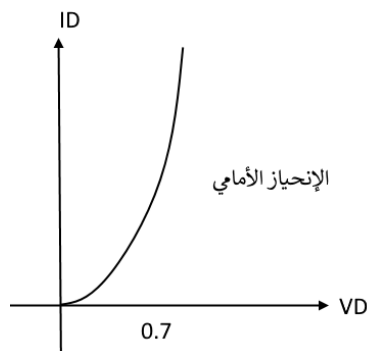


ويظهر في الرسم التالي رمز الدايدود في الدائرة الكهربائية، وفي حال تجاوز فرق الجهد الموجب حول الدايدود لجهد العتبة (Threshold)، والذي يساوي تقريبا لمادة السيليكون 0.7 فولت و 0.3 فولت لمادة الجرمانيوم، يمكن مرور التيار من القطب الموجب (المصعد) باتجاه القطب السالب (المهبط).



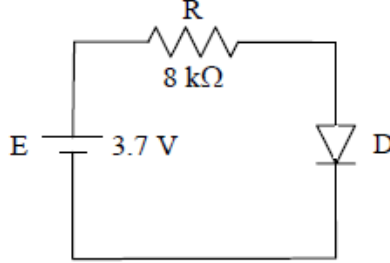
يكون للدايدود المثالي مقاومة قليلة في حال التشغيل\الانحياز الأمامي (Forward Bias) ومقاومة عالية في حال التشغيل العكسي (Backward Bias).

كما ويظهر فيما يلي منحنى العلاقة بين التيار المار في الدايدود وفرق الجهد حوله.



تمارين حول الدايود

1. في السؤال التالي مصدر جهد ومقاومة ودايود. جهد العتبة للدايود هو $0.7V$



أ. نرسم التيار المار في الدايود كدالة بدلالة جهده $I_D = f(V_D)$

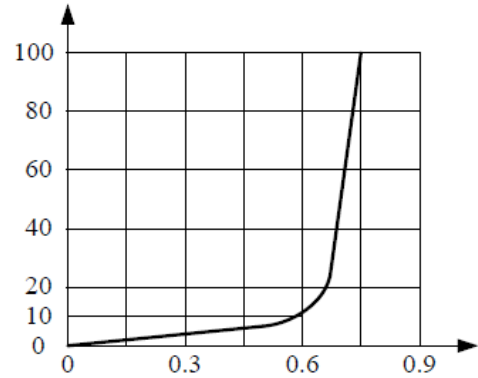
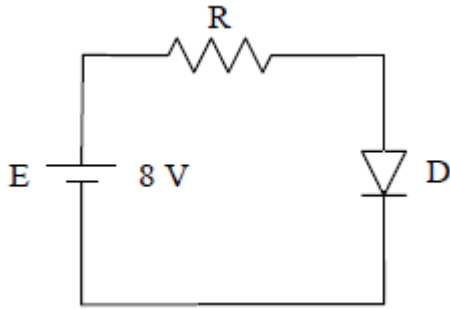
ب. نحسب قيمة التيار المار في الدائرة

ج. نحدد على الرسم نقطة العمل للدايود (V_D, I_D)

الإجابات: ب. $I_D = 0.375mA$

2. في الدائرة التالية مُعطى دايود مُصنَّع من السيليكون، مرتبط مع مصدر للجهد عبر مقاومة.

مُعطى كذلك الدالة $I_D = f(V_D)$



أ. ما هو دور المقاوم R في الدائرة وكيف يتم اختيار قيمته

ب. ما هي قيمة المقاومة من أجل أن نحصل على فرق جهد حول الدايود قيمته $0.6V$

ج. ما هي قيمة المقاومة من أجل مرور تيار قيمته $100mA$ في الدائرة

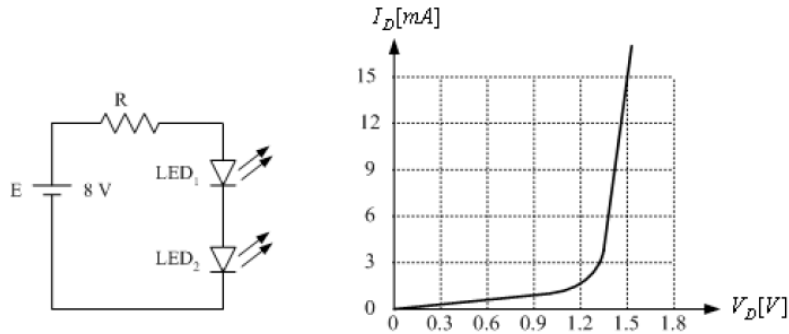
الإجابات: أ. تحديد التيار المار في الدايود وحمايته من تيار عالٍ قد يتلفه. يتم اختيار قيمتها حسب جهد المصدر، جهد

الدايود المطلوب، والتيار المطلوب باستخدام قانون أوم، ب. $R = 740\Omega$ ، ج. $R = 75\Omega$

3. تحتوي الدائرة التالية على مصباحي LED. وتظهر العلاقة بين التيار والجهد لكل من المصباحين في الرسم المجاور.

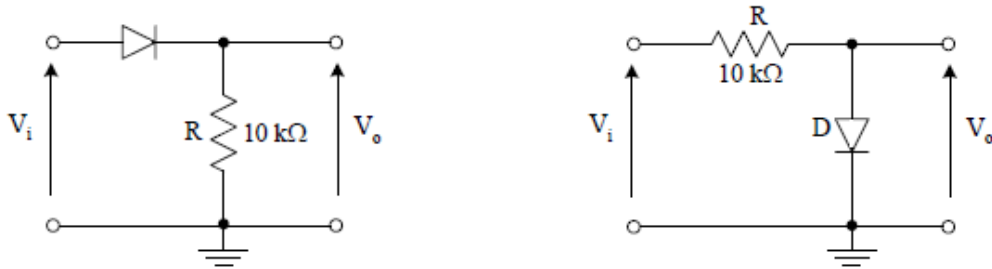
أ. ما هو دور المقاومة R في الدائرة، وما هي آلية اختيار قيمتها.

ب. نحسب قيمة المقاومة عندما يكون التيار المار في الدائرة يساوي 8 mA



الإجابات: أ. تحديد التيار المار في مصباحي الـ LED وحمايتهما من الاحتراق، لأن الـ LED حساس جدًا لزيادة التيار. تُختار قيمة المقاومة حسب قانون أوم، ب. $R=650\Omega$

4. أمامك دائرتين كهربائيتين تحتويان على صمامين ثنائيين (دايود). نفترض أن الدايود مثالي $V_d = 0\text{V}$



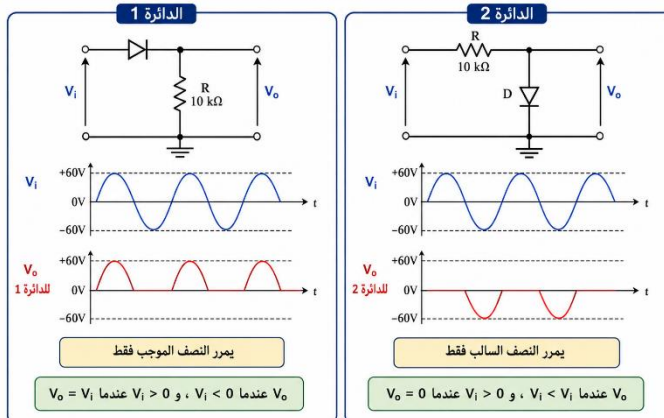
أ. ما هو الهدف من كل دائرة

ب. إذا كان الجهد الداخل لكل دائرة هو إشارة جيب ارتفاعها 60 فولت وترددها 100 هيرتز.

نرسم الجهد الخارج لكل من الدائرتين.

إجابة الفرع (ب): رسم خرج كل دائرة عندما يكون الدخل جيبياً

المعطى: $60 = 60 \text{ V}$ السعة $100 = 100 \text{ Hz}$ ، $V_i = 60 \sin(200\pi t) \text{ V}$



الإجابات: أ. الدائرة اليسرى: تعمل كمقوم نصف موجة موجب / دائرة تمرير النصف الموجب. أي أنها تمرر النصف الموجب من الإشارة وتحذف النصف السالب.

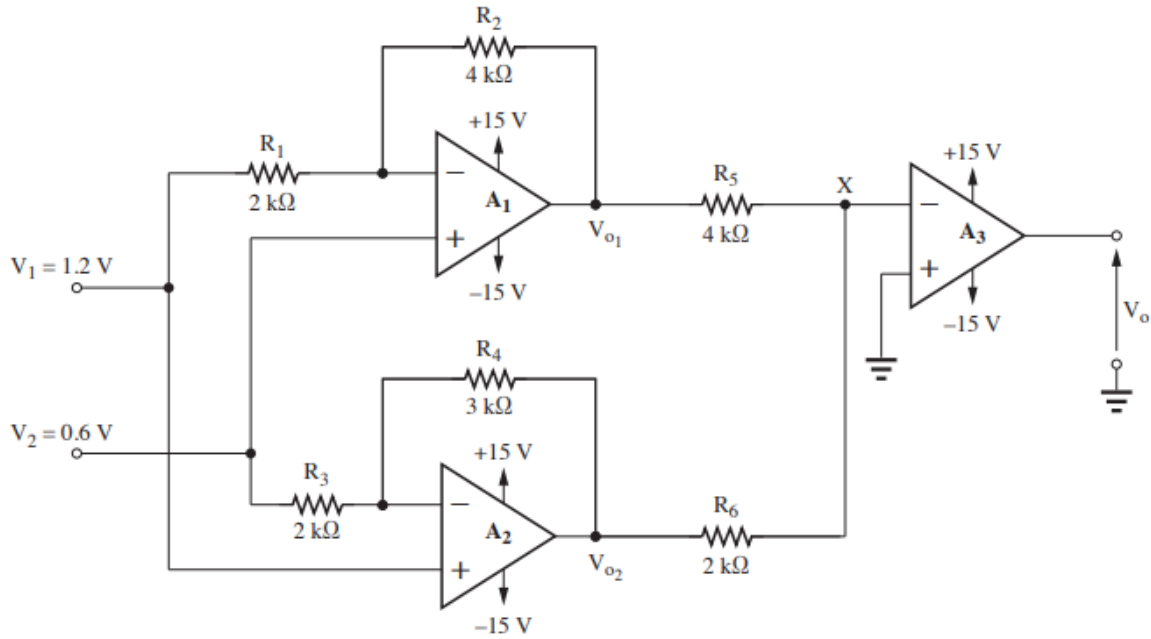
الدائرة اليمنى: تعمل كدائرة تحديد/قص للجهد الموجب عند الصفر. أي أنها تحذف النصف الموجب وتُبقي النصف السالب.

أسئلة البجروت ضمن موضوع مكبر العمليات (شامل الدايدود)

2026

السؤال 4

في الرسم التوضيحي للسؤال 4 معطاة دائرة كهربائية تشمل 3 مُضخمات تشغيلية مثالية (منגברי שרת אידיאליים).



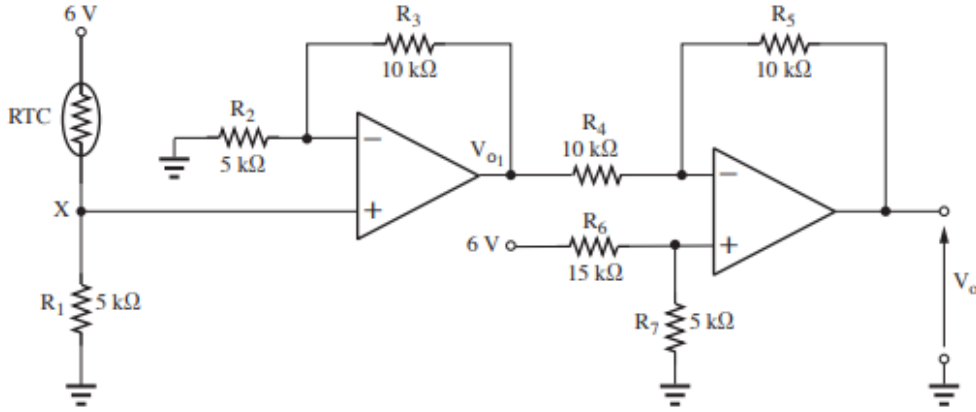
الرسم التوضيحي للسؤال 4

- أ. احسبوا جهدَي المَخْرَج (מתחי המוצא) V_{o1} ، V_{o2} . (6 درجات)
- ب. احسبوا التَّيار (הזרם) الذي يَمُرُّ عن طريق المُقاوم R_5 ، واكتبوا اتَّجاهه. (5 درجات)
- ج. احسبوا الجُهد (המתח) في النقطة X. (5 درجات)
- د. اذكروا قيمة جُهد المَخْرَج (מתח המוצא) V_o . (4 درجات)

الإجابات: أ. $V_{o1} = -0.6 \text{ V}$ ، $V_{o2} = 2.1 \text{ V}$ ، ب. $I_{R5} = 0.45 \text{ mA}$ ، from X، ج. $V_X = 1.2 \text{ V}$ ، د. $V_o = -15 \text{ V}$

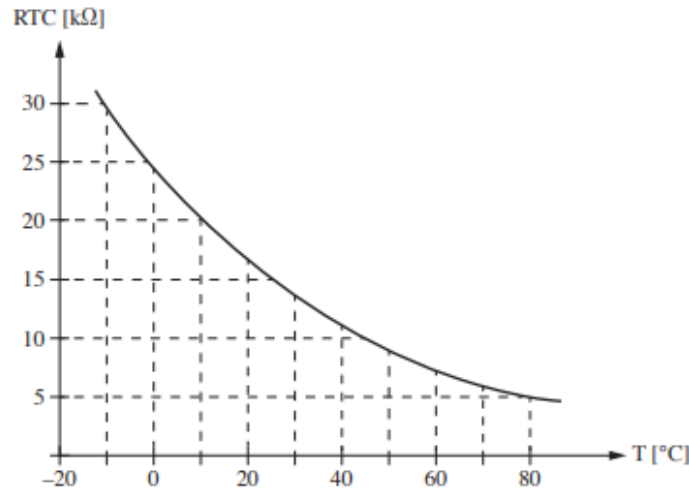
السؤال 4

في الرسم التوضيحي "أ" للسؤال 4 معطاة دائرة كهربائية تشمل مُضخّمتات تشغيلية (مגברי שרת) ومُقاوم متعلّق بدرجة الحرارة (נגד תלוי-טמפרטורה) (RTC). مُضخّمتات التشغيل متألّية (אידיאליים).



الرسم التوضيحي "أ" للسؤال 4

في الرسم التوضيحي "ب" للسؤال 4 معطاة الخطوط البيانية (האופייני) للمُقاوم المتعلّق بدرجة الحرارة (RTC).



الرسم التوضيحي "ب" للسؤال 4

- أ. (8 درجات) احسبوا الجهد (המתח) في النقطة X، وجهد المَخْرَج (מתח המוצא) V_{o1} وجهد المَخْرَج (מתח המוצא) V_o في درجة حرارة 0°C .
- ب. (6 درجات) احسبوا جهد المَخْرَج (מתח המוצא) في درجة حرارة 80°C .
- ج. (6 درجات) في المَخْرَج V_o حصلنا على جهد -4.2 V . احسبوا درجة الحرارة التي قاسها المُقاوم المتعلّق بدرجة الحرارة (RTC).

الإجابات: أ. $V_{o1}=3\text{V}$, $V_o=0\text{V}$, $V_x=1\text{V}$. ب. $V_o=-6\text{V}$. ج. $T=60^\circ\text{C}$.

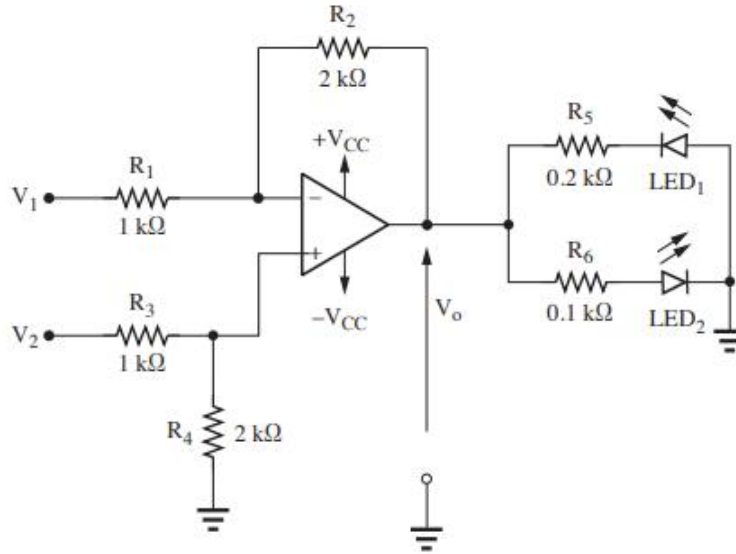
السؤال 4

يصف الرسم التوضيحي لهذا السؤال دائرة تحكم (معدل בקרה) تحتوي على مُضخَّم تشغيلي مثالي (מגבר שרת אידיאלי).

مُعطيات:

$$V_1 = 2 \text{ V} ; V_2 = 4.5 \text{ V}$$

$$\text{مُعطى: } V_{\text{LED1}} = V_{\text{LED2}} = 2 \text{ V}$$



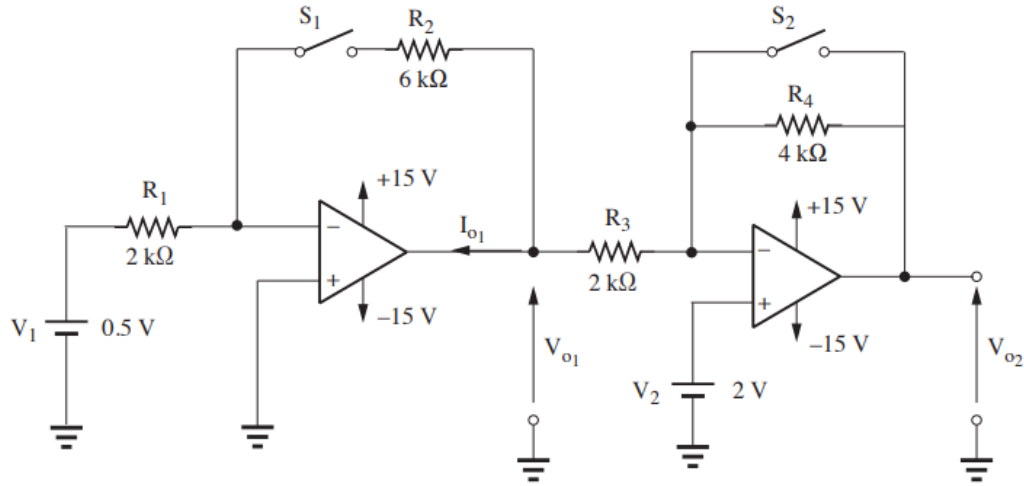
الرسم التوضيحي للسؤال 4

- أ. (4 درجات) اكتبوا تعبيراً (ביטוי) يصف جهد المخرج (מתח המוצא) V_0 كدالة للجهدتين V_1 و V_2 .
- ب. (8 درجات) خذوا، بواسطة الحسابات، أي من بين لمبتئي الـ LED تُضيء، واحسبوا التيار (הזרם) الذي يمر فيها. نُسبب تماساً (מקצרים) للمقاوم R_4 .
- ج. (8 درجات)
1. (4 درجات) ماذا ستكون حالة التوصيل (מצב ההולכה) لكل واحدة من لمبتئي الـ LED؟
2. (4 درجات) احسبوا التيار الذي يمر في كل واحدة من لمبتئي الـ LED.

الإجابات: أ. $V_0 = 2V_2 - 2V_1 = 5 \text{ V}$ ، ب. $I_{\text{LED2}} = 30 \text{ mA}$ ، ج. $I_{\text{LED1}} = 0 \text{ mA}$ ، $V_0 = -4 \text{ V}$

السؤال 3

في الرسم التوضيحي للسؤال 3 مُعطاة دائرة كهربائية تحتوي على مُضخِّمَيْن تشغيليَّين مثاليَّين (مُغْبِرِي شَرْتِ اِيْدِيَالِيَّيْس).



الرسم التوضيحي للسؤال 3

المفتاحان (المفكِّكَيْن) S_1 و S_2 مفتوحان.

أ. (4 درجات) احسبوا الجهد (المتاح) V_{o1} .

نغلق المفتاح (مفكِّك) S_1 فقط.

ب. (6 درجات) احسبوا الجهديَّين V_{o1} , V_{o2} .

نُغلق المفتاحَيْن (المفكِّكَيْن) S_1 و S_2 .

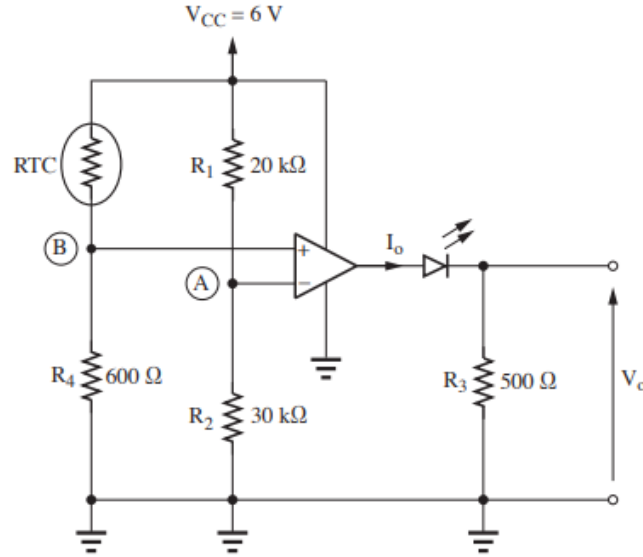
ج. (4 درجات) احسبوا جهد المَخْرَج (مُتَحِ المُوَضَّاع) V_{o2} .

د. (6 درجات) احسبوا التَّيار (الزَّور) I_{o1} .

الإجابات: أ. $V_{o1} = -15V$ ب. $V_{o1} = -1.5V$, $V_{o2} = 9V$ ج. $V_{o2} = 2V$ د. $I_{o1} = 2mA$

السؤال 4

في الرسم التوضيحي "أ" للسؤال 4 معطاة دائرة كهربائية تحتوي على مُضخَّم تشغيلي (مُغْبَر שרת) ومقاوم مُتعلِّق بدرجة الحرارة (נגד תלוי-טמפרטורה) (RTC).
معطى أن: $V_{LED} = 1.5 \text{ V}$.

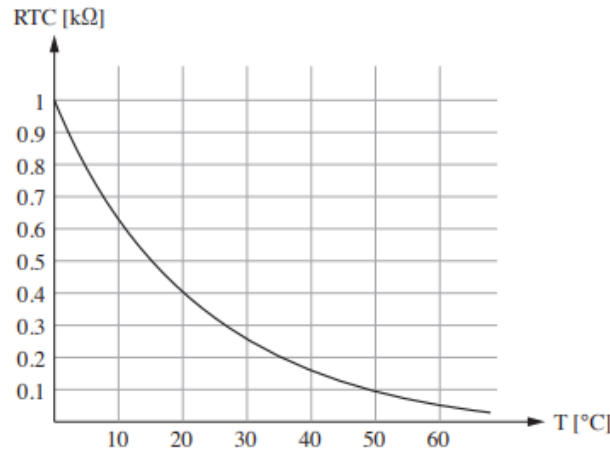


الرسم التوضيحي "أ" للسؤال 4

(10 درجات) أ.

1. (5 درجات) احسبوا الجهد في النقطة (A).
2. (5 درجات) ما هو مجال قِيَم الجهود (تخوم ערכי המתחים) في النقطة (B) الذي بحسبه تُضيئ لمبة ال-LED?

مُعطى في الرسم التوضيحي "ب" للسؤال 4 دالة المقاوم (האופייין של הנגד) RTC.



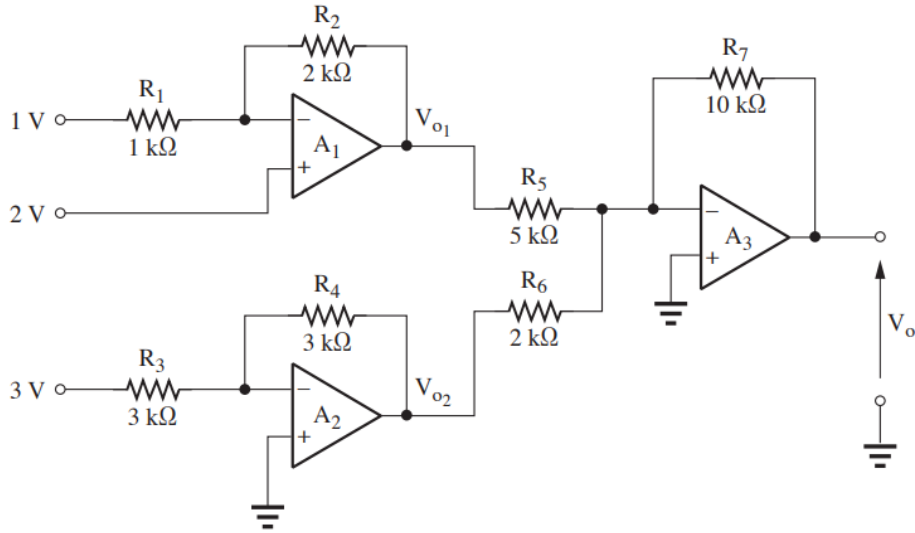
الرسم التوضيحي "ب" للسؤال 4

- ب. (5 درجات) نرفع درجة حرارة المقاوم RTC. ابتداءً من أي درجة حرارة ستضيئ لمبة ال-LED?
- ج. (5 درجات) احسبوا تيار المَخْرَج (זרם המוצא), I_o , للمُضخَّم التشغيلي (מגבר שרת) عندما تكون لمبة ال-LED مضاءة.

الإجابات: أ. $V_B > 3.6 \text{ V}$ ($2 \text{ V}_A = 3.6 \text{ V}$) ب. $RTC < 0.4 \text{ k}\Omega$, $T > 20^\circ \text{C}$ ج. $I_o = 9 \text{ mA}$

السؤال 2

في الرسم التوضيحي للسؤال 2 معطاة دائرة كهربائية تحتوي على ثلاثة مُضخِّمات تشغيلية مثالية (مغبري שרת אידיאליים).

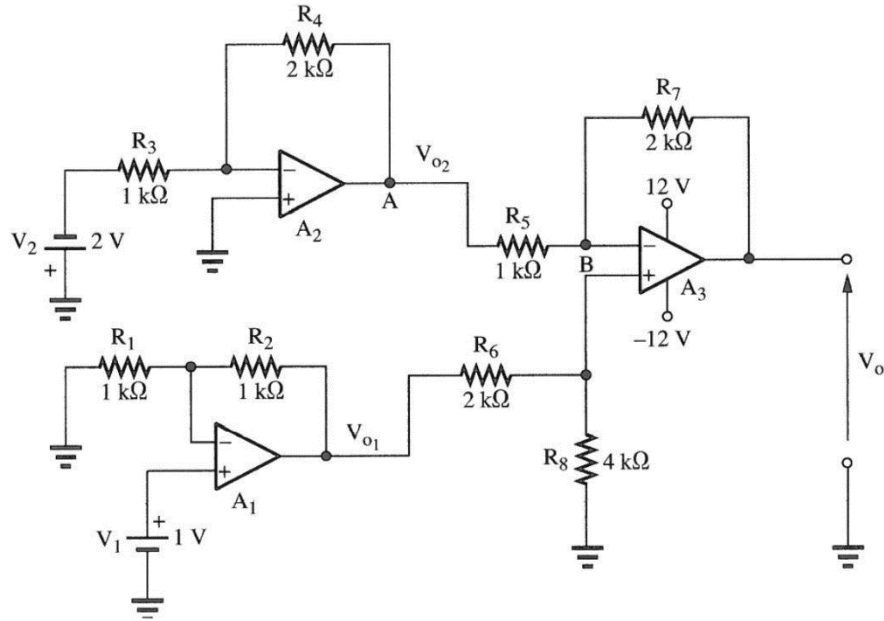


الرسم التوضيحي للسؤال 2

- (10 درجات) أ. احسبوا جهود المَخْرَج (מתחי המוצא) V_{o1} و V_{o2} .
- (6 درجات) ب. احسبوا جهد المَخْرَج (מתח המוצא)، V_o .
- (4 درجات) ج. نُسَبِّب تماثلاً للمُقاوم (מקצרים את הנגד) R_7 . جدوا قيمة جهد المَخْرَج، V_o .

الإجابات: أ. $V_{o1}=4V$, $V_{o2}=-3V$ ب. $V_o=7V$ ج. $V_o=0V$, $R_7=0\Omega$

السؤال 4: في الرسم للـ سؤال، مُعطى دائرة كهربائية فيها ثلاثة مكبرات عمليات مثالية.



أ. نحسب جهدي الخرج V_{01} و V_{02}

ب. نحسب التيار المار في المقاومة R_5 ونحدد اتجاهه (من A إلى B أو من B إلى A)

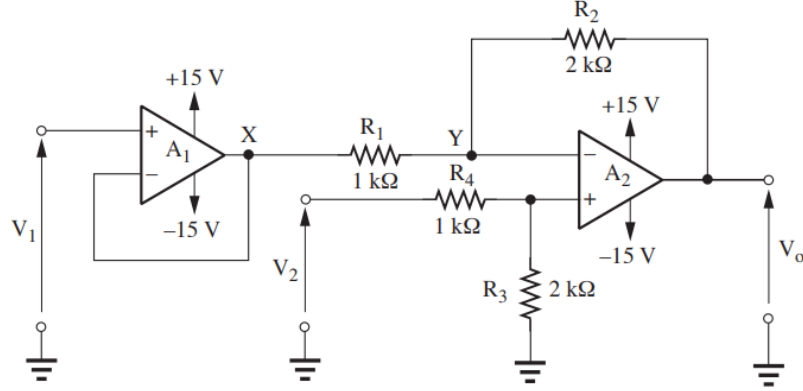
ج. قيمة الجهد الخارج V_0

د. نفصل المقاومة R_7 ، نحسب قيمة الجهد الخارج V_0

الإجابات: أ. $V_{01}=2V$, $V_{02}=4V$ ب. $I_5=2.67mA$, (A to B) ج. $V_0=-4V$ د. $V_0=-12V$

السؤال 4

الرسم التوضيحي للسؤال 4 يصف دائرة كهربائية تشمل مُضخِّمَيْن تشغيليَّين مثاليَّين (مُغْبِرِي شَرْتِ اِيْدِيَاْلِيْس). .



الرسم التوضيحي للسؤال 4

أ. اكتب ما هي وظيفة المُضخِّم (المُغْبِر) A_1 وما هي صفاته (تكنولوجياه). (13 درجة)

ب. مُعطى أن: $V_1 = 1\text{ V}$ ، $V_2 = 6\text{ V}$. (12 درجة)

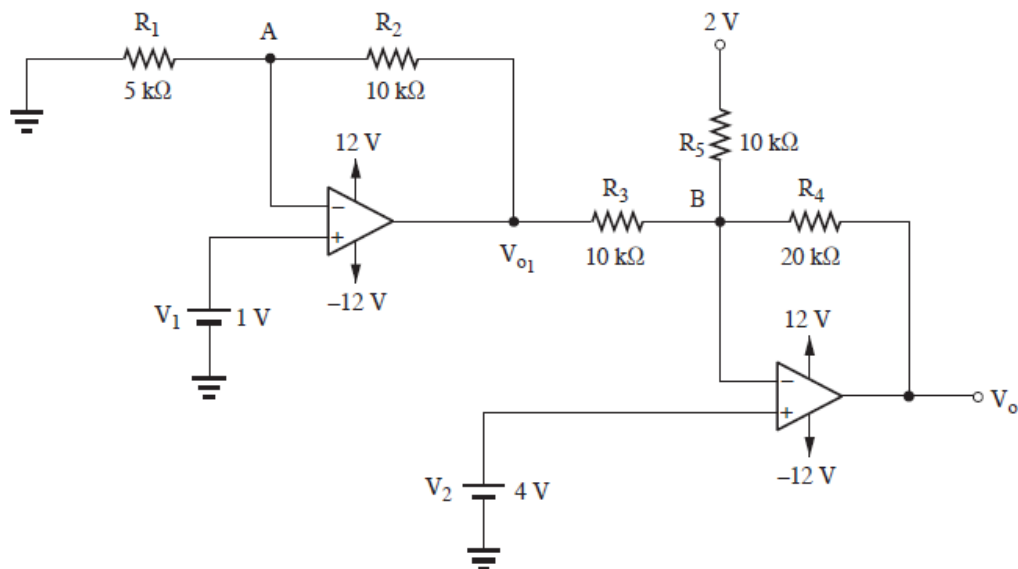
1. احسب الجهد (المتاح) في النقطة X، وجهد المخرج (المتاح)، V_0 . (6 درجات)
2. احسب قيمة التيار (الزهر) الذي يمر عبر المقاوم (المنفذ) R_1 واكتب اتجاهه (من Y إلى X أو من X إلى Y). علّل إجابتك. (6 درجات)

الإجابات: أ. مضخم تابع للجهد / عازل، التكبير 1 ومقاومة المدخل عالية جدا، ومقاومة المخرج منخفضة،

ب. $V_x=1\text{V}$, $V_o=10\text{V}$, $I_{R1}=3\text{mA}$

السؤال 4

في الرسم التوضيحي للسؤال 4 مُعطاة دائرة كهربائية تشمل مُضخّعات تشغيلية (مُغبري شרת) مثالية . جهود التغذية (מתחי ההזנה) للمُضخّعات هي $\pm 12V$.

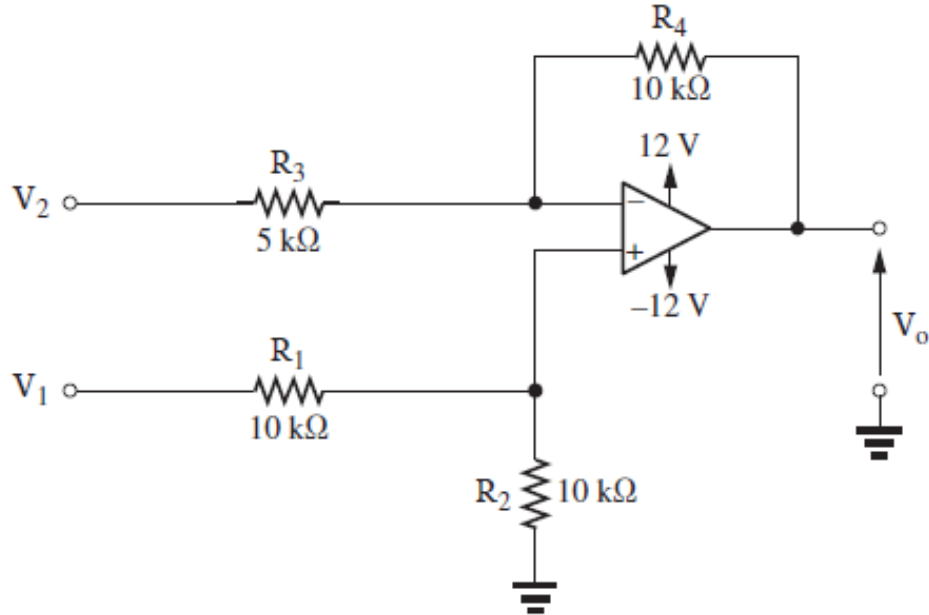


الرسم التوضيحي للسؤال 4

- (5 درجات) أ. ما هو الجُهد (מתח) في النقطة A وما هو الجُهد (מתח) في النقطة B ؟
- (5 درجات) ب. احسب جُهد المُخرج (מתח המוצא) V_{o1} .
- (5 درجات) ج. احسب جُهد المُخرج (מתח המוצא) V_o .
- (5 درجات) د. نفصل المُقاوم (נגד) R_4 . احسب جُهد المُخرج (מתח המוצא) V_o .

الإجابات: أ. $V_A=1V$, $V_B=4V$. ب. $V_{o1}=3V$. ج. $V_o=10V$. د. $V_o=12V$

السؤال 4: في الرسم للـ سؤال، مُعطى دائرة كهربائية فيها مكبر عمليات مثالي.



أ. نكتب معادلة الجهد الخارج V_o كدالة بدلالة الجهدين V_1 و V_2

ب. نحسب قيمة الجهد الخارج عندما يكون: $V_1=2V$ و $V_2=0V$

ج. مُعطى: $V_2=1V$, $V_1=2\sin(100\pi t)V$

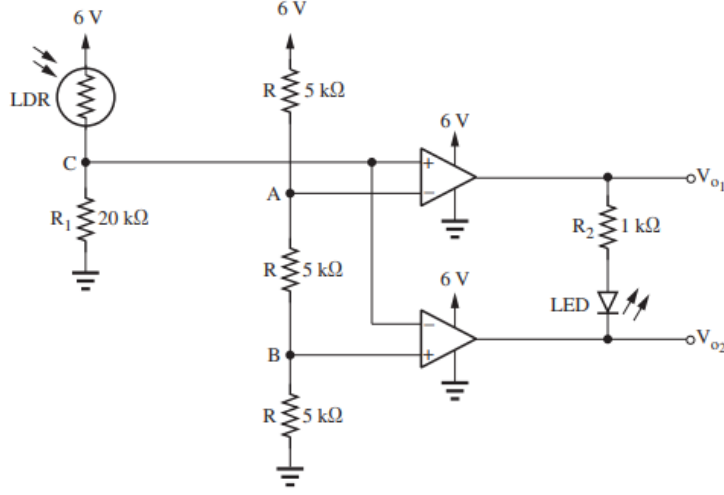
1. نكتب معادلة الجهد الخارج V_o كدالة بدلالة الزمن

2. نرسم الدالة الناتجة للجهد الخارج بالنسبة للزمن

الإجابات: أ. $V_o = 3V_1/2 - 2V_2$ ، ب. $V_o=3v$ ، ج. $V_o = 3 \sin(100\pi t) - 2$ ، د.

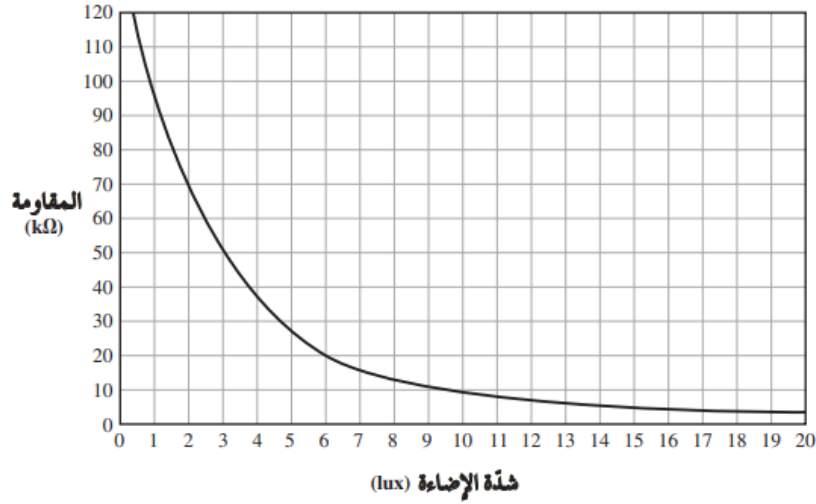
السؤال 5

في الرسم التوضيحي "أ" للسؤال 5 مُعطاة دائرة كهربائية. تشتمل الدائرة على مُقاوم يتأثر بالضوء (نند رגיש לאור) وللمبة LED لاستشعار (חייوي) شدة الإضاءة (עוצמת ההארה) على مُقاوم الـ LDR. (LDR – Light Dependent Resistor)



الرسم التوضيحي "أ" للسؤال 5

مُقاومة مُقاوم الـ LDR تتغير كدالة لشدة الإضاءة عليه، كما هو مُبين في الرسم التوضيحي "ب" للسؤال.



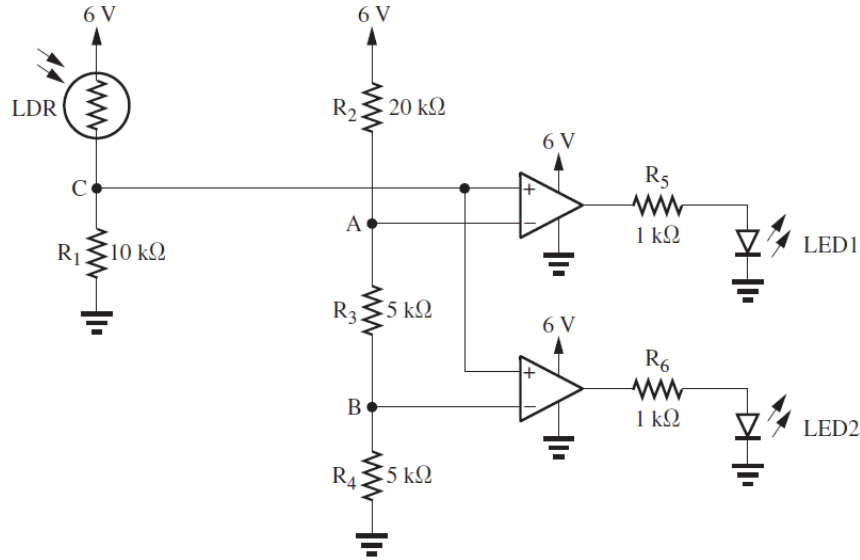
الرسم التوضيحي "ب" للسؤال 5

- أ. (6 درجات) إحيب الجُهد (מתח) في كل واحدة من النقطتين A و B في الدائرة.
- ب. (4 درجات) ما هو مجال قيم الجُهد في النقطة C (V_C) الذي فيه لمبة الـ LED تكون مُضاءة؟
- ج. (6 درجات) أرسم الخطوط البيانية (أوربيي המעבר) $V_{o1} = f(V_C)$, $V_{o2} = f(V_C)$.
- د. (4 درجات) إستعن بالرسم التوضيحي "ب"، وُجد في أي مجال قيم لشدة الإضاءة (بوحدة lux) تكون لمبة الـ LED مُضاءة.

الإجابات: أ. $V_A = 4V$, $V_B = 2V$, ب. $V_C > 4V$, د. $R_{LDR} < 10k\Omega$, $E > 10lux$.

السؤال 3

في الرسم التوضيحي "أ" للسؤال 3 مُعطاة دائرة كهربائية تشتمل على مُقاوم يتأثر بالضوء (נגד תלוי-אור) (LDR – Light Dependent Resistor) وعلى لمبتئين من نوع ليد (نورיות LED). لَمَبَتَا ال LED تُمَكِّنَان من استشعار (חייו) شِدَّة الإضاءة على ال LDR. المُضخَّمان التشغيليَّان (מגברי-השרת) اللذان في الدائرة – مثالَيان.

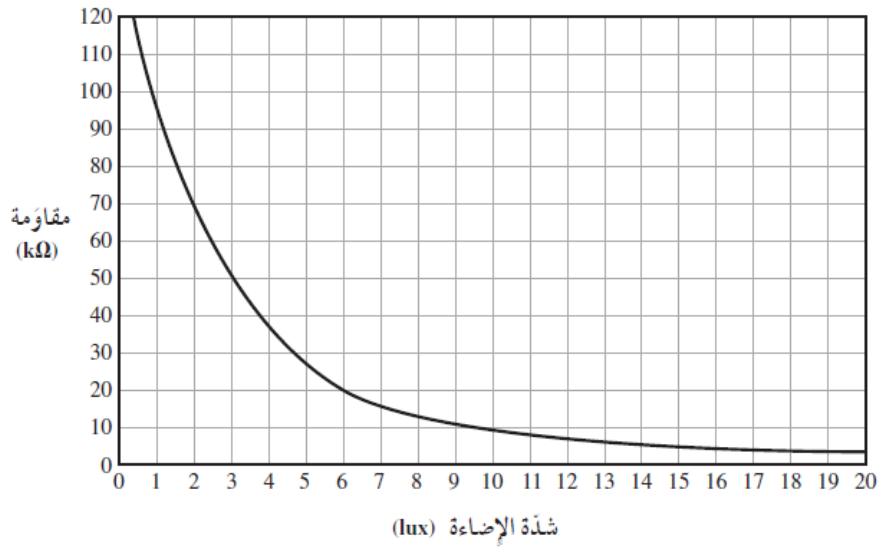


الرسم التوضيحي "أ" للسؤال 3

- إحسب الجُهد (מתח) في النقطة A والجُهد (מתח) في النقطة B.
- ما هو مجال قِيم الجُهد في النقطة C الذي فيه لَمَبَتَا ال LED مُضاءتان؟
- استعن بالرسم التوضيحي "ب"، وَجِدْ ما هو مجال قِيم شِدَّة الإضاءة (بوحداث lux) والذي فيه اللمبة LED2 مُضاءة واللمبة LED1 مُطفأة.
- هل هناك حالة تكون فيها اللمبة LED1 مُضاءة في حين تكون اللمبة LED2 مُطفأة؟ علِّل إجابتك.

الإجابات: أ. $V_A=2V$, $V_B=1V$, ب. $V_C>2V$, ج. $3<LUX<6$, د. لا

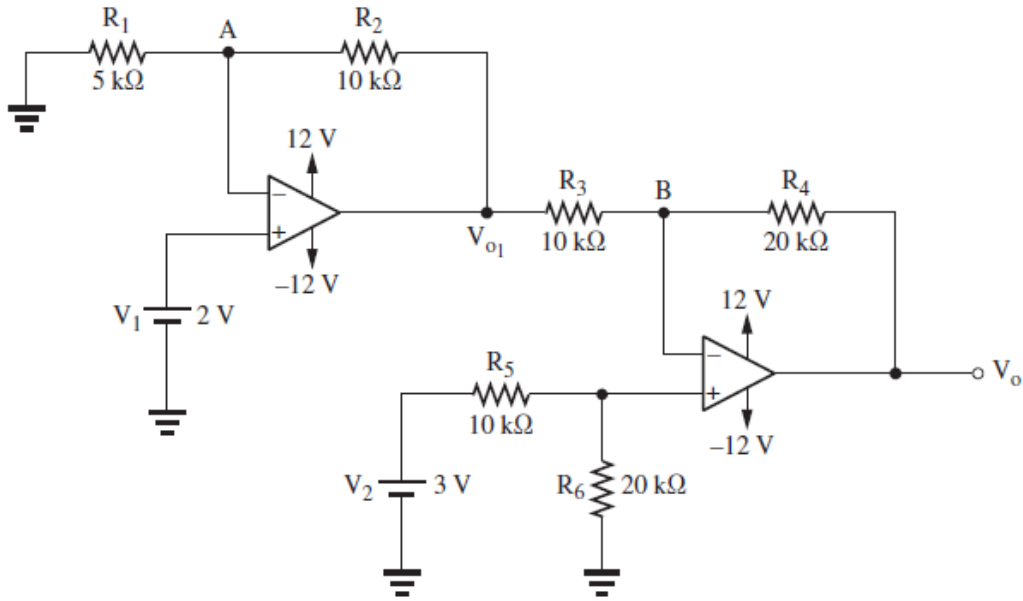
مقاومة الـ LDR تتغير كدالة لشدة الإضاءة عليه، كما يظهر في الرسم التوضيحي "ب" للسؤال 3.



الرسم التوضيحي "ب" للسؤال 3

السؤال 5

في الرسم التوضيحي للسؤال 5 مُعطاة دائرة كهربائية تشتمل على مُضخمات تشغيلية مثالية (مغبرיישרת אידיאליים). .



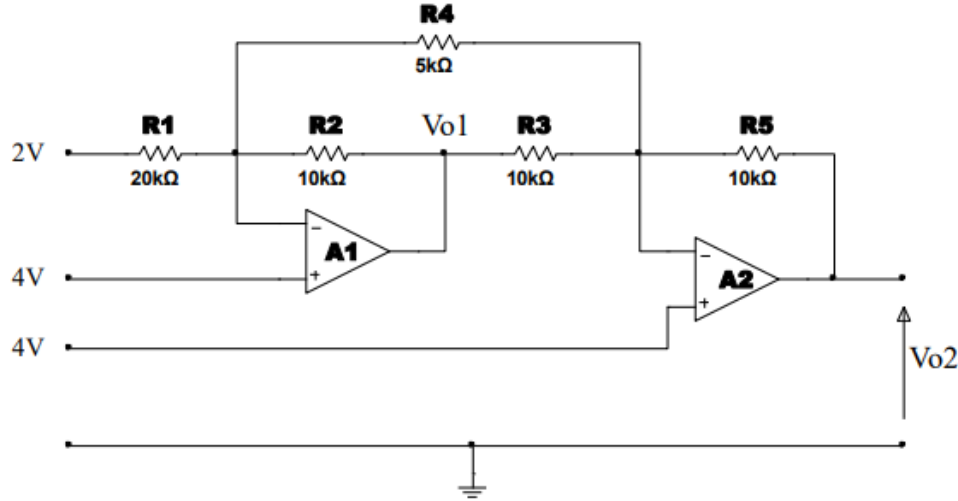
الرسم التوضيحي للسؤال 5

- أ. احسب الجهد (מתח) في النقطة A والجهد (מתח) في النقطة B .
- ب. احسب الجهد (מתח) V_{o1} في مخرج مُضخم التشغيل الأول (מוצא מגבריישרת הראשון).
- ج. احسب جهد المخرج (מתח המוצא) V_o .
- د. فصلنا المقاوم R_4 . احسب جهد المخرج (מתח המוצא) V_o .

الإجابات: أ. $V_A=2V$, $V_B=2V$ ، ب. $V_{o1}=6V$ ، ج. $V_o=-6V$ ، د. $V_o=-12V$

2018 – المثال الأول

السؤال 4: في السؤال التالي، مُعطى دائرة كهربائية فيها مكبرات عمليات مثالية. جهود التزويد للمكبرات هي $\pm 15V$



أ. نوجد الجهود V_{o1} و V_{o2}

ب. نوجد قيمة التيار الخارج من المكبر A1 ونحدد اتجاهه

حدث عطل في الدائرة، وفُصلت المقاومتان R_5 و R_4

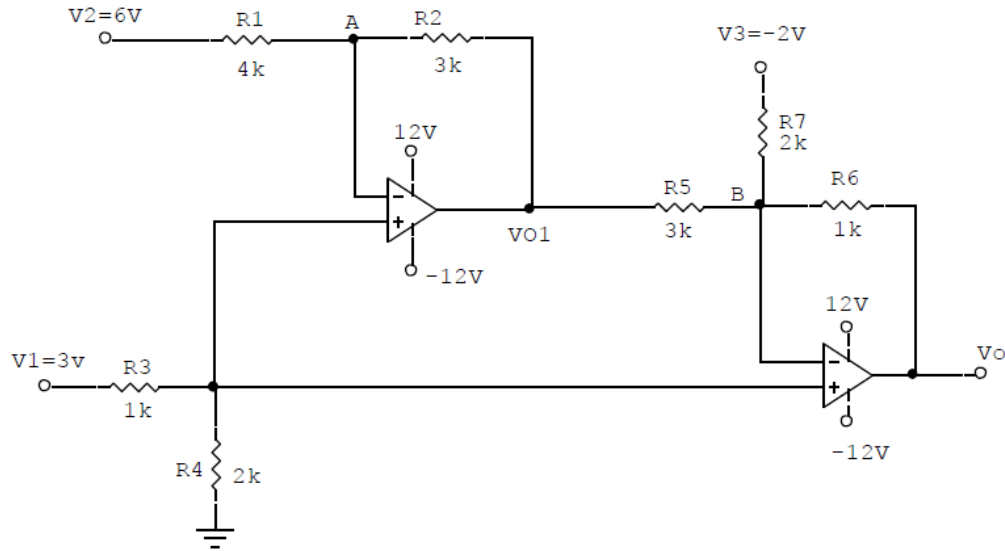
ج. ما هو عمل المكبر A2 في هذه الحالة؟ فسر إجابتك

د. نوجد قيمة كل من الجهد V_{o1} و V_{o2} في هذه الحالة

الإجابات: أ. $V_{o1}=5V$, $V_{o2}=3V$ ، ب. $I_{o1}=0.2mA$ ، د. $V_{o1}=5V$, $V_{o2}=-15V$

2018 – المثال الثاني

السؤال 4: في السؤال التالي، مُعطى دائرة كهربائية فيها مكبرات عمليات مثالية. جهود التزويد للمكبرات هي $\pm 12V$



أ. نوجد جهد كل من النقطتين A و B

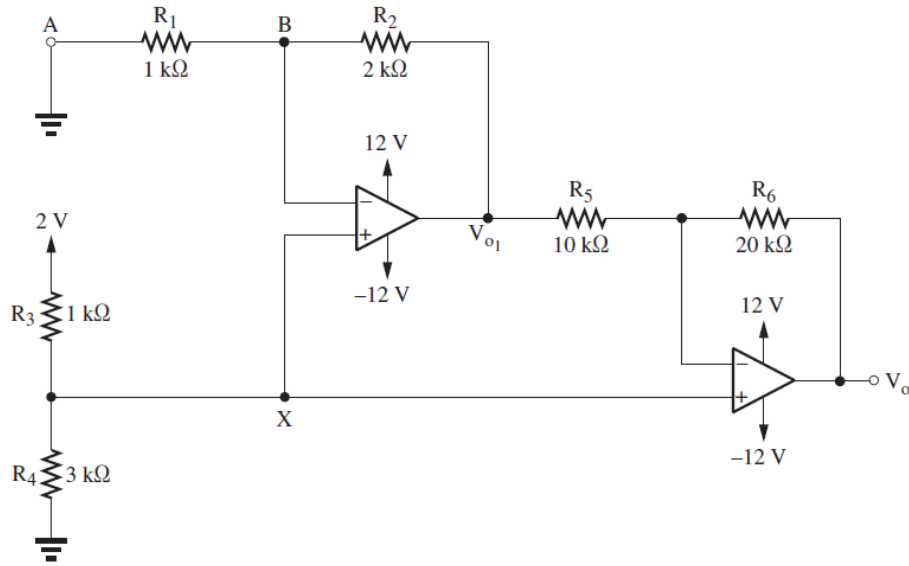
ب. نحسب قيمة $VO1$

ج. نحسب قيمة VO

د. نفصل المقاومة $R6$ ، نحسب قيمة الجهد الخارج VO

الإجابات: أ. $VA=2V$ ، $VB=2V$ ، ب. $VO1=-1V$ ، ج. $VO=5V$ ، د. $VO=12V$

السؤال 1: في السؤال التالي، مُعطى دائرة كهربائية فيها مكبرات عمليات مثالية



أ. نوجد جهد النقطة X

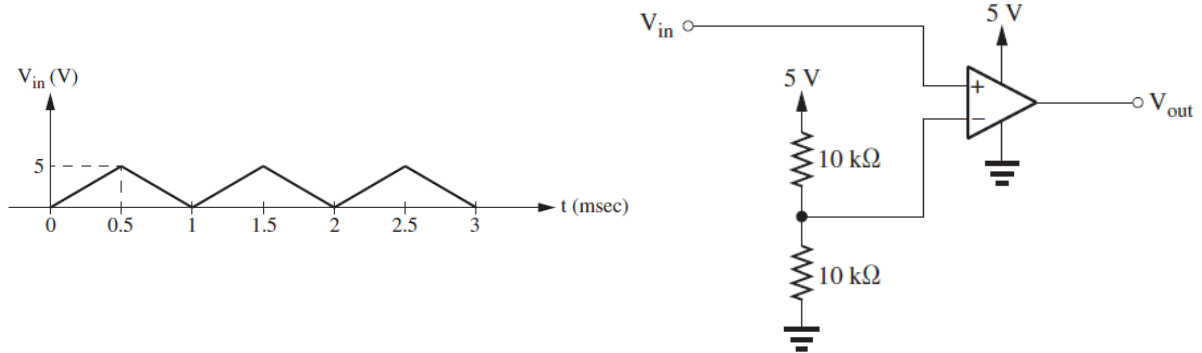
ب. نحسب التيار المار في المقاومة R1 ونحدد اتجاهه (من A إلى B أو من B إلى A)

ج. نحسب قيمة الجهد الخارج من المكبر الأول V_{o1}

د. نحسب قيمة الجهد الخارج V_o

الإجابات: أ. $V_X = 1.5V$ ، ب. $I_{R1} = 1.5mA$ ، ج. $V_{o1} = 4.5V$ ، د. $V_o = -4.5V$

السؤال 4: في السؤال التالي، مُعطى دائرة كهربائية فيها مكبر عمليات مثالي، وبجانبها رسم الإشارة الداخلة

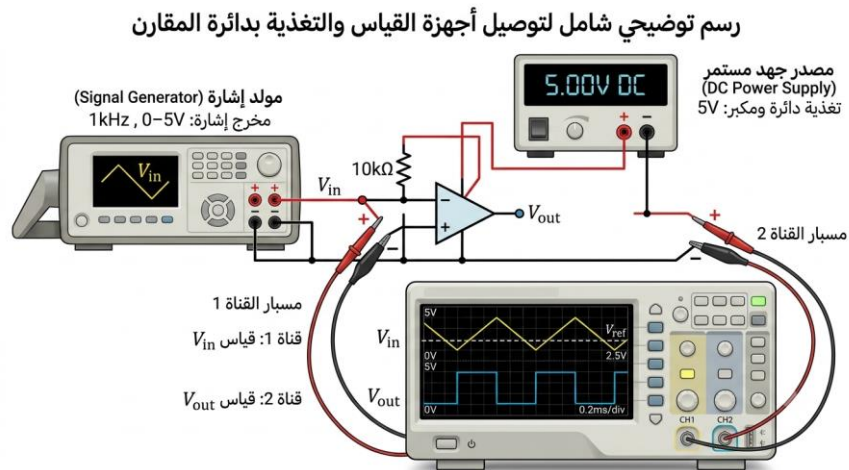


أ. يتوفر لديك ثلاثة أجهزة مولد إشارة (محولل أوتوت) ومسبار (مشكك تنودوت دو عروصي) ومصدر للجهد (5000 ممتح). ننقل رسم الدائرة الى دفتر الإجابة ونضيف الأجهزة بالشكل المناسب من أجل القدرة على قياس الجهد الداخل V_i والجهد الخارج V_o . نحدد القطب الموجب (+) والقطب السالب (-) لكل واحد من الأجهزة.

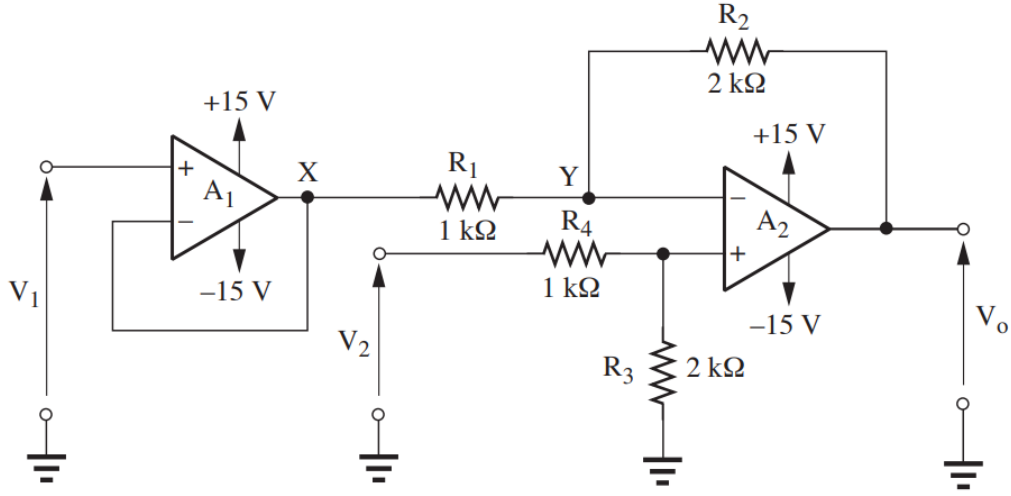
ب. ما هو مقياس الزمن اللازم (Time/Div) من أجل أن نُظهر دورتين من الجهد الداخل بشكل كامل على شاشة مسبار الإشارة؟ فسر إجابتك.

ج. نرسم دورتين لكل من الجهد الداخل V_i والجهد الخارج V_o تحت بعضهما البعض.

الإجابات: ب. على افتراض أن شاشة مسبار الإشارة تحتوي على 10 تقسيمات أفقية، فإن مقياس الزمن المطلوب هو: $\text{Time/Div}=0.2\text{ms}$



السؤال 1: مُعطى دائرة كهربائية فيها مكبر عمليات مثالي



أ. ما هو عمل المكبر A_1 وما هي معادلته

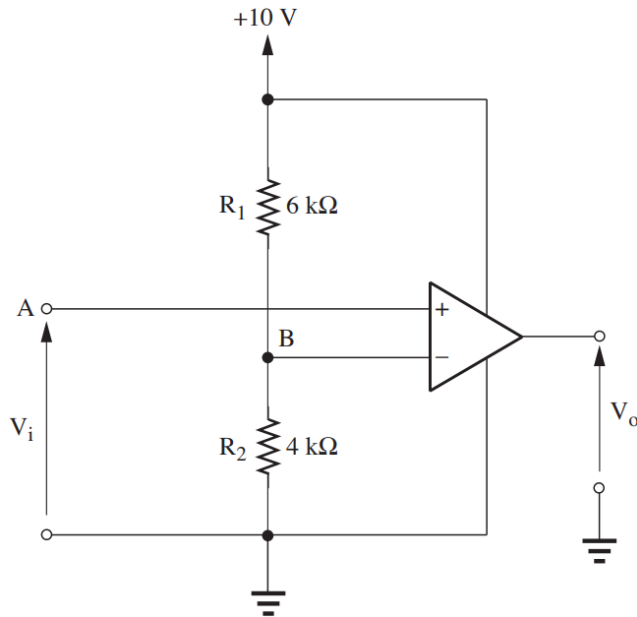
ب. معطى: $V_2 = 6V$, $V_1 = 1V$

1. نحسب الجهد عند النقطة X والجهد الخارج V_o

2. نحسب شدة التيار عبر المقاومة R_1 ونحدد اتجاهه (من Y الى X أو من X الى Y)

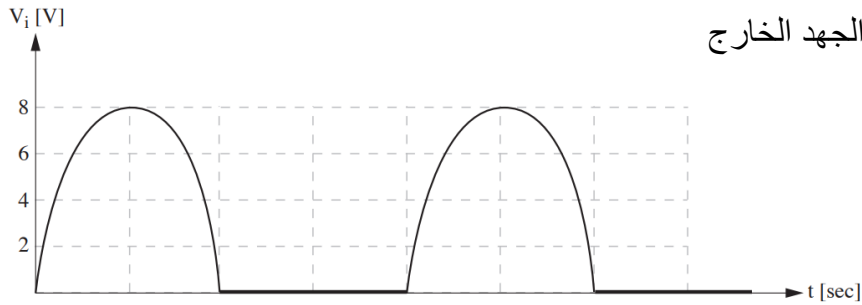
الإجابات: أ. Voltage follower, $V_x = V_1$ ، ب. $V_x = 1V$, $V_o = 10V$, $I_{R1} = 3mA$

السؤال 5: مُعطى دائرة كهربائية فيها مكبر عمليات مثالي يعمل كمقارن

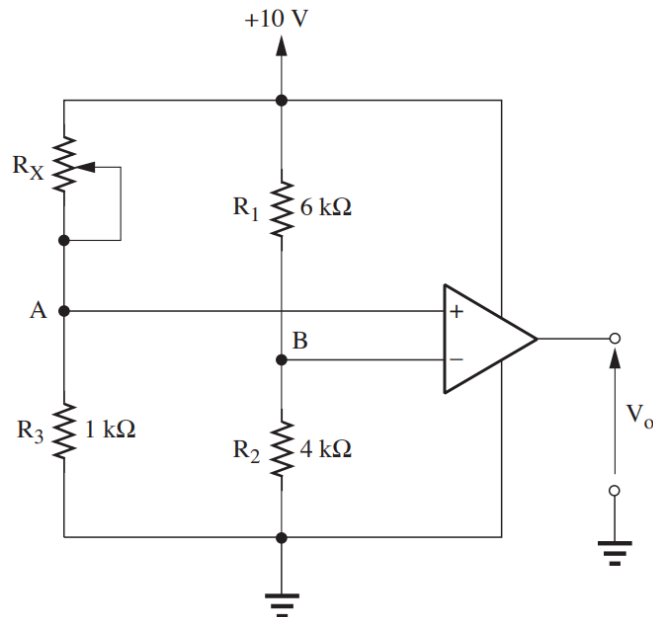


- أ. نحسب الجهد عند النقطة B
 ب. نرسم العلاقة بين الجهد الخارج والجهد الداخل $V_o = f(V_i)$

ج. يتم تزويد الجهد التالي الى مدخل الدائرة، ننقل الرسمة الى دفتر الإجابة ونرسم أسفل منه، بشكل دقيق، الجهد الخارج

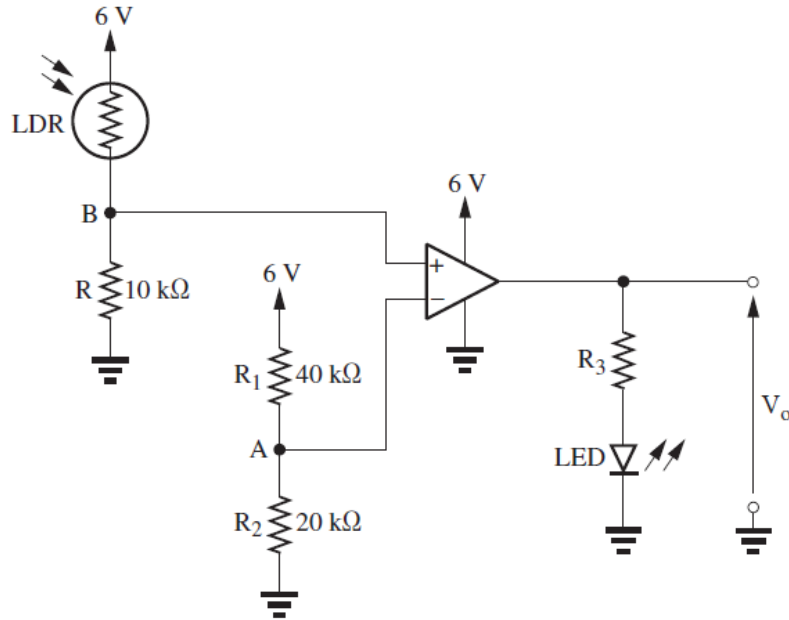


د. في الرسمة التالية، نحسب أعلى قيمة للمقاومة المتغيرة R_x من أجل الحصول على جهد خارج 10V

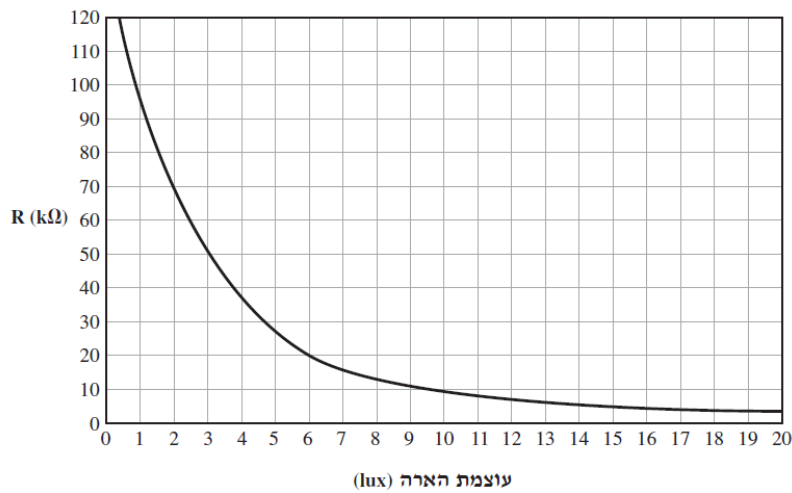


الإجابات: أ. $V_B = 4V$ ، د. $R_x < 1.5k\Omega$

السؤال 3: في السؤال التالي، مُعطى دائرة كهربائية فيها مكبر عمليات مثالي ومصباح LED، ومقاومة ضوئية (LDR – Light Dependent Resistor). مُعطى كذلك أن $V_{LED}=1.5V$.



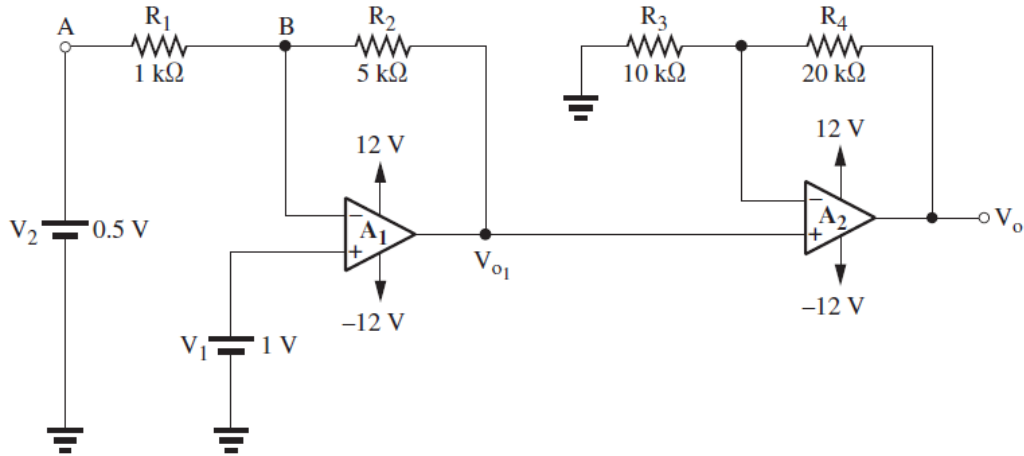
فيما يلي منحنى العلاقة بين شدة الإضاءة وقيمة المقاومة الضوئية R_{LDR}



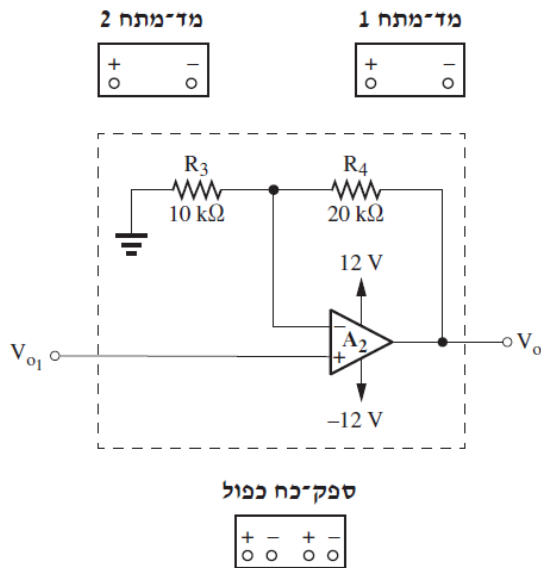
- د. ما هي قيم جهد النقطة B والتي تجعل المصباح يُضيء
 ه. بمساعدة المنحنى، ما هي شدة الإضاءة بوحدة الـ LUX والتي تجعل المصباح يُضيء
 و. نحسب قيمة المقاومة R_3 ، إذا كان التيار المار في المصباح يساوي 10mA

الإجابات: أ. $V_B > 2V$ ، ب. $LUX > 6$ ، ج. $R_3 = 450\Omega$

السؤال 4: في السؤال التالي، مُعطى دائرة كهربائية فيها مكبرات عمليات مثالية



- نحسب التيار المار في المقاومة R_1 ونحدد اتجاهه (من A الى B أو من B الى A)
- نحسب قيمة الجهد الخارج من المكبر الأول V_{o1}
- نحسب قيمة الجهد الخارج V_o
- نرغب بقياس معامل التكبير للجزء التالي من الدائرة. يتوفر لديك جهازي قياس جهد (فولتميتر) ومصدر للجهد ذو قناتين (ספוק מתח).



1. ننقل رسمة الدائرة الى دفتر الإجابة

ونربط الأجهزة بالشكل المناسب

2. اشرح كيف يمكن معرفة معامل

التكبير بالاعتماد على قياسات

الأجهزة

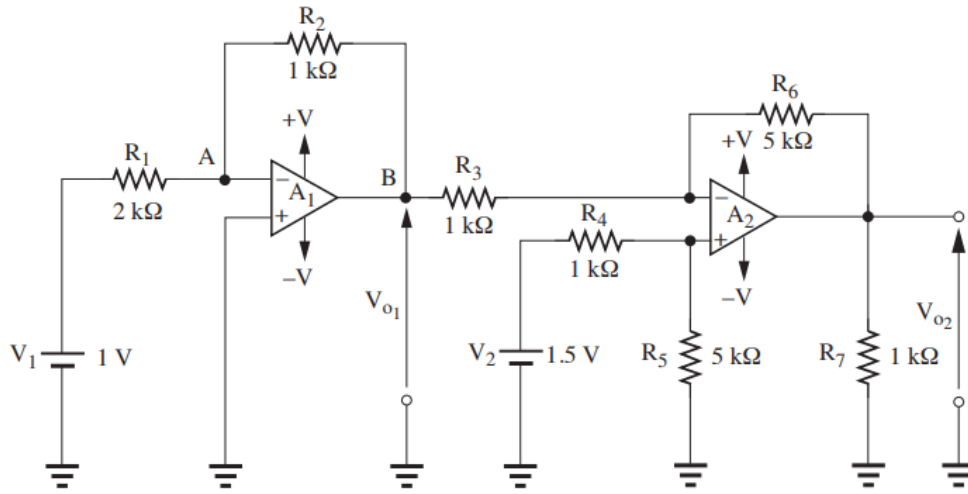
الإجابات: أ. $I_{R1}=0.5mA$ ، ب. $V_{o1}=3.5V$ ،

ج. $V_o=10.5V$ ، د. $A_v=3$

نربط مصدر الجهد مكان V_{o1} كدخل للمكبر الثاني، مع توحيد الأرضي. نضع فولتميتر 1 بين دخل المكبر الثاني والأرضي لقياس V_{in} ، ونضع فولتميتر 2 بين V_o والأرضي لقياس V_{out} .

2016 – المثال

السؤال 3: في السؤال التالي، مُعطى دائرة كهربائية فيها مكبرات عمليات مثالية



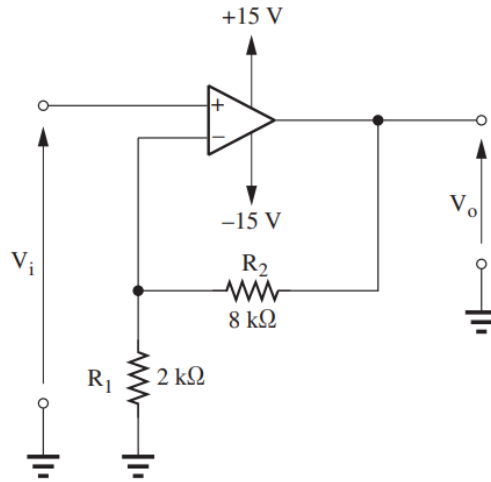
أ. نحسب قيمة الجهد الخارج من المكبر الأول V_{o1}

ب. نحسب التيار المار في المقاومة R_2 ونحدد اتجاهه (من A الى B أو من B الى A)

ج. نحسب قيمة الجهد الخارج V_{o2}

الإجابات: أ. $V_{o1} = -0.5V$ ، ب. $I_{R2} = 0.5mA$ ، ج. $V_{o2} = 10V$

السؤال 4: في السؤال التالي، مُعطى دائرة كهربائية فيها مكبر عمليات مثالي



أ. يتوفر لديك ثلاثة أجهزة مولد إشارة (محولل אותות) ومسبار (משקף תנודות דו ערוצי) ومصدر للجهد (ספק מתח). ننقل رسمة الدائرة الى دفتر الإجابة ونضيف الأجهزة بالشكل المناسب من أجل القدرة على قياس الجهد الداخل V_i والجهد الخارج V_o . نحدد القطب الموجب (+) والقطب السالب (-) لكل واحد من الأجهزة.

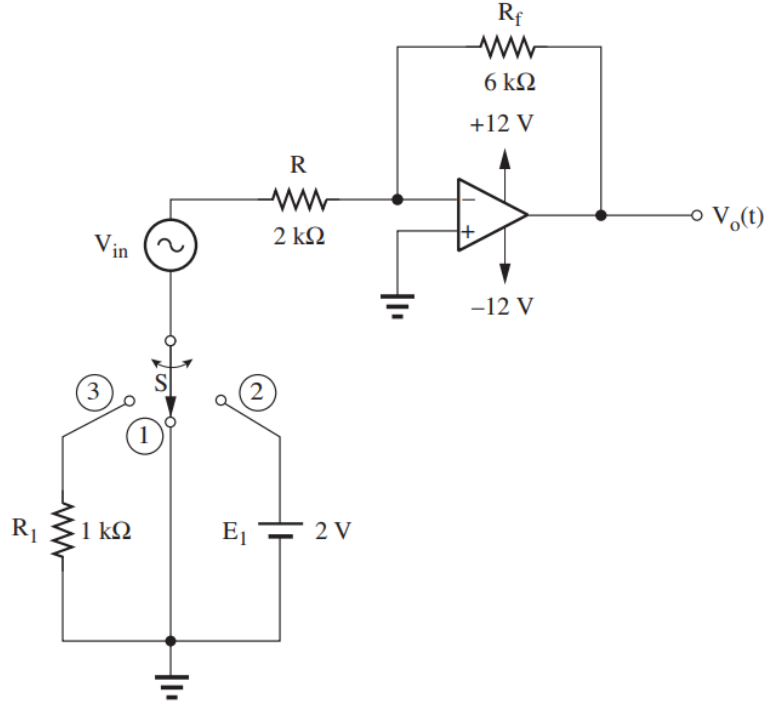
ب. مُعطى $V_i = 2 \sin(2000\pi t)$ [V]. نرسم الجهد V_i وأسفل منه الجهد V_o ، بشكل دقيق كما يظهر على مسبار الإشارة

ج. ما هي قيمة معيار الزمن (Time/Div) من أجل أن يظهر دورتين على شاشة مسبار الإشارة

الإجابات: ب. $V_o = 10 \sin(2000\pi t)$ ، ج. اذا كانت الشاشة 10 مربعات أفقية، Time/Div=0.2ms

السؤال 2: في السؤال التالي، مُعطى دائرة كهربائية فيها مكبر عمليات مثالي. يوجد للمفتاح ثلاثة حالات

(1) و (2) و (3). معطى: $V_{in}(t) = 2\sin(\omega t)$



أ. نكتب معادلة الجهد $V_o(t)$ عندما يكون المفتاح عند النقطة (1)

ب. ننقل المفتاح الى النقطة (3)، نكتب معادلة الجهد $V_o(t)$

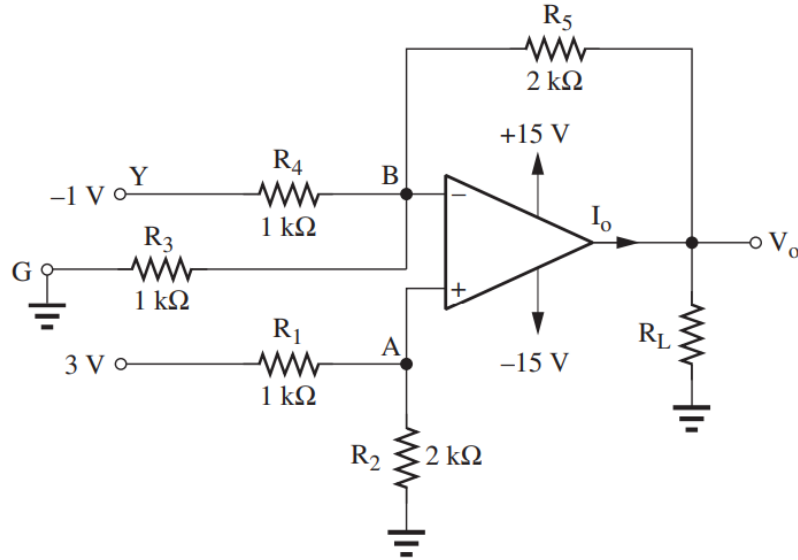
ج. ننقل المفتاح الى النقطة (2)

1. نكتب معادلة الجهد $V_o(t)$

2. نرسم شكل الجهد $V_o(t)$ كدالة بدلالة الزمن

الإجابات: أ. $V_o(t) = -6\sin(\omega t)$ ، ب. $V_o(t) = -4\sin(\omega t)$ ، ج. $V_o(t) = -6 - 6\sin(\omega t)$

السؤال 2: في السؤال التالي، مُعطى دائرة كهربائية فيها مكبر عمليات مثالي.



أ. ما هي قيمة الجهد عند النقاط A و B. فسر اجابتك.

ب.

1. نحسب التيار المار في المقاومة R3 ونحدد اتجاهه (من G الى B أو من B الى G)

2. نحسب التيار المار في المقاومة R4 ونحدد اتجاهه (من Y الى B أو من B الى Y)

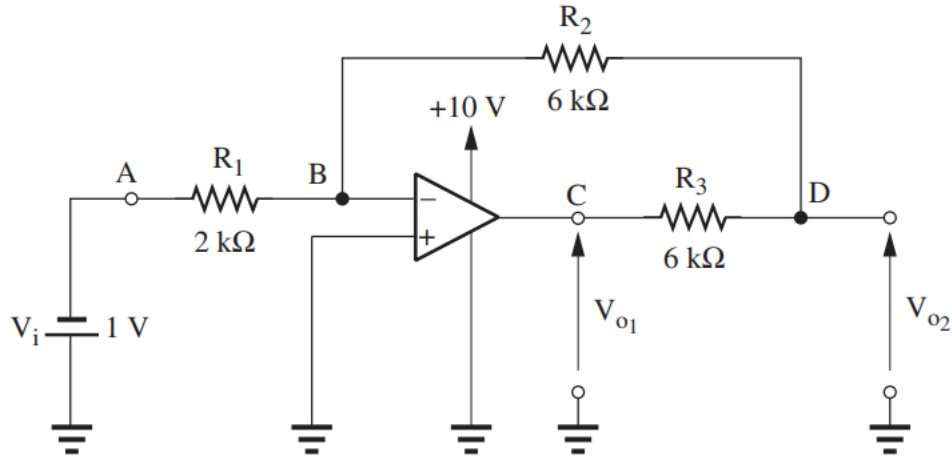
ج. نحسب قيمة الجهد الخارج V_0

د. ما هي القيمة الدنيا (الأقل) للمقاومة R_L ، إذا كانت أعلى قيمة للتيار الخارج من المكبر هي

$$I_{\text{omax}} = 17\text{mA}$$

الإجابات: أ. $V_A = V_B = 2\text{V}$ ، ب. $I_{R3} = 2\text{mA}$ ، $I_{R4} = 3\text{mA}$ ، ج. $V_0 = 12\text{V}$ ، د. $R_{L\text{min}} = 1\text{k}\Omega$

السؤال 1: في السؤال التالي، مُعطى دائرة كهربائية فيها مكبر عمليات مثالي.

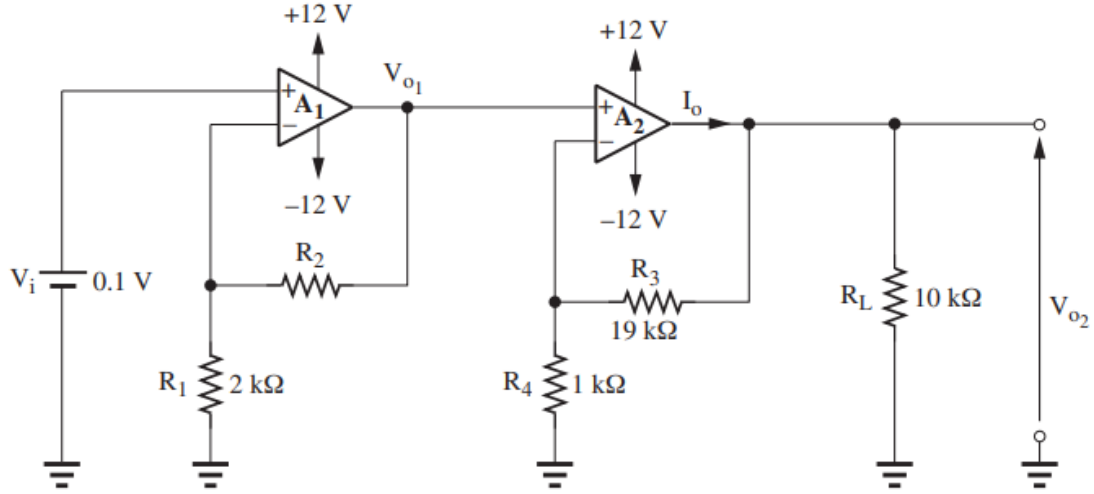


- أ. نحسب التيار المار في المقاومة R_1 ونحدد اتجاهه (من A إلى B أو من B إلى A)
 ب. ما هي قيمة واتجاه التيار المار في المقاومة R_2 . ما هي قيمة واتجاه التيار المار في المقاومة R_3 . فسر اجابتك.

ج. نحسب قيمة الجهود V_{o1} و V_{o2}

الإجابات: أ. $I_1 = 0.5 \text{ mA}$, A to B. ب. $I_3 = I_2 = I_1 = 0.5 \text{ mA}$, C to D & D to B. ج. $V_{o1} = 6 \text{ V}$, $V_{o2} = 3 \text{ V}$.

السؤال 1: في السؤال التالي، مُعطى دائرة كهربائية فيها مرحلتي تكبير A_1 و A_2 . مكبرات العمليات مثالية. مكبر الجهد الكلي للدائرة هو 100.



نحسب:

أ. تكبير المرحلة الأولى $A_1 = \frac{V_{o1}}{V_i}$

ب. قيمة المقاومة R_2

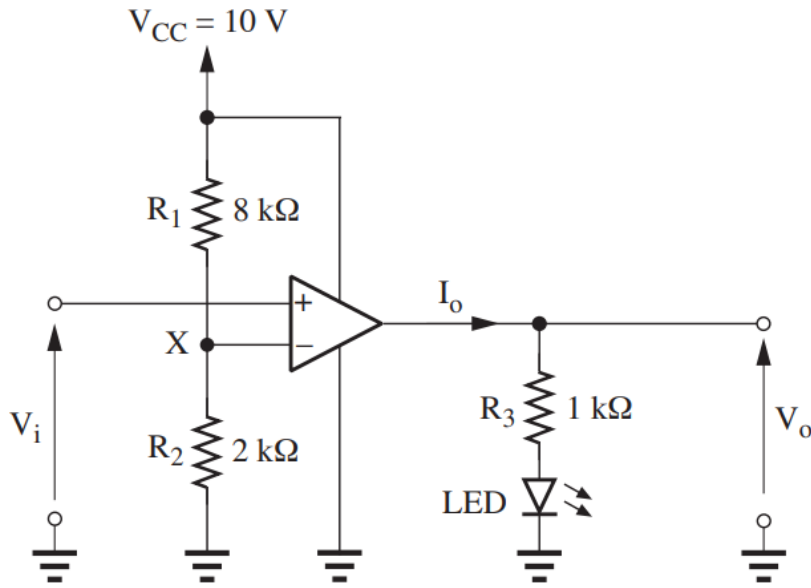
ج. قيمة التيار I_o

د. تكبير المرحلة الثانية A_2 بوحدة الديسيبل (dB)

الإجابات: أ. $A_1=5$ ب. $R_2=8k\Omega$ ج. $I_o=1.5mA$ د. $A_2=26dB$

السؤال 3:

أ. في الرسم التالي، مُعطى دائرة كهربائية فيها مكبر عمليات مثالي

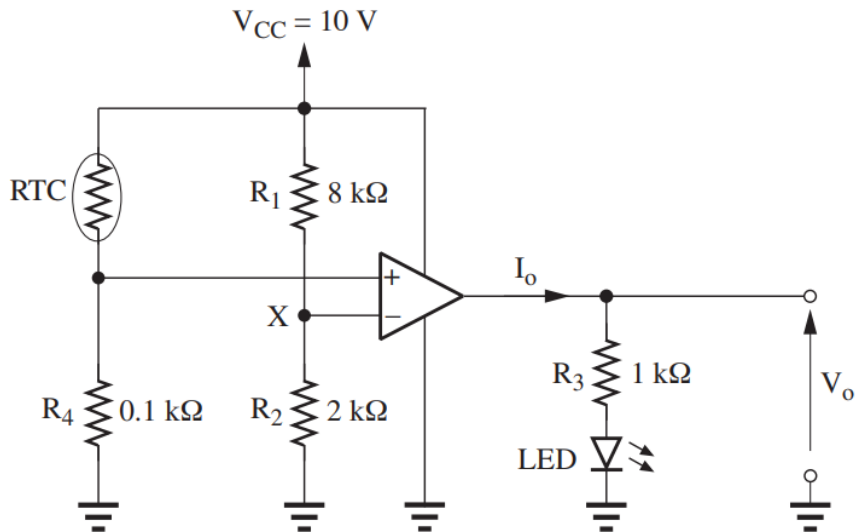


1. نحسب جهد النقطة X

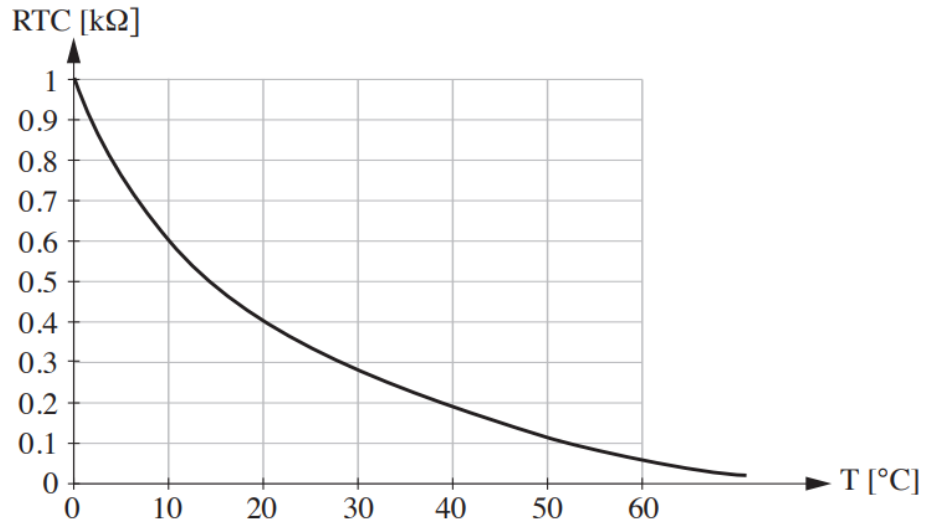
2. نرسم العلاقة بين الجهد الخارج والجهد الداخل $V_o = f(V_i)$

ب. في الرسم التالي دائرة كهربائية فيها مكبر عمليات مثالي. مجس الحرارة (RTC) في الدائرة هو

عبارة عن مقاومة تتأثر قيمتها بدرجة حرارة المحيط. معطى $V_{LED} = 2V$



في الرسم التالي خصائص مجس الحرارة (RTC) مجر بمساعدة المنحنى، والذي يصف قيمة المقاومة كدالة بدلالة حرارة البيئة المحيطة.

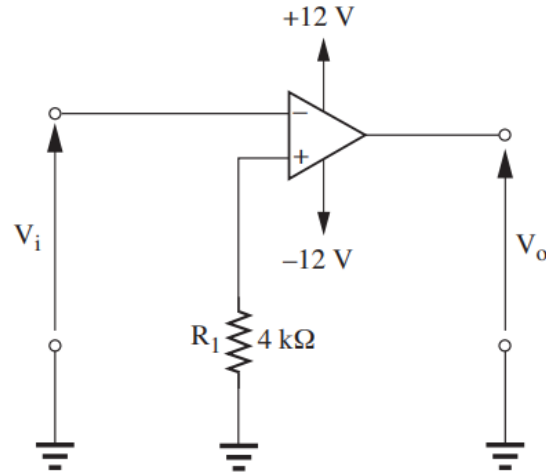


1. نزيد درجة حرارة المجس (RTC) بدءاً من $0^{\circ}C$. حتى أية درجة حرارة يبقى المصباح

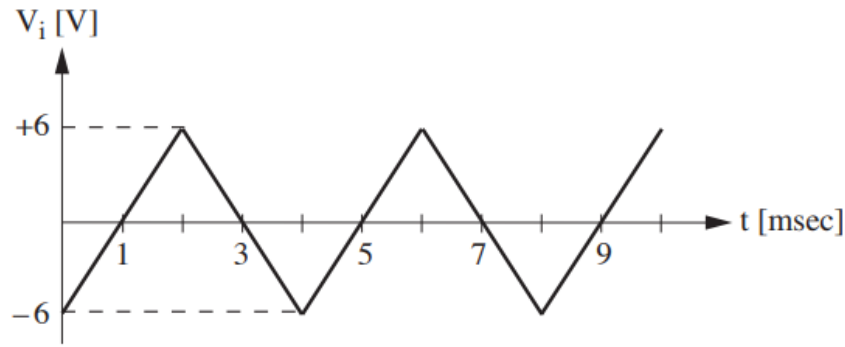
(LED) مطفى

2. نحسب شدة التيار بمخرج المكبر عند اضاءة المصباح

السؤال 3: في السؤال التالي، مُعطى دائرة كهربائية فيها مكبر عمليات مثالي



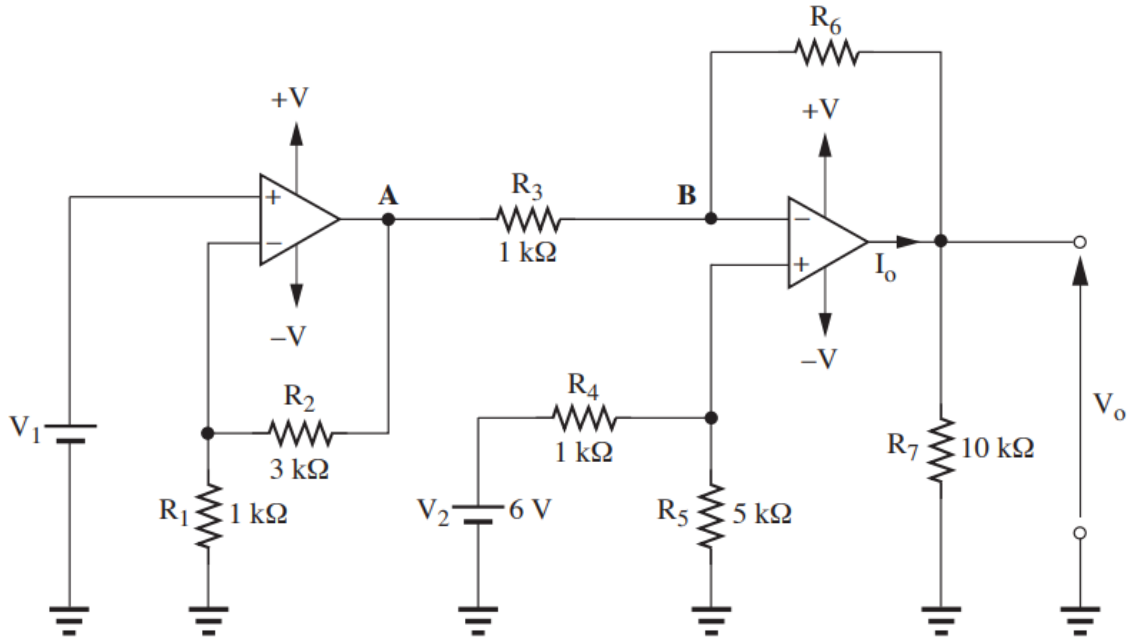
نزود الجهد التالي على مدخل المكبر



أ. نرسم العلاقة بين الجهد الخارج والجهد الداخل $V_o = f(V_i)$

ب. ننقل رسم الجهد الداخل الى دفتر الإجابة ونرسم أسفله، بشكل دقيق، الجهد الخارج

السؤال 5: في الرسم التالي، مُعطى دائرة كهربائية فيها مكبري عمليات مثاليين. معطى الجهد عند النقطة A يساوي $V_A = 4V$ والتيار الخارج $I_o = 2mA$



أ. نحسب الجهد V_1

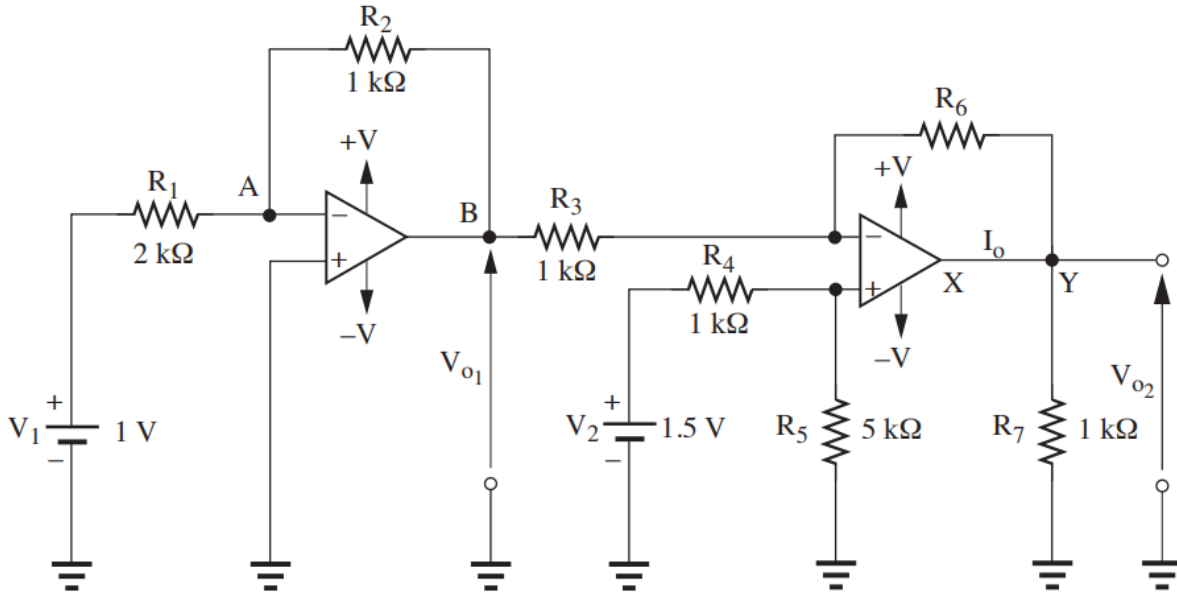
ب. نحسب الجهد عند النقطة B

ج. نحسب الجهد الخارج V_o

د. نحسب قيمة المقاومة R_6

الإجابات: أ. $V_1 = 1V$ ، ب. $V_B = 5V$ ، ج. $V_o = 10V$ ، د. $R_6 = 5k\Omega$

السؤال 3: في الرسم التالي، مُعطى دائرة كهربائية فيها مكبري عمليات مثاليين.



أ. نحسب الجهد V_{01}

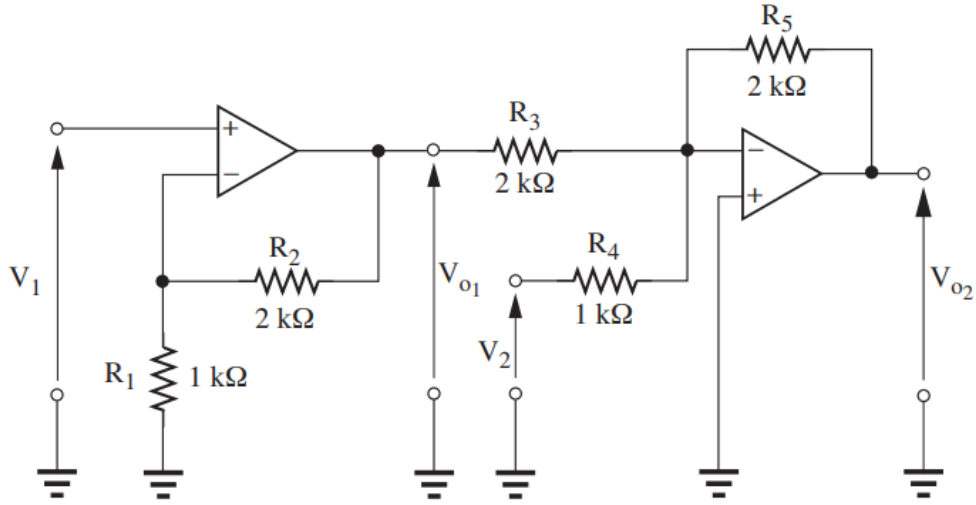
ب. نحسب شدة التيار في المقاومة R_2 ونحدد اتجاهه (من A إلى B أو من B إلى A)

ج. ما هي قيمة المقاومة R_6 حتى يكون الجهد الخارج $V_{02}=10V$

د. نحسب شدة التيار I_0 ونحدد اتجاهه (من X إلى Y أو من Y إلى X)

الإجابات: أ. $V_{01}=-0.5V$ ، ب. $I_{R2}=0.5mA$ ، ج. $R_6=5k\Omega$ ، د. $I_0=2.75mA$

السؤال 3: في الرسم التالي، مُعطى دائرة كهربائية فيها مكبري عمليات مثاليين.

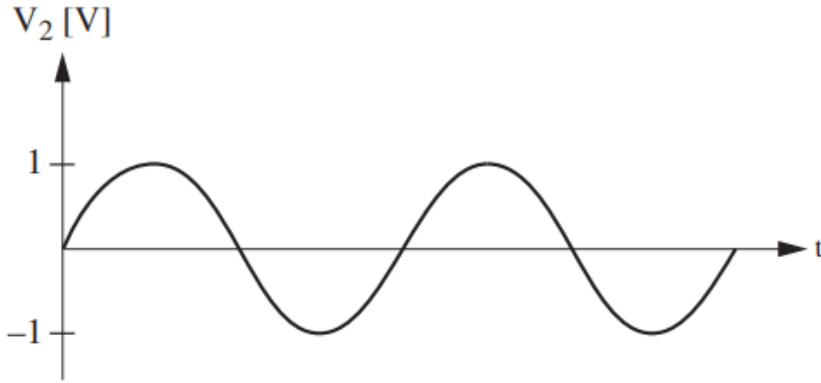


أ. معطى $V_1=2V$, $V_2=-4V$

1. نحسب الجهد الخارج V_{o1}

2. نحسب الجهد الخارج V_{o2}

ب. في الرسم التالي يظهر الجهد V_2 كدالة بدلالة الزمن. يبقى الجهد V_1 دون تغيير.



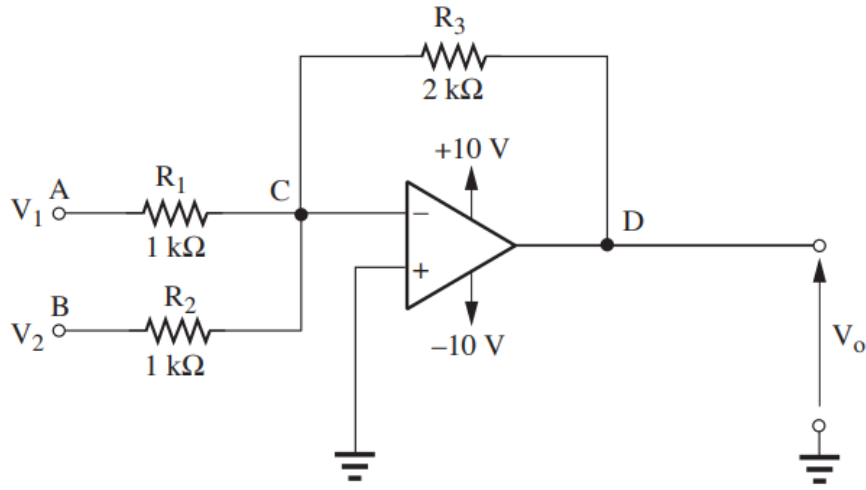
1. ننقل رسم الجهد الداخل V_2 الى دفتر الإجابة ونرسم أسفل منه، بشكل دقيق، الجهد

الخارج V_{o2}

2. نحسب القيمة العليا ونحسب القيمة الدنيا للجهد الخارج V_{o2} ونكتبها على الرسم

الإجابات: أ. $V_{o1}=6V$, $V_{o2}=-14V$

السؤال 1: في السؤال التالي، مُعطى دائرة كهربائية فيها مكبر عمليات مثالي



أ. معطى $V_1=2V$, $V_2=1V$

1. نحسب قيمة الجهد الخارج V_o

2. نحسب شدة التيار في المقاومة R_3 ونحدد اتجاهه (من C الى D أو من D الى C).

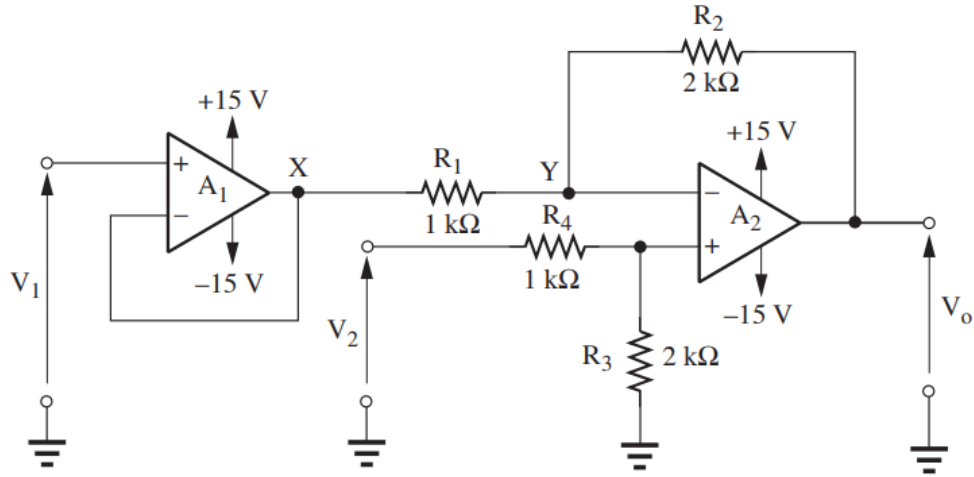
فسر اجابتك.

ب. نغير الجهد الداخل عند النقطة A الى $V_1=1V$. ونربط النقطة B الى الأرضية. نحسب الجهد

الخارج V_o

الإجابات: أ. $V_o=-6V$, $I_{R3}=3mA$ ، ب. $V_o=-2V$

السؤال 4: في الرسم التالي، مُعطى دائرة كهربائية فيها مكبري عمليات مثالين.



أ. ما هو عمل المكبر V_1 وما هي معادلته

ب. معطى $V_1=1V$, $V_2=6V$

1. نحسب الجهد عند النقطة X والجهد الخارج V_o

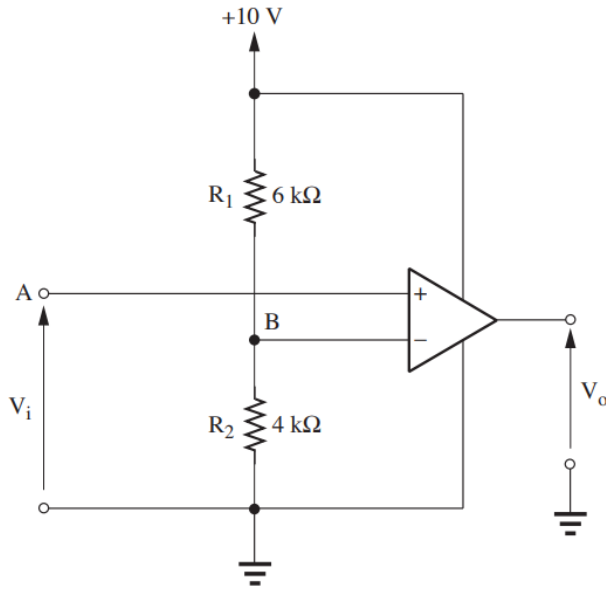
2. نحسب شدة التيار في المقاومة R_1 ونحدد اتجاهه (من X الى Y أو من Y الى X).

فسر اجابتك

الإجابات: أ. $V_x=V_1$ ، ب. $V_x=1V$, $V_o=10V$, $I_{R1}=3mA$

السؤال 5:

أ. مُعطى دائرة كهربائية فيها مكبر عمليات مثالي

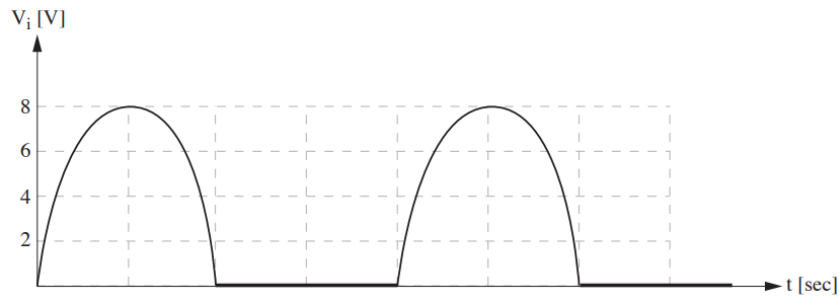


1. نحسب الجهد عند النقطة B

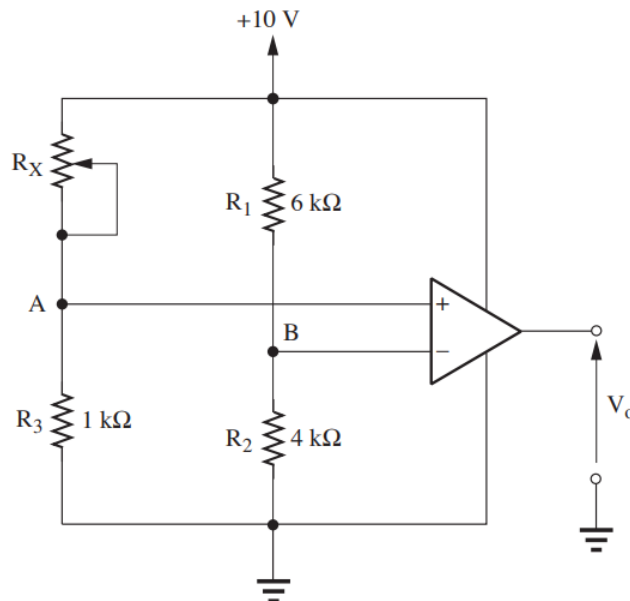
2. نرسم العلاقة بين الجهد الخارج

والجهد الداخل $V_o = f(V_i)$

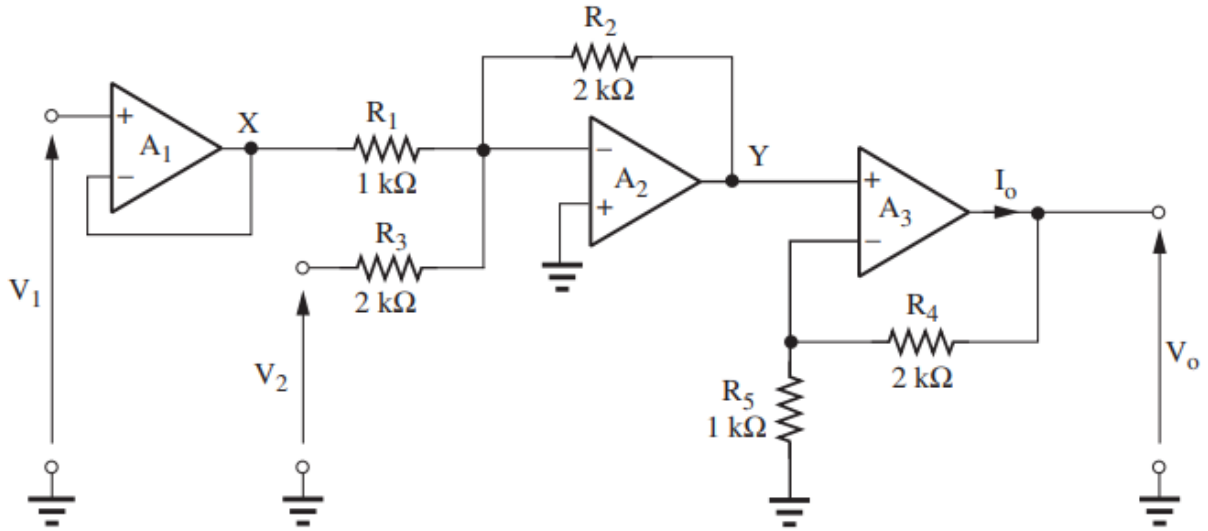
ب. نزود الجهد التالي على مدخل المكبر. ننقل رسم الجهد الداخل الى دفتر الإجابة ونرسم أسفل منه، بشكل دقيق، الجهد الخارج V_o



ج. عند مدخل الدائرة، نربط المقاومة R_3 مع مقاومة متغيرة R_X . كما يظهر في الرسمة التالية. نحسب القيمة القصوى (العليا) للمقاومة المتغيرة من أجل الحصول على جهد خارج V_o يساوي 10V.



السؤال 1: في الرسم التالي، مُعطى دائرة كهربائية فيها مكبرات عمليات مثالية.



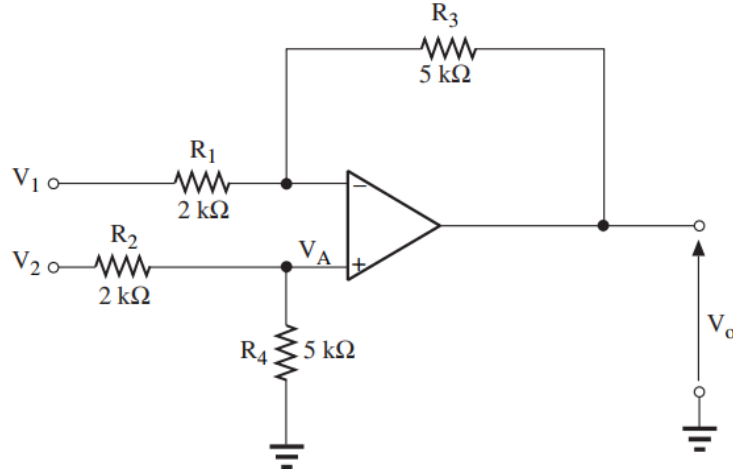
أ. ما هو عمل المكبر V_1 وما هي معادلته

ب. معطى $V_1 = -1V$, $V_2 = -2V$, نحسب الجهد عند النقاط X و Y. ونحسب الجهد الخارج V_o

ج. نحسب شدة التيار I_o

الإجابات: أ. $V_x = V_1$, Voltage Follower. ب. $V_o = 12V$. ج. $I_o = 4mA$

السؤال 1: في السؤال التالي، مُعطى دائرة كهربائية فيها مكبر عمليات مثالي، معطى $V_2=1.4V$, $V_1=-2V$



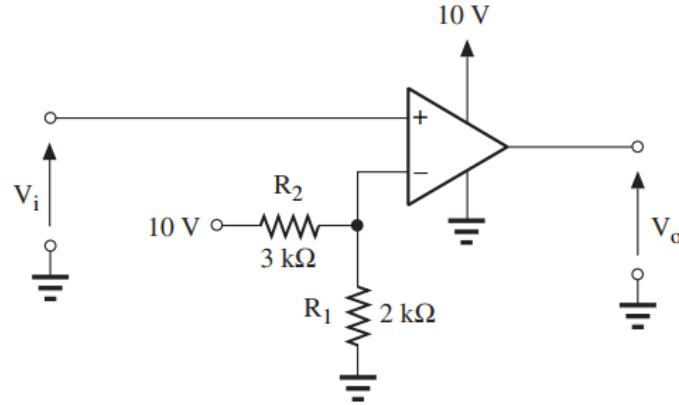
أ. نحسب قيمة الجهد V_A عند المدخل الموجب (+) للمكبر

ب. نحسب الجهد الخارج V_o

ج. نحسب شدة التيار في المقاومة R_1

الإجابات: أ. $V_A=1V$ ، ب. $V_o=8.5V$ ، ج. $I_{R1}=1.5mA$

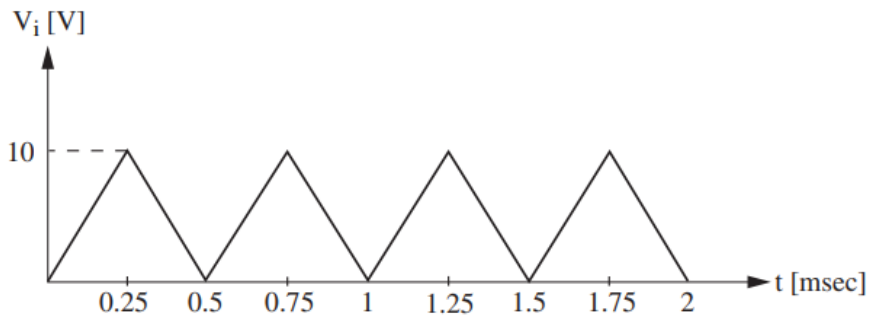
السؤال 5: مُعطى دائرة كهربائية فيها مكبر عمليات مثالي. قيم جهود الإشباع للمكبر هي 10V و 0V.



أ. نحسب الجهد على المقاومة R_1

ب. نرسم العلاقة بين الجهد الخارج والجهد الداخل $V_o = f(V_i)$ للدائرة المعطاة

ج. على مدخل المكبر إشارة مثلثية كما يظهر في الرسم التالي. ننقل رسم الجهد الداخل الى دفتر الإجابة ونرسم أسفل منه، بشكل دقيق، الجهد الخارج V_o

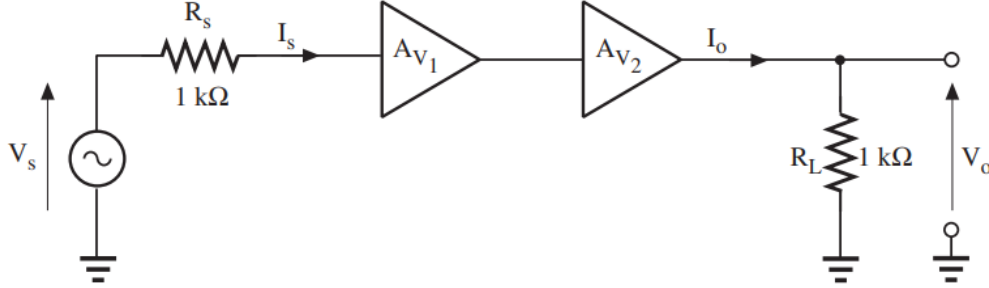


الإجابات: أ. $V_{R1} = 4V$

السؤال 1: مكبري عمليات مرتبطان كسلسلة – שרשרת (Cascading). معطيات المكبرين كما يلي:

$$R_{i1} = 5K\Omega \quad R_{o1} = 0.5K\Omega \quad A_{v1} = 20dB$$

$$R_{i2} = \infty \quad R_{o2} = 0 \quad A_{v2} = 30$$



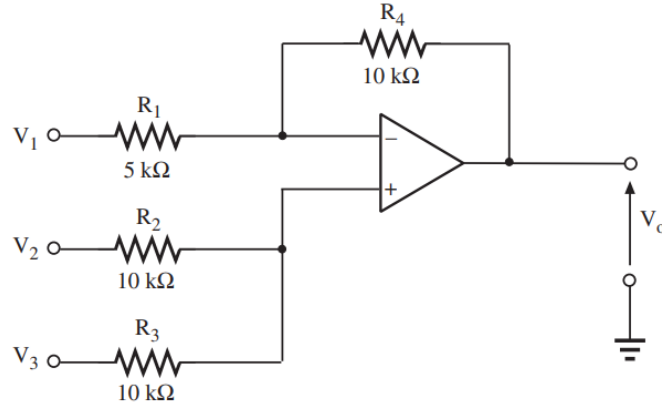
أ. نحسب تكبير الجهد الكلي $A_v = \frac{V_o}{V_s}$

ب. نحسب تكبير التيار الكلي $A_I = \frac{I_o}{I_s}$

ج. نحسب تكبير القدرة $A_P = \frac{P_o}{P_s}$ بوحدة الديسيبل

الإجابات: أ. $A_v = 250$ ، ب. $A_i = 1500$ ، ج. $A_P = 55.7dB$

سؤال 2: في السؤال التالي، مُعطى دائرة كهربائية فيها مكبر عمليات مثالي



أ. عند $V_2 = V_3 = 0V$ ، عبر عن الجهد الناتج V_o بدلالة V_1

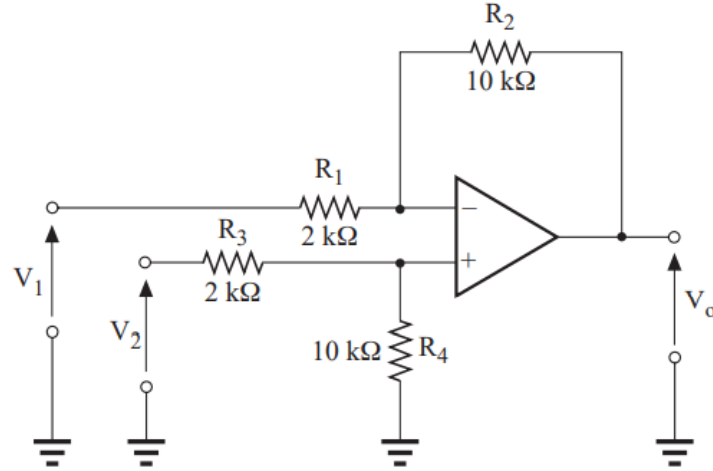
ب. عند $V_1 = V_3 = 0V$ ، عبر عن الجهد الناتج V_o بدلالة V_2

ج. عبر عن الجهد الناتج V_o بدلالة V_1, V_2, V_3

د. نحسب الجهد الخارج V_o إذا كان معطى: $V_1 = 1V, V_2 = 2V, V_3 = -1V$

الإجابات: أ. $V_o = -2V_1$ ، ب. $V_o = 1.5V_2$ ، ج. $V_o = -2V_1 + 1.5V_2 + 1.5V_3$ ، د. $V_o = -0.5V$

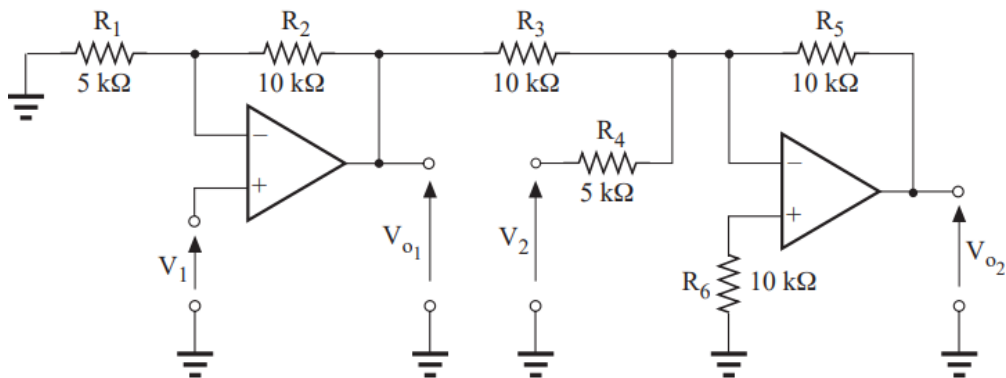
السؤال 1: في السؤال التالي، دائرة مكبر فرق (طارج) فيها مكبر عمليات مثالي



- أ. عبر عن الجهد الخارج V_o بدلالة جهود الدخل V_1 و V_2
 ب. نبذل المقاومة R_4 بمقاومة قيمتها $9K\Omega$. عبر عن الجهد الخارج V_o بدلالة جهود الدخل V_1 و V_2

الإجابات: أ. $V_o = 5V_2 - 5V_1$ ، ب. $V_o = 4.91V_2 - 5V_1$

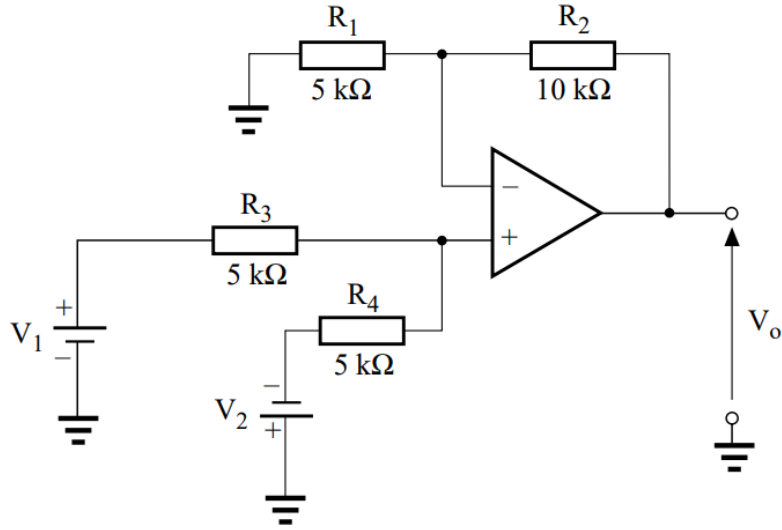
السؤال 5: مُعطى دائرة كهربائية فيها مكبري عمليات مثاليين.



- أ. عبر عن الجهد الخارج V_{o1} بدلالة جهد الدخل V_1
 ب. عبر عن الجهد الخارج V_{o2} بدلالة الجهود V_1 و V_2
 ج. مُعطى $V_1 = -1V$, $V_2 = 2 \sin(\omega t)$ ، نحسب القيمة العليا والقيمة الدنيا للجهد الخارج V_{o2}

الإجابات: أ. $V_{o1} = 3V_1$ ، ب. $V_{o2} = -3V_1 - 2V_2$ ، ج. $V_{o2} = 3 - 4 \sin(\omega t)$

السؤال 1: في السؤال التالي، دائرة فيها مكبر عمليات مثالي



أ. عبر عن الجهد الخارج V_o بدلالة جهود الدخل V_1 و V_2

ب. نحسب قيمة الجهد الخارج V_o عندما $V_1=5V$ و $V_2=3V$

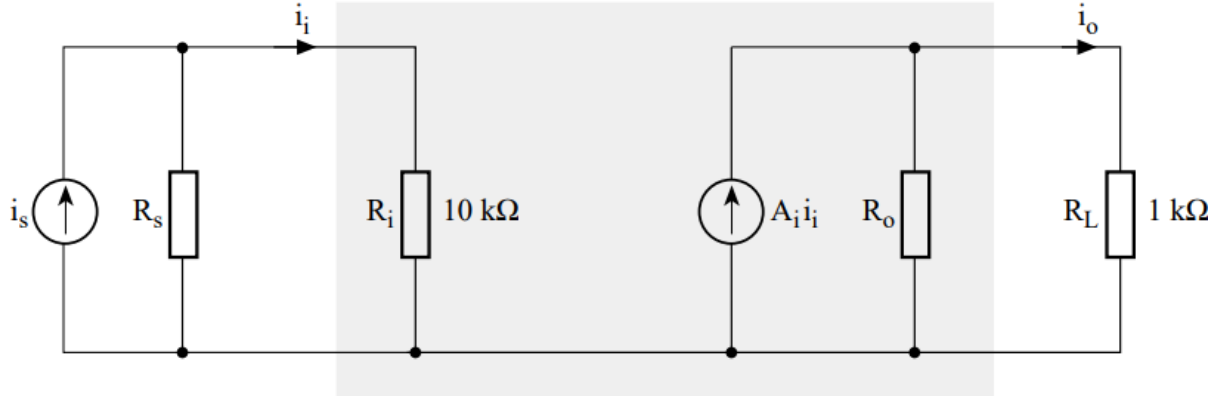
ج. نبدل مصدر الجهد V_1 بإشارة جيبية، ذات ارتفاع 4 فولت من القمة الى القاع. ننقل رسم الجهد

الداخل V_1 ، ونرسم أسفل منه، بشكل دقيق، الجهد الخارج V_o بالنسبة الى الزمن

الإجابات: أ. $V_o = 1.5V_1 - 1.5V_2$ ، ب. $V_o = 3V$ ، ج. $V_{o,min} = -7.5V$

السؤال 1:

معطى الدائرة المكافئة لمكبر تيار. I_s هو تيار المصدر و R_L هي مقاومة الحمل. معطى $A_i = 100$



أ. نحسب تكبير التيار للدائرة $\left(\frac{i_o}{i_s}\right)$ عندما $R_s \rightarrow \infty$ و $R_o \rightarrow \infty$

ب. نحسب تكبير التيار للدائرة $\left(\frac{i_o}{i_s}\right)$ عندما $R_s \rightarrow 10k\Omega$ و $R_o \rightarrow 10k\Omega$

ج. ارسم دائرة لقياس مقاومة الدخل للدائرة، فسر كيف تتم عملية القياس

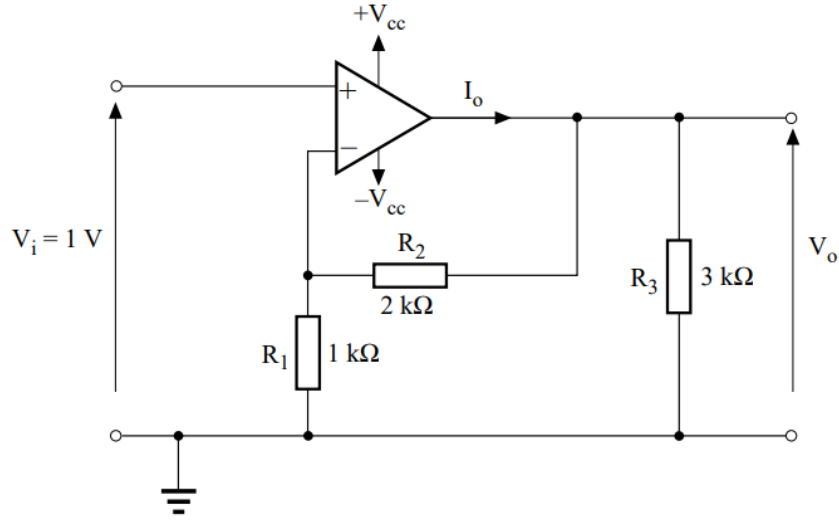
الإجابات: أ. $A_i=100$ ، ب. $A_i=45.45$ ، ج.

نوصل مصدر جهد معلوم على دخل المكبر، ونضع أميتر على التوالي لقياس تيار الدخل i_i ، وفولتميتر على التوازي مع دخل المكبر لقياس V_i .

ثم نحسب:

$$R_i = \frac{V_i}{i_i}$$

السؤال 4 (بتصرف): في السؤال التالي، دائرة فيها مكبر عمليات مثالي



أ. عبر عن الجهد الخارج V_o بدلالة V_i

ب. نحسب قيمة الجهد الخارج V_o

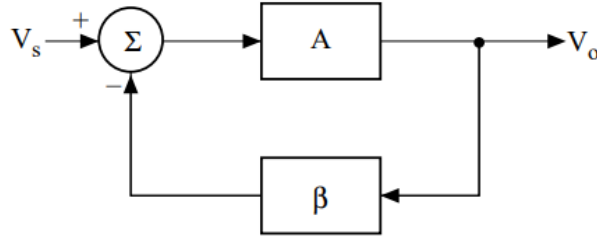
ج. نحسب قيمة التيار I_o

د. نبدل مصدر الجهد V_i بإشارة جيبية، ذات ارتفاع 4 فولت من القمة الى القاع. ننقل رسم الجهد

الداخل V_1 ، ونرسم أسفل منه، بشكل دقيق، الجهد الخارج V_o بالنسبة الى الزمن

الإجابات: أ. $V_o = 3V_i$ ب. $V_o = 3V$ ج. $I_o = 2mA$

السؤال 1: معطى مخطط مربعات لنظام فيه تغذية راجعة سلبية. I_s هو تيار المصدر و R_L هي مقاومة الحمل. معطى $A_i = 100$

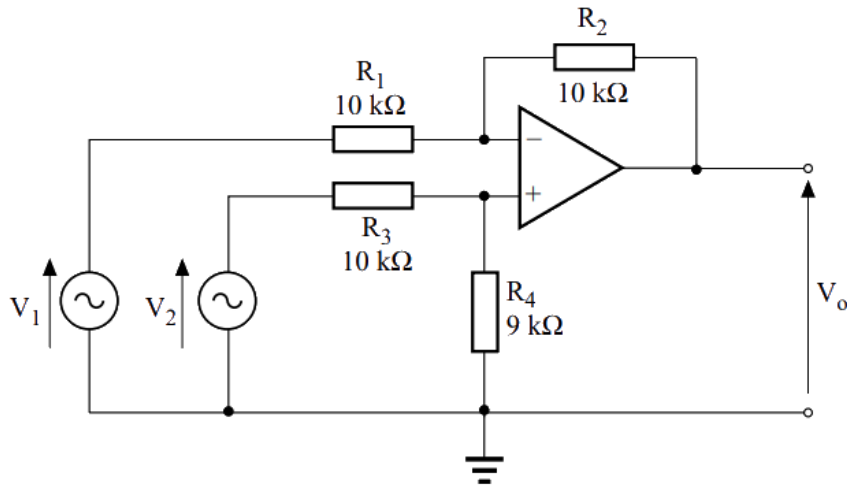


أ. نحسب تكبير الجهد $\left(\frac{V_o}{V_s}\right)$ عندما $A = 100$ و $\beta = 0.1$

ب. اشرح تأثير التغذية الراجعة السلبية على الخصائص التالية لمضخم الجهد: مقاومة الدخل، مقاومة الخرج وعرض النطاق الترددي (Bandwidth).

الإجابات: أ. $Af=9.09$ ، ب. التغذية الراجعة السلبية تقلل معامل التكبير، تزيد مقاومة الدخل، تقلل مقاومة الخرج، وتزيد عرض النطاق الترددي

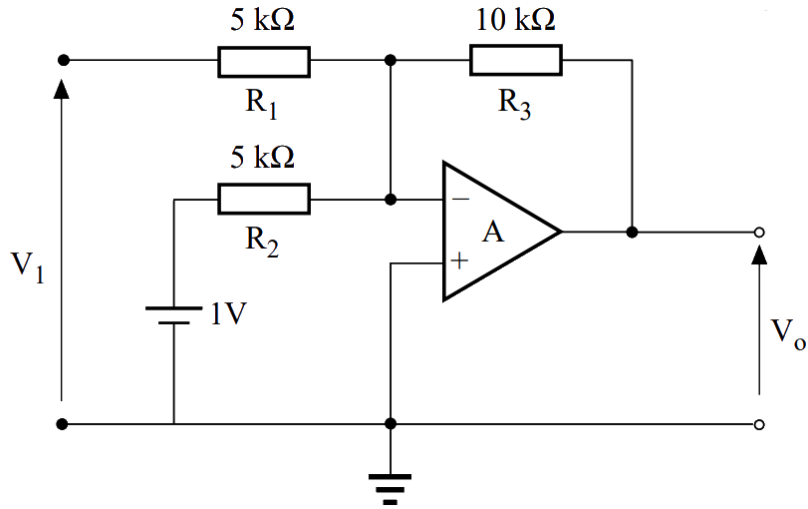
السؤال 2: في السؤال التالي، دائرة فيها مكبر عمليات مثالي



أ. عبر عن الجهد الخارج V_o بدلالة جهود الدخل V_1 و V_2

الإجابات: أ. $V_o=0.947V_2-V_1$

السؤال 3: في السؤال التالي، دائرة فيها مكبر عمليات مثالي



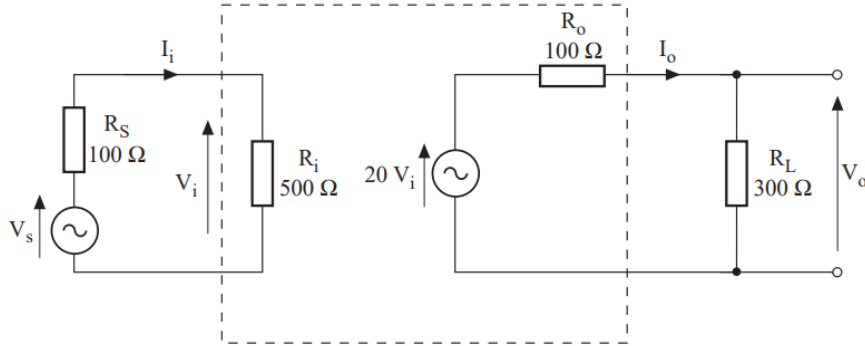
أ. نحسب قيمة الجهد V_1 ونحدد قطبيته، إذا كان الخارج $V_o = 5V_{DC}$

ب. نرسم الجهد الداخل V_1 ، ونرسم أسفل منه، بشكل دقيق، الجهد الخارج V_o بالنسبة الى الزمن.

$$V_1 = 1 \sin(628 t) \text{ إذا كان}$$

الإجابات: أ. $V_1 = -3.5V$ ، ب. $V_o(t) = -2\sin(628t) - 2$

السؤال 1: معطى الدائرة المكافئة لمكبر. نحسب القيم التالية:



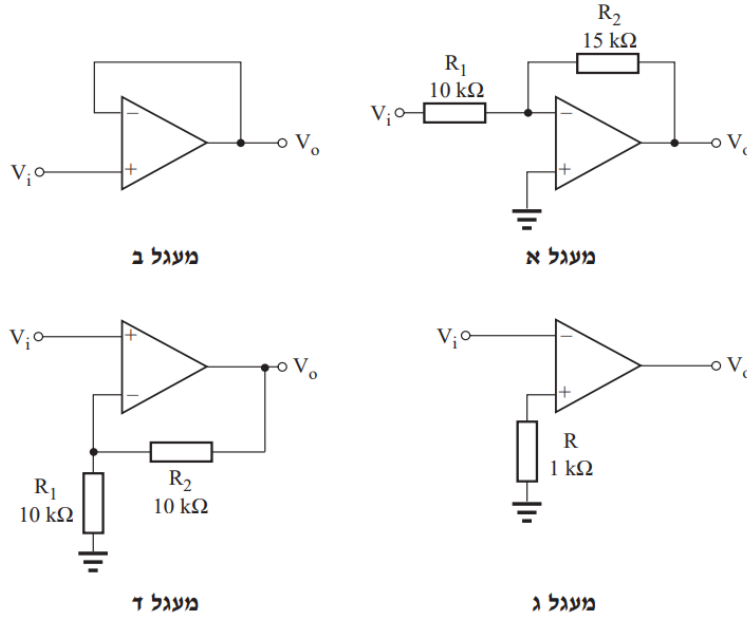
أ. تكبير الجهد للدائرة $\left(\frac{V_o}{V_s}\right)$ ، ونعبر عنه بوحدة الديسيبل (dB)

ب. تكبير التيار للدائرة $\left(\frac{i_o}{i_s}\right)$

ج. تكبير القدرة $\left(\frac{P_o}{P_s}\right)$

الإجابات: أ. $A_v = 12.5 = 21.94 \text{ dB}$ ، ب. $A_i = 25$ ، ج. $A_p = 312.5$

السؤال 2: في السؤال التالي، معطى دوائر فيها مكبرات عمليات مثالية. جهود الإشباع فيها هي $\pm 15 \text{ V}$



أ. نحدد عمل كل دائرة

ب. نزود مصدر جهد جيبي لكل دائرة ارتفاعه 10 فولت من القمة للقاع. نرسم الجهد الداخل كدالة بدلالة الزمن وأسفل منه الجهد الخارج لكل دائرة بشكل دقيق.

المرشحات - מסננים (Filters)

المرشح الإلكتروني هو دائرة كهربائية تقوم بالسماح لترددات محددة من الإشارة الداخلة بالمرور عبرها، وتمنع بقية الترددات من المرور. وهناك مرشحات (خاملة \ سلبية) لا تزيد من (قيمة \ قدرة) الإشارة المارة عبرها وتتكون من مقاومات ومكثفات وملفات. وهناك مرشحات فعالة تزيد من قيمة الإشارة المارة عبرها وتحتوي على مكبرات عمليات بالإضافة للعناصر السابقة.

يتم كذلك تقسيم المرشحات بالنسبة للترددات التي تسمح بمرورها، فمثلا يكون مرشح ترددات منخفضة إذا سمح فقط للإشارات ذات الترددات المنخفضة بالمرور ويكون مرشح ترددات مرتفعة إذا سمح فقط للإشارات ذات التردد المرتفع بالمرور.

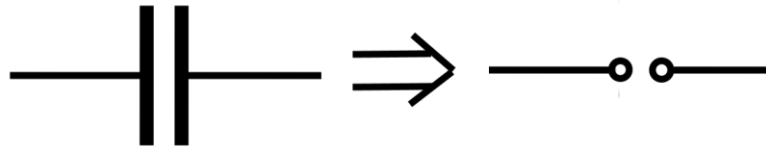
بالإمكان تنفيذ عمل المرشح باستخدام دائرة مقاومة ومكثف على التوالي (RC-Series) وذلك بالاعتماد على طبيعة المكثف أنه يحتاج الى وقت من أجل شحنه.

تذكر أن ممانعة المكثف تعتمد على قيمة تردد الإشارة كما يظهر في المعادلة التالية:

$$X_c = \frac{1}{2\pi f c}$$

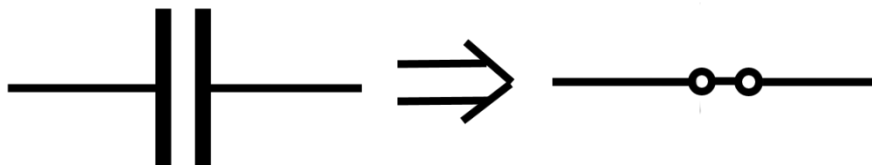
عندما يكون تردد الإشارة منخفض ($f=0$) فإن الممانعة تكون عالية جدا، ونمثل المكثف بدائرة مفتوحة.

$$f = 0$$



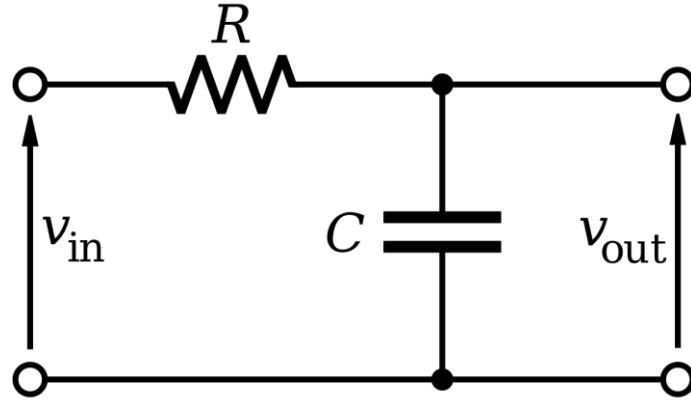
عندما يكون تردد الإشارة عالي ($f=\infty$) فإن الممانعة تكون قليلة، ونمثلها بسلك.

$$f = \infty$$

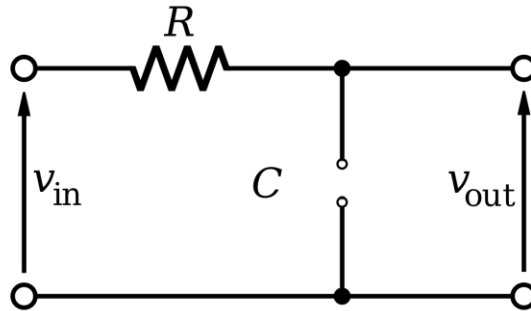


مرشح الترددات المنخفضة (LPF: Low Pass Filter) – מסנן מעביר נמוכים

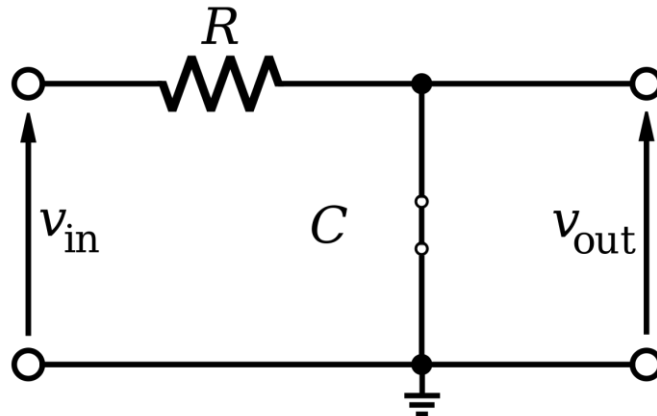
في حالة مرشح الترددات المنخفضة، يتم ربط الجهد الخارج بالتوازي مع المكثف، ويكون الجهد الخارج هو نفسه جهد المكثف.



عندما يكون تردد الإشارة الداخلة قليلا، نستطيع تمثيل الدائرة كما يلي، مما يسمح بمرور الإشارة. ويكون الجهد الخارج يساوي الجهد الداخل ($V_o = V_i$).

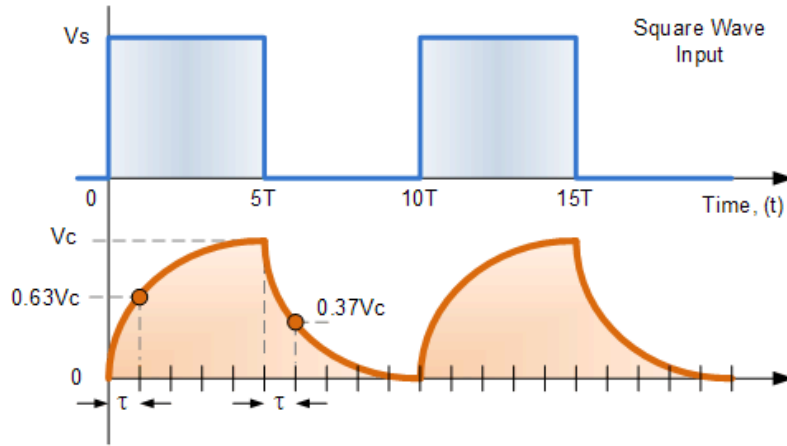


عندما يكون تردد الإشارة الداخلة كبيرا، نستطيع تمثيل الدائرة كما يلي، مما يمنع مرور الإشارة. ويكون الجهد الخارج يساوي صفرا لأنه يرتبط مع الأرضية بشكل مباشر ($V_o = 0$).



هناك العديد من الخصائص للمرشحات وذلك عند النظر الى تأثير المرشح على الإشارة عند رسمها بالنسبة للزمن أو بالنسبة للتردد. نهتم في هذه المرحلة الدراسية بدراسة تأثير المرشح على الإشارة الداخلة في حال كونها إشارة مربعة - אות מדרגה ومعرفة ماهي الإشارة الخارجة (Step Response).

يكون الشكل العام للجهد الداخل والجهد الخارج للمرشح في هذه الحالة كما يلي:



نلاحظ أن قيمة الجهد عند الزمن $t = \tau$ تساوي 0.63 من قيمة أعلى جهد. وأن قيمة الجهد عند الزمن $t = 5\tau$ تساوي 0.99 من قيمة أعلى جهد.

يتم وصف الجهد الخارج باستخدام المعادلة التالية:

$$V_O(t) = V_{\infty} - (V_{\infty} - V_O^+) \cdot e^{-\frac{\Delta t}{\tau}}$$

وفيما يلي تفسير الرموز الظاهرة في المعادلة:

- τ ثابت الزمن للشحن والتفريغ للمكثف وهو الزمن اللازم لشحن أو تفريغ 63% من قيمة الجهد. ونلاحظ أن مرور خمسة أضعاف هذا الزمن يؤدي الى شحن أو تفريغ 99% من الجهد. ونحسب ثابت الزمن باستخدام المعادلة:

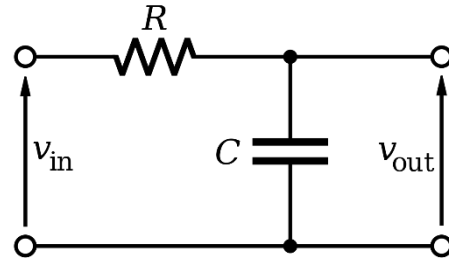
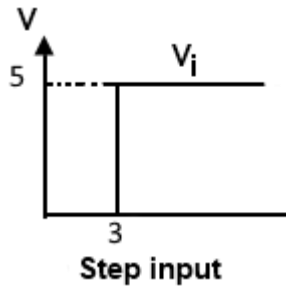
$$\tau = RC$$

- الأساس (e): هو العدد النيبيري، وهو عدد ثابت قيمته التقريبية 2.71
- فرق الزمن بعد آخر تغيير في قيمة الجهد الداخل: $\Delta t = t_2 - t_1$
- قيمة الجهد الخارج بعد فترة زمنية قصيرة جدا بعد التغيير في قيمة الجهد الداخل: V_O^+
- قيمة الجهد الخارج بعد فترة زمنية طويلة بعد التغيير في قيمة الجهد الداخل: V_{∞}

معادلة الزمن في حال معرفة قيمة الجهد:

$$t_2 - t_1 = -\tau \cdot \ln \left(\frac{V_{\infty} - V_O(t)}{V_{\infty} - V_O^+} \right)$$

مثال 1: نوجد ثابت الزمن ونرسم الجهد الخارج للمرشح التالي بدقة ($R=1K\Omega$, $C=1\mu F$)

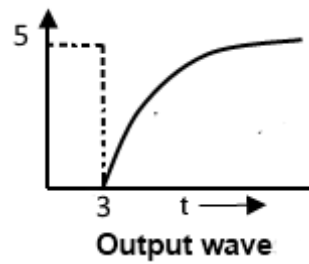


الحل:

أ. ثابت الزمن:

$$\tau = RC = 1ms$$

ب. رسم الجهد الخارج:

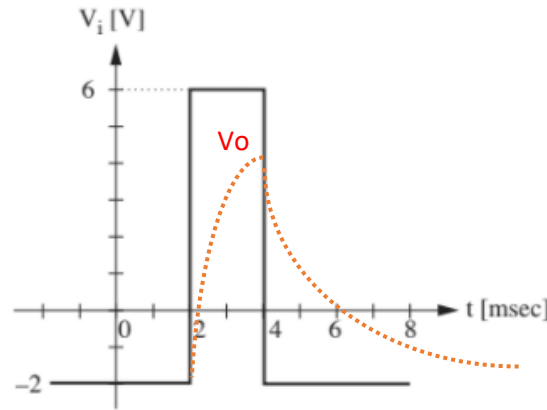
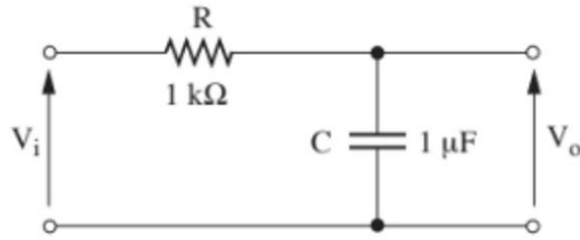


معادلة الجهد الخارج:

$$V_{\infty} = 5v, \quad V_O^+ = 0v$$

$$V_O(t) = 5 - 5 \cdot e^{-(t-3)}$$

مثال 2: نرسم الجهد الخارج للمرشح التالي بدقة، ونحدد نقاط تقاطع المنحنى مع محور الزمن



الحل:

ثابت الزمن ($\tau = RC = 1ms$)

من أجل معادلة الجهد الخارج، يتم تقسيم الحل الى مجالين. مجال يكون فيه المكثف في حالة الشحن ومجال ثانٍ يكون فيه المكثف في حالة تفريغ. كما يظهر في رسم الجهد الخارج (V_o).

معادلة الشحن: $V_o(t) = V_{\infty} - (V_{\infty} - V_o^+) \cdot e^{-\frac{\Delta t}{\tau}}$

$$V_{\infty} = 6v, \quad V_o^+ = -2v$$

$$V_o(t) = 6 - (6 - (-2)) \cdot e^{-\frac{(t-2)}{1}}$$

$$V_o(t) = 6 - 8 \cdot e^{-(t-2)}$$

لإيجاد الجهد عند الزمن ($t=4ms$) نعوض:

$$V_o(4) = 6 - 8 \cdot e^{-2} = 4.9v$$

ولإيجاد زمن تقاطع المنحنى مع محور الزمن، نعوض قيمة الجهد صفرا في المعادلة التالية:

$$t - t_1 = -\tau \cdot \ln \left(\frac{V_{\infty} - V_o(t)}{V_{\infty} - V_o^+} \right)$$

$$t - 2 = -1 \cdot \ln \left(\frac{6 - 0}{6 - -2} \right) = -\ln \left(\frac{6}{8} \right)$$

$$t - 2 = 0.29 \Rightarrow t = 2.29\text{ms}$$

$$\text{معادلة التفريغ: } V_o(t) = V_{\infty} - (V_{\infty} - V_o^+) \cdot e^{-\frac{\Delta t}{\tau}}$$

$$V_o(t) = -2 - (-2 - 4.9) \cdot e^{-\frac{(t-4)}{1}} = -2 + 6.9 \cdot e^{-(t-4)}$$

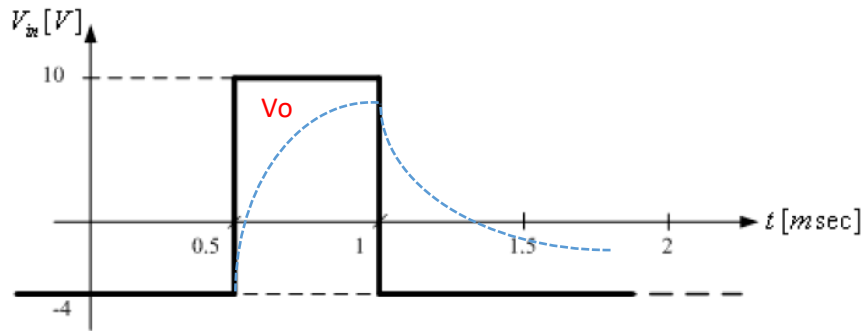
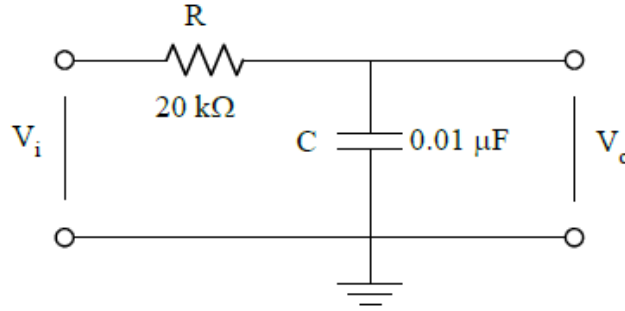
ولإيجاد زمن تقاطع المنحنى مع محور الزمن، نعوض قيمة الجهد صفرا في المعادلة التالية:

$$t - t_1 = -\tau \cdot \ln \left(\frac{V_{\infty} - V_o(t)}{V_{\infty} - V_o^+} \right)$$

$$t - 4 = -1 \cdot \ln \left(\frac{-2 - 0}{-2 - 4.9} \right) = -\ln \left(\frac{2}{6.9} \right)$$

$$t - 4 = 1.24 \Rightarrow t = 5.24\text{ms}$$

سؤال: في الدائرة التالية مرشح ترددات، ويليها مخطط الجهد الداخل للدائرة.



- أ. نحدد ما هو نوع هذا المرشح ونوجد قيمة ثابت الزمن
- ب. ننقل مخطط الجهد الداخل ونرسم أسفل منه الجهد الخارج دون حساب قيم
- ج. نوجد قيمة الجهد الخارج عند الزمن ($t=1\text{mS}$)
- د. نحسب نقاط تقاطع الجهد الخارج مع محور الزمن

الحل:

أ. هو مرشح ترددات منخفضة

$$\tau = RC = 0.2\text{mS}$$

ب. مخطط الجهد الخارج على نفس رسمة الجهد الداخل.

ج. معادلة الجهد في المجال ($0.5 < t < 1$)

$$V_o(t) = 10 - (10 - (-4)) \cdot e^{-\frac{(t-0.5)}{0.2}} = 10 - 14 \cdot e^{-\frac{(t-0.5)}{0.2}}$$

$$V_o(1) = 10 - 14 \cdot e^{-2.5} = 8.85\text{v}$$

معادلة الجهد في المجال ($t > 1$):

$$V_0(t) = -4 - (-4 - 8.85) \cdot e^{-\frac{(t-1)}{0.2}} = -4 + 12.85 \cdot e^{-\frac{(t-1)}{0.2}}$$

د. نقاط التقاطع مع محور الزمن، يكون فيها الجهد الخارج يساوي صفرا.

$$t - t_1 = -\tau \cdot \ln \left(\frac{V_{\infty} - V_0(t)}{V_{\infty} - V_0^+} \right)$$

في المجال من 0.5 الى 1:

$$t - 0.5 = -0.2 \cdot \ln \left(\frac{10 - 0}{10 - -4} \right) = -0.2 \cdot \ln \left(\frac{10}{14} \right)$$

$$t = 0.567 \text{ms}$$

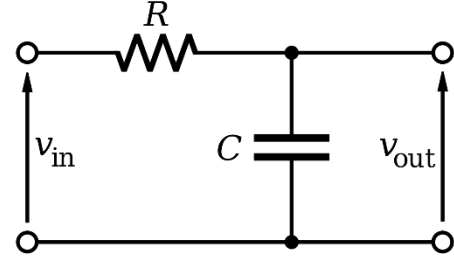
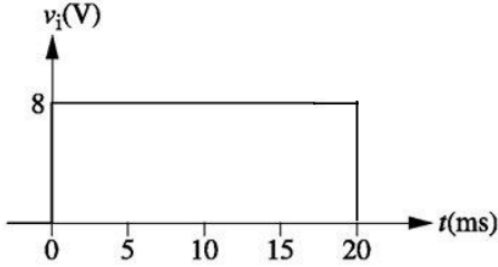
في المجال أكثر من 1:

$$t - 1 = -0.2 \cdot \ln \left(\frac{-4 - 0}{-4 - 8.85} \right) = -0.2 \cdot \ln \left(\frac{-4}{-12.85} \right)$$

$$t = 1.233 \text{ms}$$

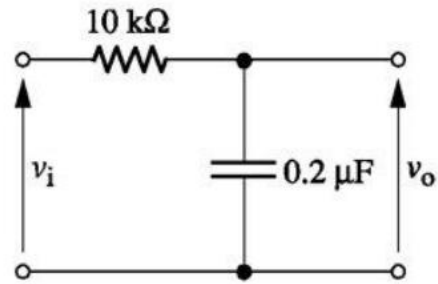
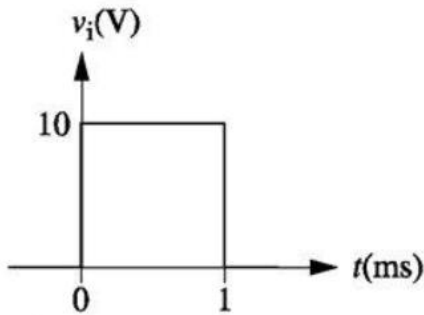
تمارين حول مرشح الترددات المنخفضة

1. للدائرة التالية، نرسم الجهد الخارج بدقة لكل من القيم ($R=10K\Omega$, $C=0.5\mu F$)، والإشارة



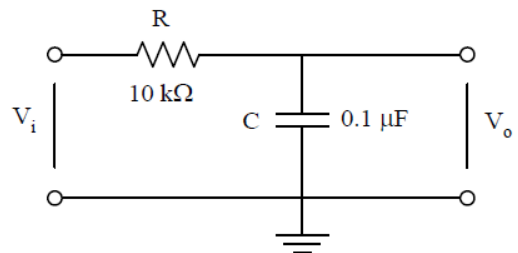
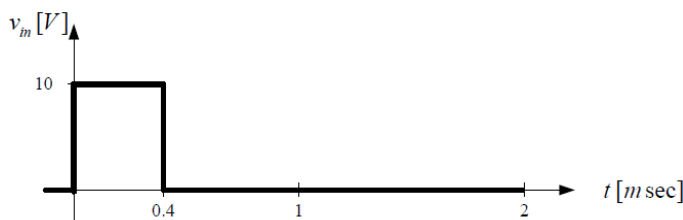
الإجابة: $V_o(20)=7.853V$

2. نرسم الجهد الخارج بدقة للدائرة وللإشارة:



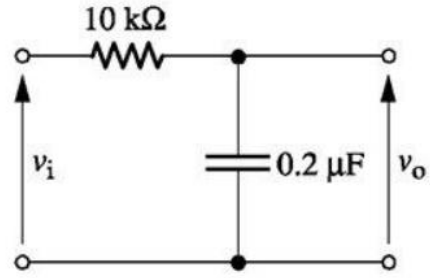
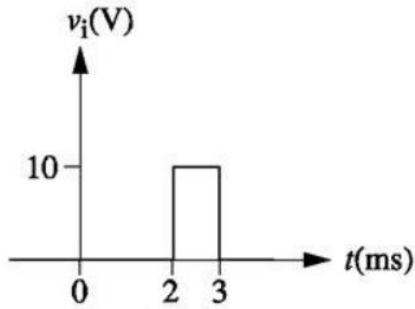
الإجابة: $V_o(1)=3.934V$

3. نرسم الجهد الخارج بدقة للدائرة وللإشارة:



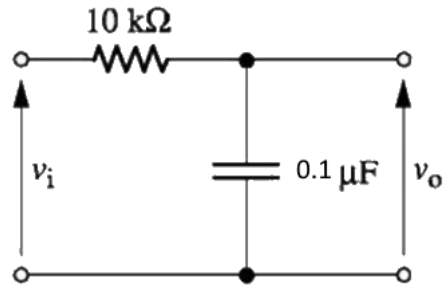
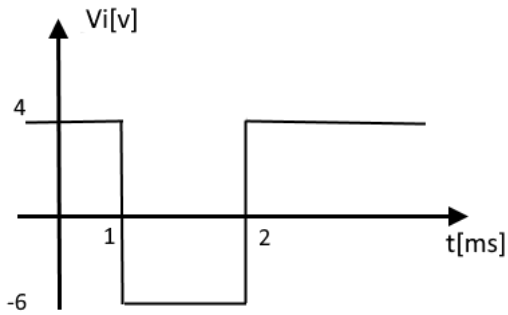
الإجابة: $V_o(0.4)=3.296V$

4. نرسم الجهد الخارج بدقة للدائرة وللإشارة:



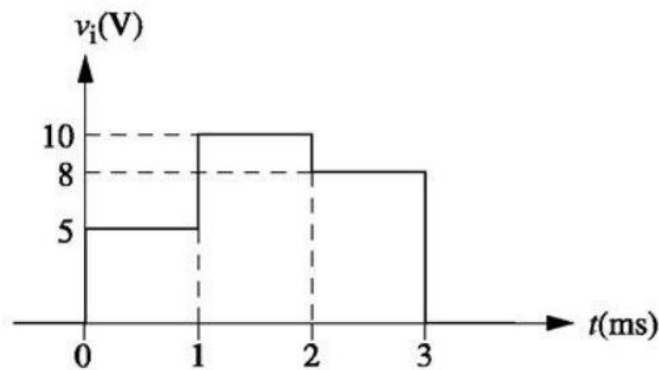
الإجابة: $V_o(3)=3.934\text{V}$

5. نرسم الجهد الخارج بدقة للدائرة وللإشارة:

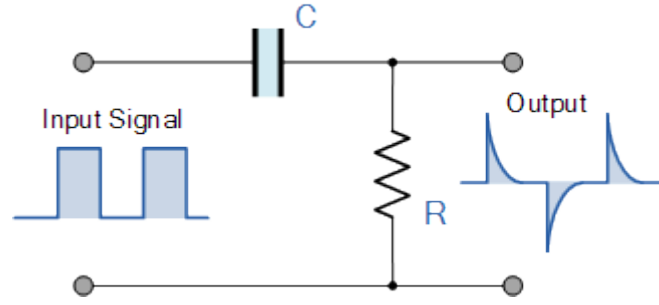


الإجابة: $V_o(2)=-2.32\text{V}$

6. نرسم الجهد الخارج بدقة للدائرة التي بها $(\tau = 0.5\text{ms})$ ، إذا كان المرشح للترددات المنخفضة، والإشارة الداخلة:



مرشح ترددات مرتفعة (HPF) – מסנן מעביר גבוהים



الجهد الخارج هو الجهد حول المقاومة والذي بدوره هو الجهد الداخل ناقص جهد المكثف

$$V_O = V_i - V_c$$

$$V_O(t) = V_\infty - (V_\infty - V_o^+) \cdot e^{-\frac{\Delta t}{\tau}}$$

دوما هنا: الجهد الخارج بعد مرور فترة زمنية طويلة يساوي صفرا. والسبب أن المكثف يتم شحنه لنفس قيمة الجهد الداخل، ويصبح جهد المقاومة (الفرق بينهما) يساوي صفرا.

$$V_\infty = 0V$$

فتصبح المعادلة:

$$V_O(t) = 0 - (0 - V_o^+) \cdot e^{-\frac{\Delta t}{\tau}} = V_o^+ \cdot e^{-\frac{\Delta t}{\tau}}$$

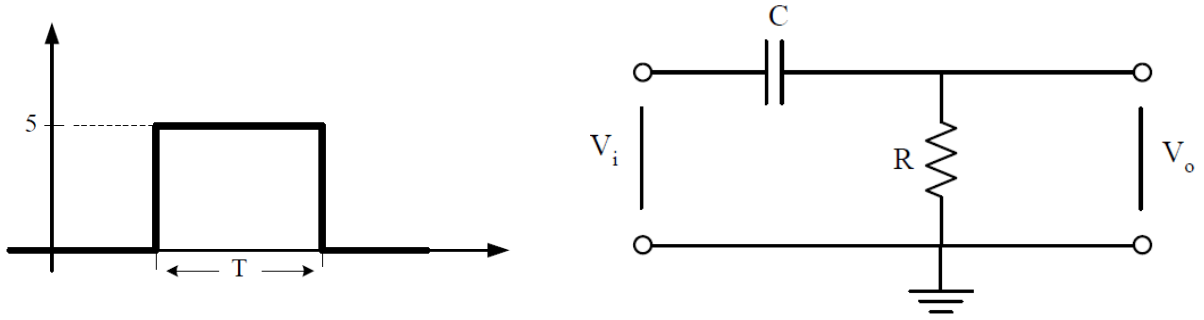
معادلة الزمن في حال معرفة قيمة الجهد:

$$t_2 - t_1 = -\tau \cdot \ln \left(\frac{V_\infty - V_O(t)}{V_\infty - V_o^+} \right)$$

تنبسط لتصبح:

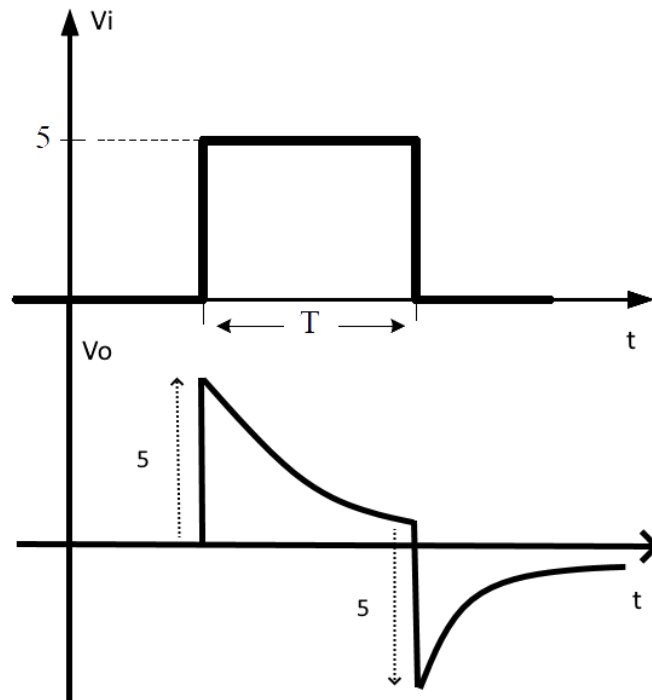
$$t - t_1 = -\tau \cdot \ln \left(\frac{V_O(t)}{V_o^+} \right)$$

مثال 1: نرسم الجهد الخارج للدائرة وللإشارة

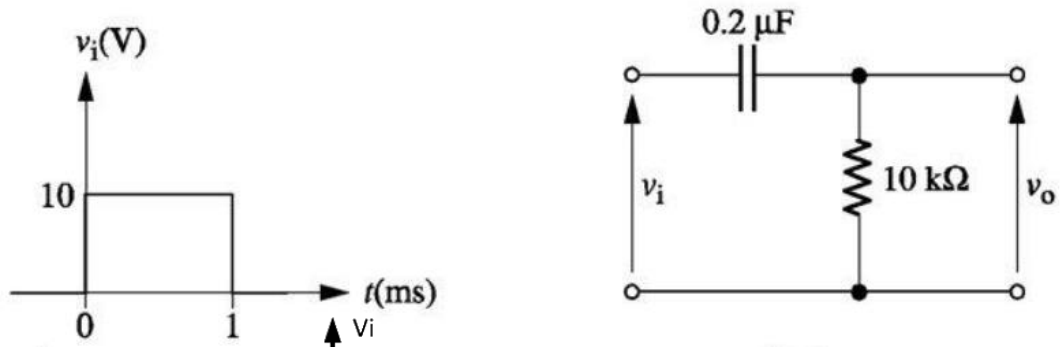


ملاحظة: الجهد على المقاومة يلحق الجهد الداخل ومن ثم يعود الى الصفر. أي تغيير على الجهد الداخل يلحقه تغيير على الجهد الخارج بنفس المقدار.

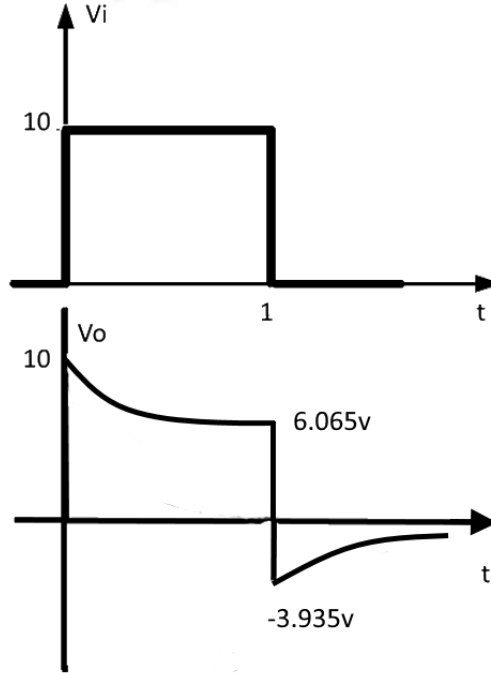
الرسم: فيما يلي رسم الجهد الداخل وأسفل منه الجهد الخارج.



مثال 2: نرسم الجهد الخارج بدقة للدائرة وللإشارة



الرسم:



الحل:

ثابت الزمن ($\tau = RC = 2ms$)

$$V_o(t) = V_o^+ \cdot e^{-\frac{\Delta t}{\tau}} \text{ المعادلة:}$$

من أجل معادلة الجهد الخارج، يتم تقسيم الحل الى مجالين.

المجال الأول في الفترة الزمنية ($0 < t < 1$)، والمجال الثاني في الفترة الزمنية ($t > 1$).

الفترة الزمنية ($0 < t < 1$): $V_o^+ = 10v$

$$V_o(t) = 10 \cdot e^{-\frac{t}{2}}$$

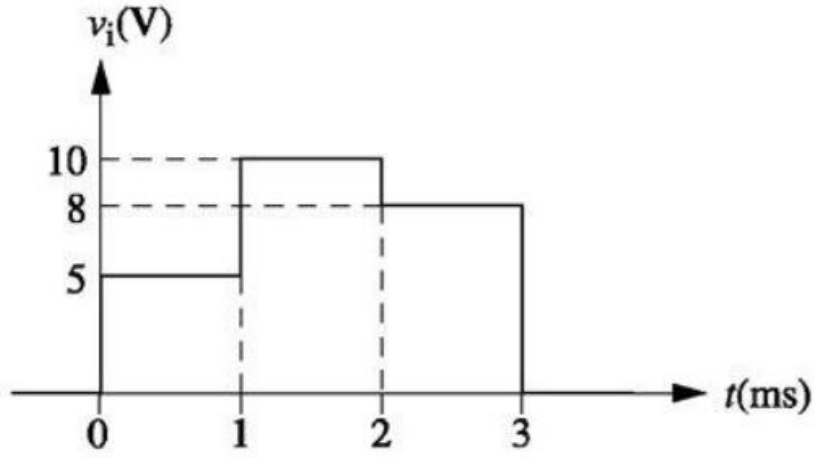
لإيجاد الجهد عند الزمن ($t=1ms$) نعوض:

$$V_o(1) = 10 \cdot e^{-\frac{1}{2}} = 6.065v$$

الفترة الزمنية ($t > 1$): $V_o^+ = 6.065 - 10 = -3.935v$

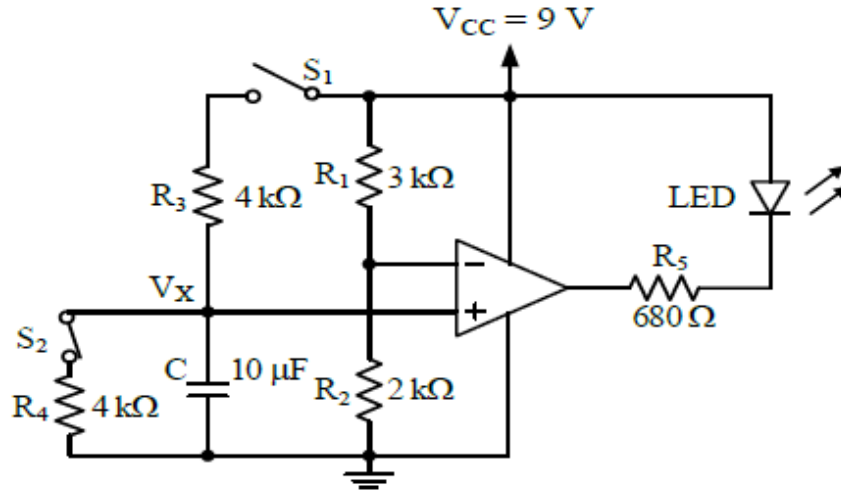
$$V_o(t) = -10 \cdot e^{-\frac{(t-1)}{2}}$$

سؤال: نرسم الجهد الخارج بدقة، مع تحديد قيمة الجهد عند كل تغيير، لكل مما يلي للدائرة التي بها $(\tau = 0.5ms)$ ، إذا كان المرشح للترددات المرتفعة.



أسئلة تجمع بين المرشحات ومكبر العمليات

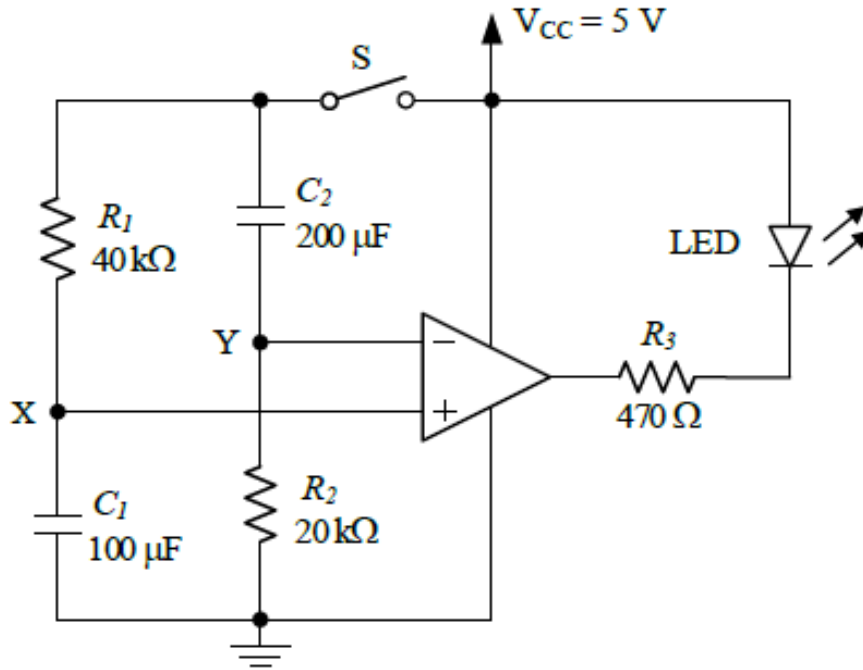
1. في السؤال التالي يوجد دائرة كهربائية فيها مكبر عمليات مثالي. حالة البداية للمفتاحين – مفتاح S_1 مفتوح، مفتاح S_2 مغلق. بيانات الـ LED: $V_{on} = 1.5V$, $10mA < I_{on} < 20mA$.



- هل في الحالة الراهنة يُضيء المصباح؟ فسر إجابتك.
- نفتح المفتاح S_2 ، ونغلق المفتاح S_1 لفترة 10 msec ثم نفتحه. نحسب الجهد V_x مع مرور هذه الفترة الزمنية هل يُغير المصباح حالته.
- نحسب أقل زمن لازم من لحظة إغلاق S_1 وفتح S_2 ، من أجل تغيير حالة المصباح.
- ما هو عمل المفتاح S_2 الموجود في الدائرة.
- نقترح تغيير واحد أو أكثر في الدائرة، حتى يُضيء المصباح بعد مرور 10 msec من تغيير حالة المفاتيح.

الإجابات: أ. نعم يضيء المصباح لأن فرق الجهد حوله موجب ويمر فيه تيار، ب. $V_x = 1.99V$ ، لا تتغير حالته ج. $t = 20.4ms$ ، د. تفريغ المكثف وإعادة جهده الى الصفر، ه. يمكن تقليل ثابت الزمن بجعل المقاومة أصغر. مثلا نبدل المقاومة $R_3 = 2k\Omega$

2. في السؤال التالي يوجد دائرة كهربائية فيها مكبر عمليات مثالي. يتم إغلاق المفتاح S مفتوح عند الزمن $t=0$ ، وتبدأ عملية شحن المكثفين C_1 و C_2 .



أ. ما هي حالة المصباح عند لحظة إغلاق المفتاح ($t = 0+$)؟ فسر إجابتك.

ب. نحسب الجهد عن النقطتين X، Y وحالة المصباح عند الزمنين:

1. $t = 2 \text{ sec}$

2. $t = 6 \text{ sec}$

ج. نحسب كم من الزمن يمر من لحظة إغلاق المفتاح، يقوم المصباح بتغيير حالته من مُطفأ الى مُضاء أو من مُضاء الى مُطفأ.

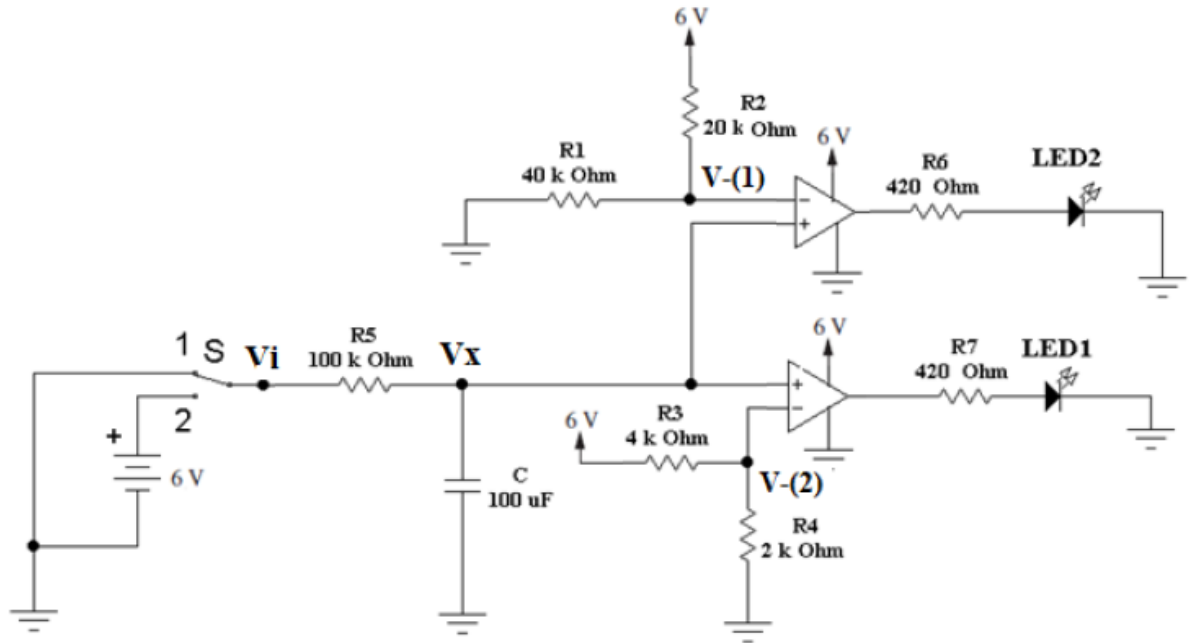
د. نقترح تغيير في الدائرة، حتى يعمل المصباح بشكل مُعكس للحالة في الفرع ج. رافق إجابتك بالرسم الملائم.

الإجابات: أ. نعم مضيء لأن الجهد الخارج يساوي صفر و فرق الجهد حول المصباح موجب، ب.

$V_x(2)=1.97V$, $V_y(2)=3.03V$, LED is ON, $V_x(6)=3.88V$, $V_y(6)=1.12V$, LED

is OFF ج. $t=2.77s$ ، د. نبدل مداخل المقارن

3. في الرسم التالي يوجد دائرة كهربائية فيها مرشح LPF ومُقارنين، مكبرات عمليات مثالية. بيانات المصباحين هي: $V_{LED} = 1.8V$, $I_{LED} = 10mA$



المفتاح S كان لفترة طويلة عند النقطة 1، وفي اللحظة $t=0$ ننقل المفتاح الى النقطة 2. بعد 70 ثانية نعيد المصباح الى النقطة 1.

- أ. نرسم الجهد V_i والجهد V_x كدوال بالنسبة للزمن، بدءاً من اللحظة $t=0$
- ب. نحسب الزمن الذي يُضيء به كل من المصباحان LED1 و LED2، من اللحظة $t=0$
- ج. نحسب الزمن الذي يُطفأ به كل من المصباحان LED1 و LED2 بعدما أضاءا
- د. نغير قيمة أحد المقاومات حتى يُضيء المصباحان ويُطفئا في نفس اللحظة. فسر إجابتك.

الإجابات: أ. $V_x(70)=6V$, $V_i(70)=0V$. ب. $t_{LED1_ON}=4.05s$, $t_{LED2_ON}=10.99s$. ج.

د. مثلاً $R2=80k\Omega$, $t_{LED1_OFF}=80.99s$, $t_{LED2_OFF}=74.05s$

أسئلة بجروت حول المرشحات

فيما يلي أسئلة حول المرشحات تشمل الأسئلة التي تجمع بين مكبر العمليات والمرشحات

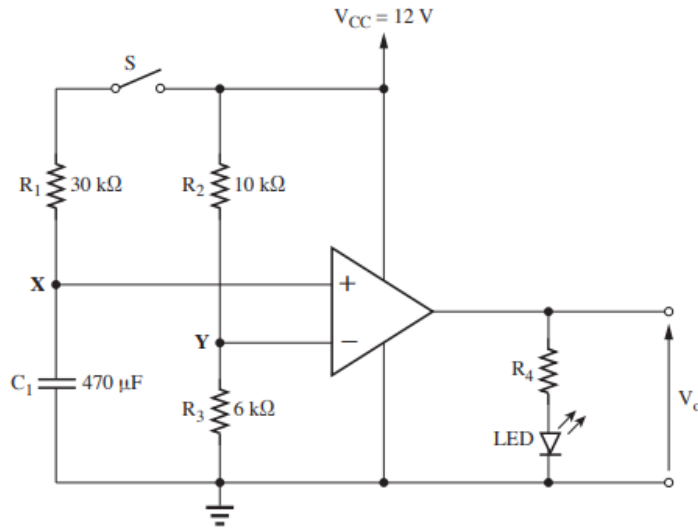
2026

السؤال 5

في الرسم التوضيحي للسؤال 5 معطاة دائرة كهربائية تحتوي على شبكة ذات تمرير تردد منخفض (رשת מעבירה נמוכים) (LP)، ومُضَوِّ (משווח). المُضَخَّم التشغيلي الذي في الدائرة مثالي (מגבר השרת שבמעגל אידיאלי).

الجهد على المكثف (המתח על הקבל) في الزمن $t = 0$ هو 0 V .

معطيات الـ LED: $V_{LED} = 2.4 \text{ V}$, $I_{LED} = 10 \text{ mA}$



الرسم التوضيحي للسؤال 5

المفتاح S مفتوح.

أ. (5 درجات) احسبوا الجهد (המתח) في النقطة Y، واحسبوا الجهد المخرَج (מתח המוצא) V_o .

في الزمن $t = 0$ نغلق المفتاح S، ونفتحه مرة أخرى بعد مرور 20 ثانية.

ب. (5 درجات) 1. احسبوا ثابت زمن الشحن (קבוע זמן הטעינה)، τ .

2. احسبوا المدة الزمنية التي تمر من لحظة إغلاق المفتاح S حتى تشغيل الـ LED.

3. احسبوا الجهد (המתח) في النقطة X في الزمن $t = 20 \text{ sec}$.

ج. (5 درجات) ارسموا بالتلازم، الواحد تحت الآخر، شكل الجهد في النقطة X وشكل الجهد المخرَج (מתח המוצא) V_o .

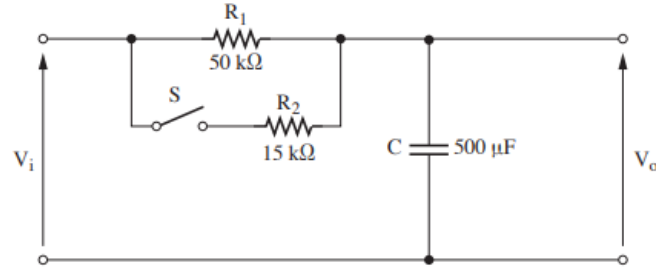
في الأزمنة $0 < t < 30 \text{ sec}$. اكتبوا على الرسم القيم التي حصلتم عليها في الإجابة عن البند "ب".

د. (5 درجات) احسبوا قيمة المقاوم (הנגד) R_4 لكي يعمل الـ LED بصورة سليمة.

الإجابات: أ. $V_Y = 4.5 \text{ V}$, $V_o = 0 \text{ V}$. ب. $\tau = 14.1 \text{ s}$, $V_X(20) = 9.09 \text{ V}$, $t = 6.63 \text{ s}$. د. $R_4 = 960 \Omega$

السؤال 5

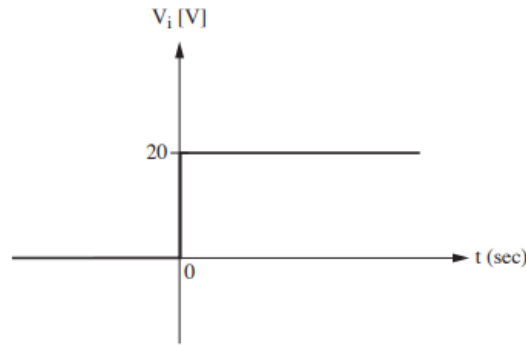
في الرسم التوضيحي "أ" للسؤال 5 مُعطاة دائرة كهربائية. المُكثف (הקבל) C غير مشحون (אינו טעון).



الرسم التوضيحي "أ" للسؤال 5

المفتاح S مفتوح.

في الزمن $t = 0$ نقوم بتزويد مدخل الدائرة (מבוא המעגל) بإشارة على شكل درجة (אות מדרגה) بمقدار 20 V كما هو مُبيّن في الرسم التوضيحي "ب" للسؤال.



الرسم التوضيحي "ب" للسؤال 5

- 6 درجات) أ. احسبوا قيمة ثابت زمن الشُّحن (קבוע זמן הטעינה), τ .
- 6 درجات) ب. احسبوا بعد كم من الزمن تصل قيمة جهد المَخْرَج (מתח המוצא) إلى 5 V ؟
عندما يصل جهد المَخْرَج إلى 5 V ، نغلق المفتاح S .
- 4 درجات) ج. احسبوا قيمة جهد المَخْرَج بعد ثانيّتين من إغلاق المفتاح S .
- 4 درجات) د. ارسموا شكل إشارة جهد المَخْرَج (אות מתח המוצא), V_o ، كدالة للزمن. بيّنوا في الرسم قِيم الجهد وقِيم الزمن التي قمتم بحسابها في البنّئين "ب" و"ج".

الإجابات: أ. $\tau = 25\text{ s}$ ، ب. $t = 7.192\text{ s}$ ، ج. $V_o(2) = 9.39\text{ V}$

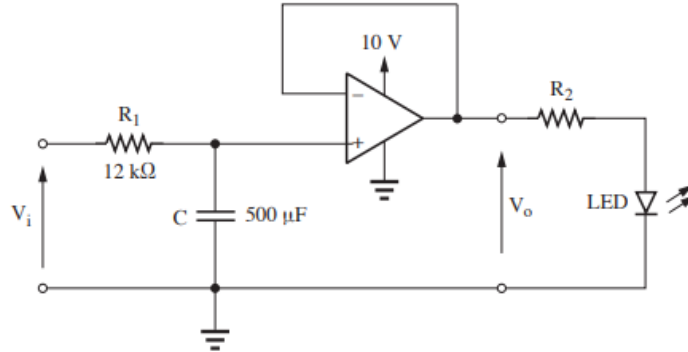
السؤال 5

يصف الرسم التوضيحي "أ" للسؤال 5 دائرة كهربائية تحتوي على شبكة ذات تمرير تَرَدُّد منخفض (رשת מעבירה נמוכים)، LP، ومُضَخَّم وحدة (מגבר יחידה).

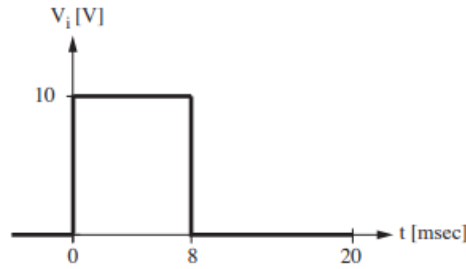
يصف الرسم التوضيحي "ب" شكل إشارة المَدْخَل (צורת אות המבוא)، V_i .

مُضَخَّم التشغيل (מגבר השרת) في الدائرة مثالي. الجهد على المُكثِّف (הקבל) في الزمن $t = 0$ هو 0 V .

مُعْطَيَات الـ LED: $V_{LED} = 1.8 \text{ V}$ ، $I_{LED \min} = 8 \text{ mA}$.



الرسم التوضيحي "أ" للسؤال 5



الرسم التوضيحي "ب" للسؤال 5

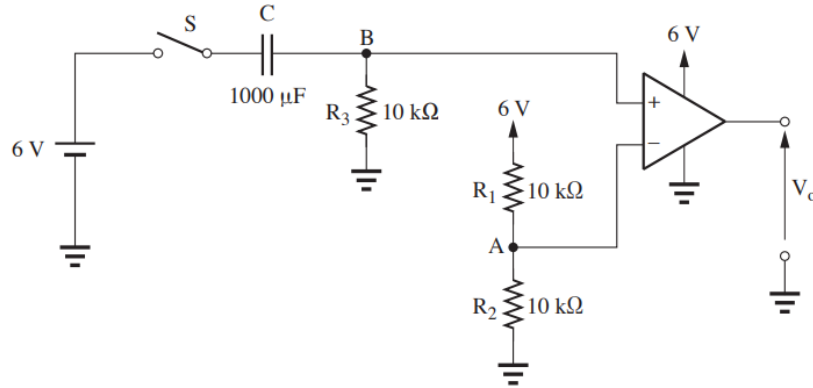
- أ. (6 درجات) احسبوا جهد المَخْرَج (מתח המוצא)، V_o ، في الزمنَيْن: $t = 8 \text{ sec}$ ، $t = 20 \text{ sec}$.
- ب. (6 درجات) انسخوا إلى دفاتركم جهد المَدْخَل (מתח המבוא)، V_i ، وارسموا تحته، بالتلاؤم، شكل جهد المَخْرَج، V_o ، في الأزمنة $0 < t < 20 \text{ sec}$. اكتبوا على الرسم قِيَم الجهود التي حسبتموها في الإجابة عن البند "أ".
- ج. (4 درجات) تم توصيل لمبة LED إلى مَخْرَج مُضَخَّم الوحدة. تُضيء لمبة الـ LED عندما يكون جهد المَخْرَج أكبر من 5 V . احسبوا المدة الزمنية التي تكون فيها لمبة الـ LED مُضاءة.
- د. (4 درجات) احسبوا قيمة المُقاوِم (הנגד) R_2 للعمل السليم للدائرة.

الإجابات: أ. $V_o(20) = 0.997 \text{ V}$ ، $V_o(8) = 7.364 \text{ V}$. ج. $4.16 \text{ s} < t < 10.32 \text{ s}$. د. $R_2 = 400 \Omega$.

السؤال 3

في الرسم التوضيحي للسؤال 3 معطاة دائرة كهربائية تحتوي على شبكة ذات تمرير تردد عالٍ HP ومُسَوِّ (مُشَوِّه). مُضَخَّم التشغيل في الدائرة مثالي (مُغْبِرِ الشَّرْطِ شَبْمِوَعْلَ اِيْدِيَالِي).

الجهد (المتاح) على المُكثِّف (القبلي) في الزمن $t = 0$ هو 0 V .

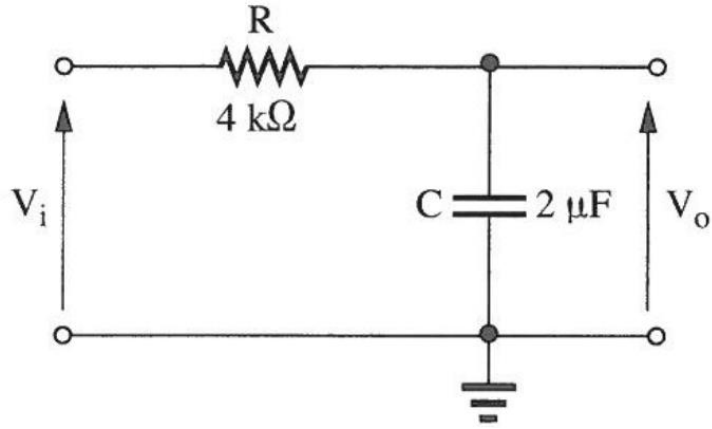


الرسم التوضيحي للسؤال 3

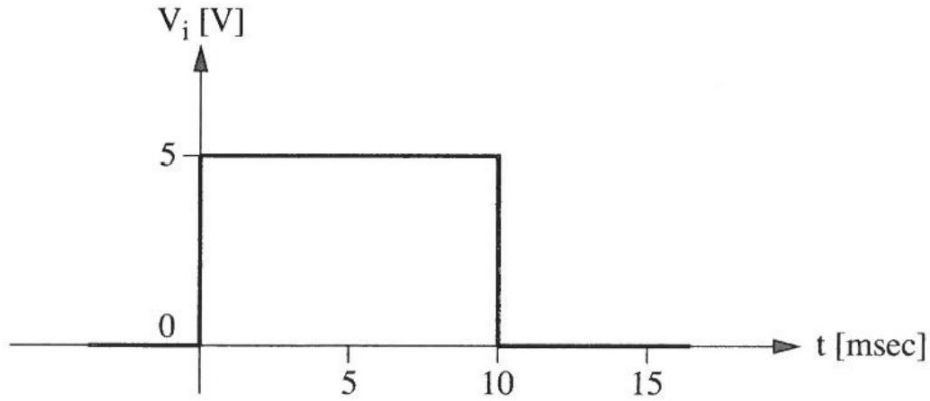
- (8 درجات) أ. المفتاح (المفك) S مفتوح. احسبوا الجهد (المتاح) في النقطتين A و B، وجهد المخرج (المتاح) V_o .
- (8 درجات) ب. في الزمن $t = 0$ نغلق المفتاح S. ارسموا الواحد تحت الآخر على الترتيب، شكل إشارة المخرج V_o ، وشكل الإشارة في النقطة B، V_B ، كدالة للزمن بين الزمنين $0 \leq t \leq 50$ ثوانٍ.
- (4 درجات) ج. احسبوا الأزمنة (الزمن) التي فيها يُغيَّرُ جهد المخرج (المتاح) قيمته من لحظة إغلاق المفتاح.

الإجابات: أ. $V_A = 3\text{V}, V_B = 0\text{V}, V_o = 0\text{V}$ ، ج. $t = 6.93\text{s}$.

السؤال 5: في الرسم التالية موصوف شبكة كهربائية:



على مدخل الدائرة مزود إشارة كهربائية كما يلي:

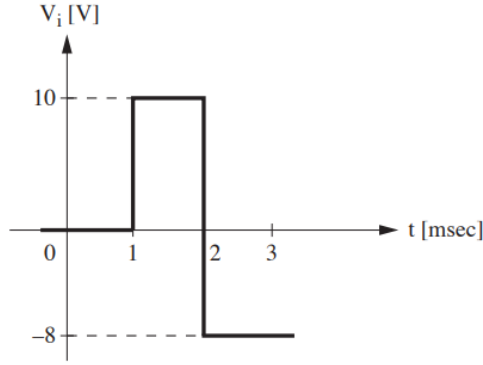


- ننسخ لدفتر الإجابة مخطط الجهد الداخل (V_i)، ونرسم أسفل منه، بشكل مناسب، إشارة الجهد الخارج (V_o) كدالة بالنسبة للزمن.
- نحسب القيمة القصوى للجهد الخارج (V_o)
- نحسب الجهد الخارج عند الزمن ($t = 15 \text{ msec}$)
- نقلل مرتين قيمة المقاومة R ، هل تقل أم تزداد قيمة الجهد القصوى؟ فسر اجابتك.

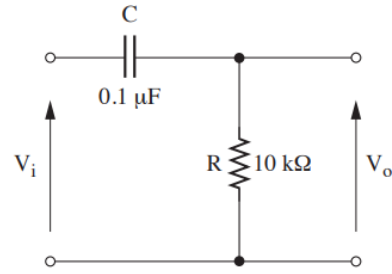
الإجابات: ب. $V_{o,max}=V_o(10)=3.57V$ ، ج. $V_o(15)=1.91V$ ، د. $V_{o,max}=4.59V$

السؤال 5

في الرسم التوضيحي "أ" للسؤال 5 مُعطاة الدائرة الكهربائية لمرشح (مסנן). والرسم التوضيحي "ب" للسؤال 5 يصف إشارة المدخل (אות המבוא) المزودة للدائرة.



الرسم التوضيحي "ب" للسؤال 5



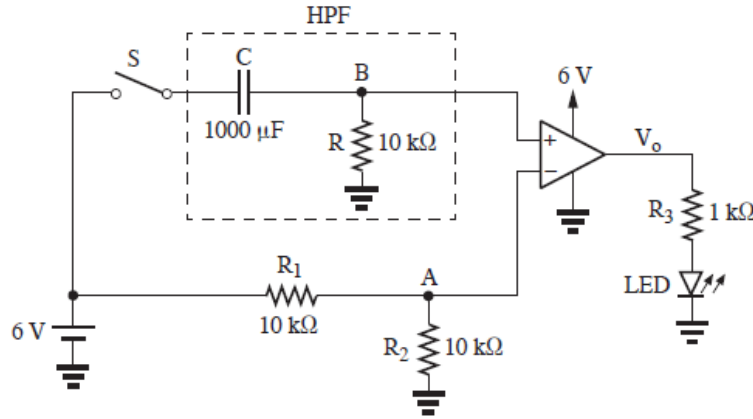
الرسم التوضيحي "أ" للسؤال 5

- أ. (5 درجات) اذكر نوع المرشح (המסנן) (LP أو HP). علّل إجابتك.
- ب. (5 درجات) انسخ إلى دفترك إشارة المدخل (אות המבוא) الموصوفة في الرسم التوضيحي "ب"، وارسم تحتها، بالتأؤم، إشارة المخرج (אות המוצא)، V_o ، كدالة للزمن.
- ج. (5 درجات) احسب جهد المخرج (מתח המוצא)، V_o ، عندما يكون $t = 3 \text{ msec}$.
- د. (5 درجات) احسب الزمن، t ، الذي فيه يكون جهد المخرج (מתח המוצא) هو -8 V .

الإجابات: أ. مرشح ترددات مرتفعة لأنه الجهد الخارج هو جهد المقاومة، ج. $V_o(2)=3.68\text{V}$, $V_o(3)=-5.27\text{V}$ ، د. $t=2.58\text{ms}$

السؤال 5

في الرسم التوضيحي للسؤال 5 مُعطاة دائرة كهربائية تشتمل على مُرشّح (مסנן) من نوع "معلّبر גבוהים" (HPF) ومُقارِن (משווה).
المُضخّم التشغيلي (מגבר השרת) الذي في الدائرة الكهربائية مثالي (אידיאלי).
الجهد (המתח) على المكثف (הקבל) في الوقت $t=0$ هو 0 V .



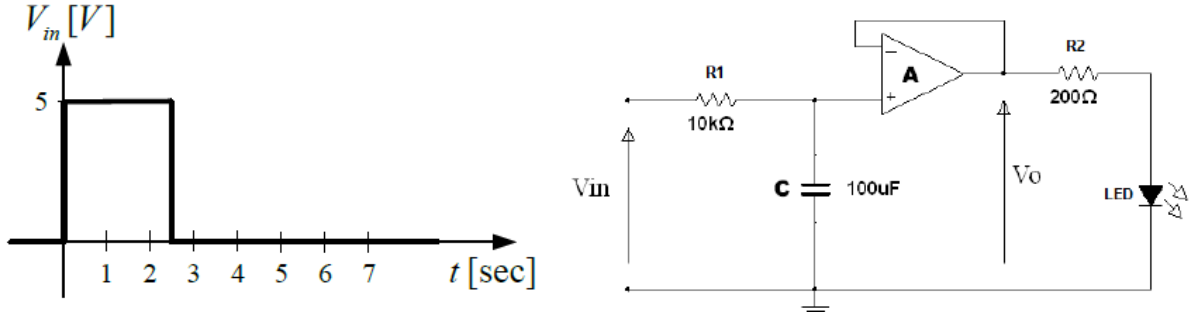
الرسم التوضيحي للسؤال 5

- أ. (6 درجات) المفتاح (המפסק) S مفتوح.
1. (3 درجات) احسب الجهد (המתח) في النقطة A والجهد في النقطة B.
2. (3 درجات) احسب جهد المخرج (מתח המוצא) V_0 .
- ب. (6 درجات) في الوقت $t=0$ يُغلق المفتاح (המפסק) S. أرسم شكل إشارة الجهد (צורת אות המתח) في النقطة B وشكل جهد المخرج V_0 (الواحد تحت الآخر) كدالة للزمن.
- ج. (4 درجات) احسب مدة الوقت التي تضيء فيها لمبة الـ LED منذ لحظة إغلاق المفتاح (המפסק) S.
- د. (4 درجات) بعد أن كان المفتاح S مغلقاً مدة متواصلة، يُفتح المفتاح لمدة 10 ثوانٍ ويُغلق مرة أخرى. هل تضيء لمبة الـ LED بعد الإغلاق الثاني للمفتاح؟ علّل إجابتك.

الإجابات: أ. $V_A=3\text{V}, V_B=0\text{V}, V_0=0\text{V}$. ج. $t=6.93\text{s}$. د. يبقى المكثف مشحوناً، لأنه لا يوجد مسار للتفريغ، ولا تتغير قيمة الجهد الداخل للمكبر، لذلك يكون الجهد الخارج صفراً ولا يضيء المصباح

2018 – المثال الأول

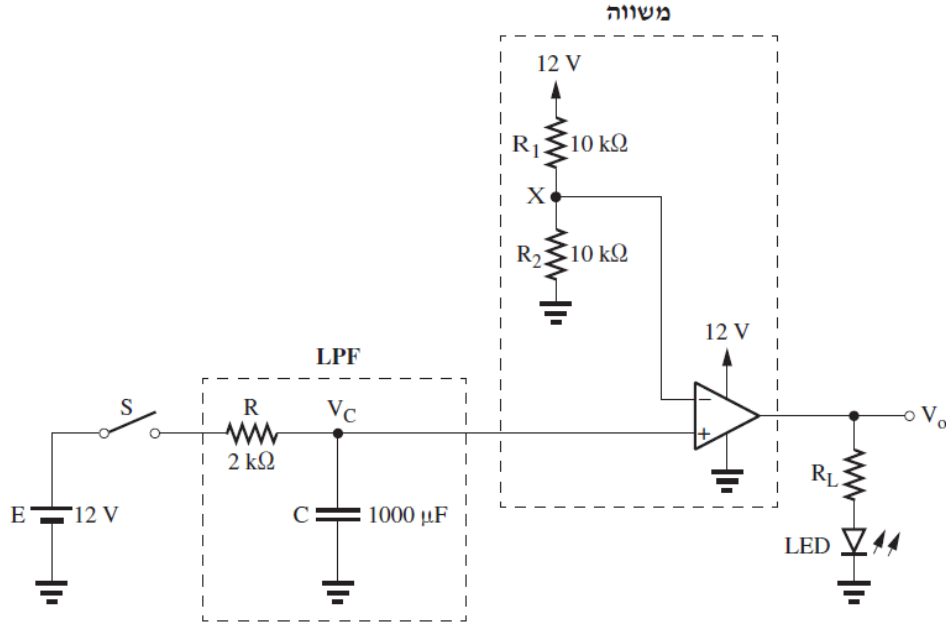
السؤال 5: في الرسمة التالية مُعطى دائرة كهربائية بها مرشح تردد منخفضة ومكبر عمليات مثالي. جهود التزويد للمكبر هم ± 15 ، على مخرج المكبر مرتبط دايود باعث للضوء LED.



- ننسخ لدفتر الإجابة مخطط الجهد الداخل (V_i)، ونرسم أسفل منه، بشكل متوافق، إشارة الجهد الخارج (V_o) كدالة بالنسبة للزمن.
- نحسب قيمة الجهد الخارج عند الزمن ($t = 2.5 \text{ sec}$)، ونحدده على الرسم من الفرع السابق.
- نحسب أقل قيمة للجهد الخارج، اللازمة من أجل تشغيل الـ LED، إذا كان أقل تيار لتشغيل الـ LED هو ($I_{LED, \min} = 5 \text{ mA}$) عند جهد تشغيل قيمته ($V_{LED} = 1.8 \text{ V}$).
- نحسب كم من الزمن يمر منذ بداية عمل الدائرة، حتى تشغيل الـ LED.

الإجابات: ب. $V_o(2.5) = 4.59 \text{ V}$ ، ج. $V_{o, \min} = 2.8 \text{ V}$ ، د. $t = 0.82 \text{ s}$

السؤال 3: في الرسم التالية دائرة كهربائية بها مرشح تردد منخفضة (LPF) ومُقارن. مكبرات العمليات مثالية. بيانات مصباح الـ (LED) هي: ($I_{LED} = 10\text{mA}$, $V_{LED} = 1.5\text{V}$)

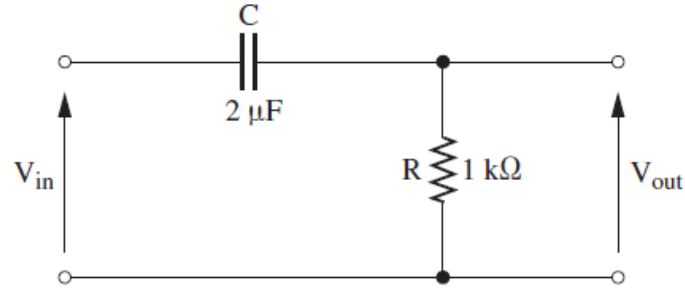


الجهد على المكثف C هو 0V عند الزمن ($t = 0$) نغلق المفتاح S .

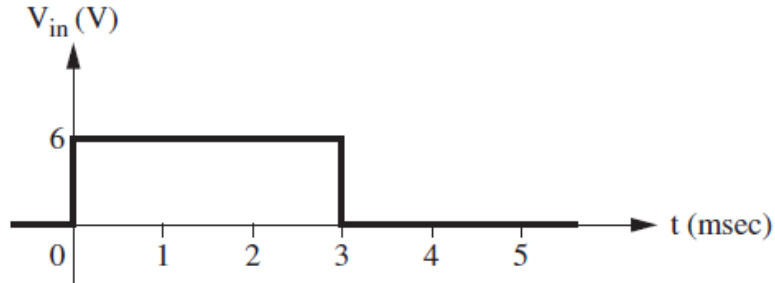
- أ. نحسب الجهد عند النقطة X
- ب. نرسم، أسفل بعضهم البعض بشكل متوافق، جهد المكثف (V_c) والجهد الخارج (V_o) كدالة بالنسبة للزمن، بدءاً من اللحظة ($t = 0$)
- ج. كم من الزمن يمر بعد إغلاق المفتاح، حتى إضاءة المصباح (LED)؟
- د. نحسب قيمة المقاومة R_L

الإجابات: أ. $V_x = 6\text{V}$ ، ج. $t = 1.386\text{s}$ ، د. $R_L = 1050\Omega$

السؤال 2: في الرسم التالية موصوف شبكة كهربائية:



على مدخل الدائرة مزود إشارة كهربائية كما يلي:



أ. ننسخ لدفتر الإجابة مخطط الجهد الداخل (V_i)، ونرسم أسفل منه، بشكل مناسب، إشارة الجهد الخارج (V_o) كدالة بالنسبة للزمن.

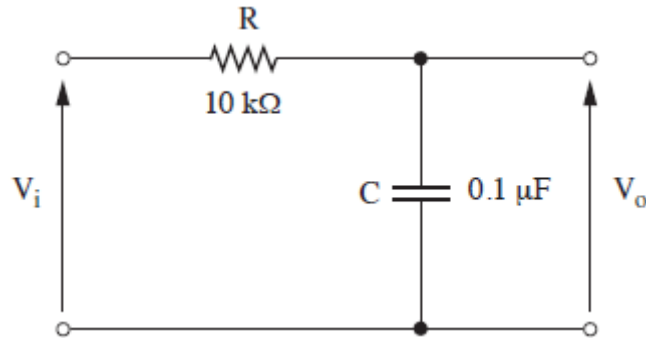
ب. نحسب الجهد الخارج عند:

1. الزمن ($t = 2 \text{ msec}$)

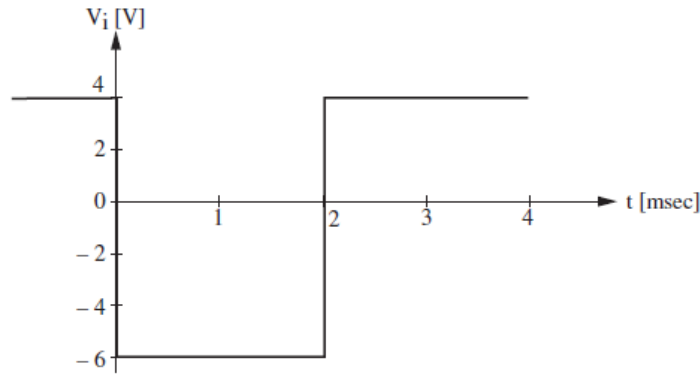
2. الزمن ($t = 4 \text{ msec}$)

الإجابات: ب. $V(2) = 2.21\text{V}$, $V(4) = -2.83\text{V}$

السؤال 2: في الرسم التالية موصوف شبكة كهربائية:



على مدخل الدائرة مزود إشارة كهربائية كما يلي:



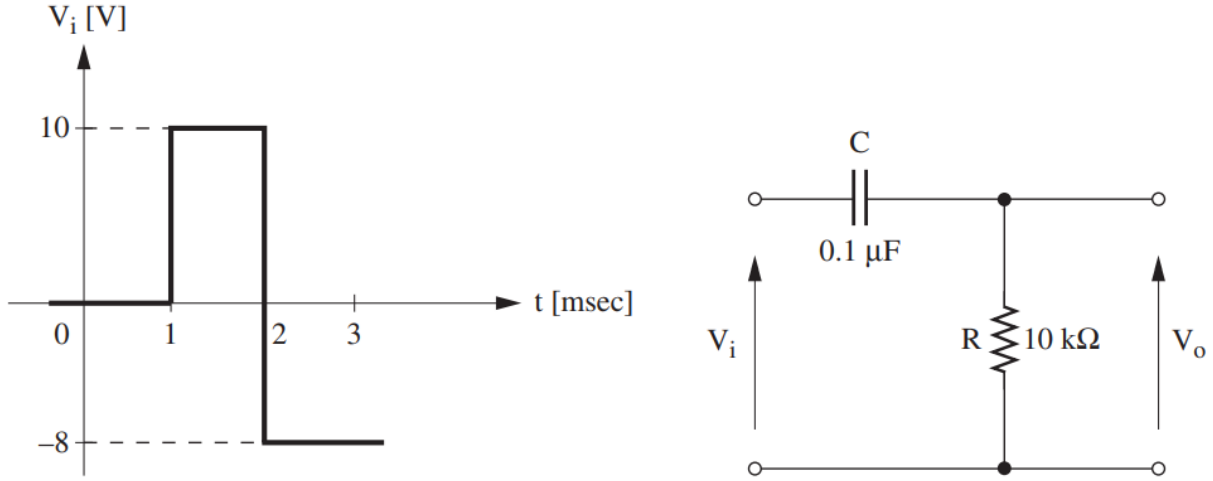
- أ. ننسخ لدفتر الإجابة مخطط الجهد الداخل (V_i)، ونرسم أسفل منه، بشكل مناسب، إشارة الجهد الخارج (V_o) كدالة بالنسبة للزمن.
- ب. نحسب الجهد الخارج عند:

1. الزمن ($t = 2 \text{ msec}$)

2. الزمن ($t = 4 \text{ msec}$)

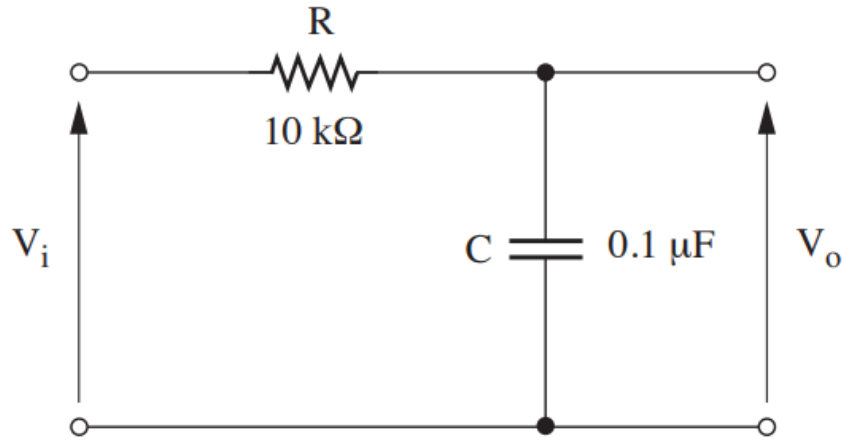
الإجابات: ب. $V(2) = -4.65V$, $V(4) = 2.83V$

السؤال 2: في الرسم التالى موصوف شبكة كهربائية لمرشح، وفي الرسم المقابلة موصوف الإشارة الكهربائية على مدخل المرشح:

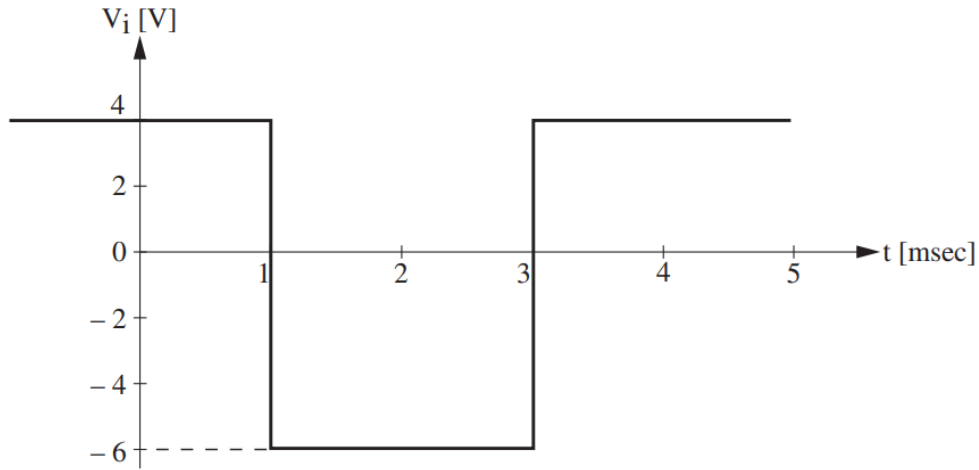


- أ. ما هو نوع المرشح (LP أو HP)؟ فسر اجابتك.
 - ب. ننسخ لدقتر الإجابة مخطط الجهد الداخل (V_i)، ونرسم أسفل منه، بشكل مناسب، إشارة الجهد الخارج (V_o) كدالة بالنسبة للزمن.
 - ج. نحسب الجهد الخارج عندما يكون الزمن ($t = 3 \text{ msec}$)
 - د. نحسب الزمن عندما يكون الجهد الخارج -8V .
- الإجابات: أ. مرشح ترددات عالية لأن الجهد الخارج على المقاومة، ج. $V(3) = -5.27\text{V}$ ، د. $t = 2.58\text{ms}$

السؤال 2: في الرسم التالية موصوف شبكة كهربائية لمرشح



على مدخل الشبكة، نزود الإشارة التالية:



أ. ننسخ لدفتر الإجابة مخطط الجهد الداخل (V_i)، ونرسم أسفل منه، بشكل مناسب، إشارة الجهد الخارج (V_o) كدالة بالنسبة للزمن.

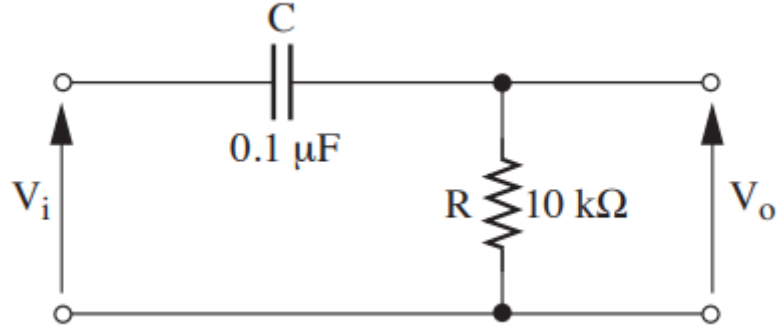
ب. نحسب الجهد الخارج

1. عندما يكون الزمن ($t = 3 \text{ msec}$)

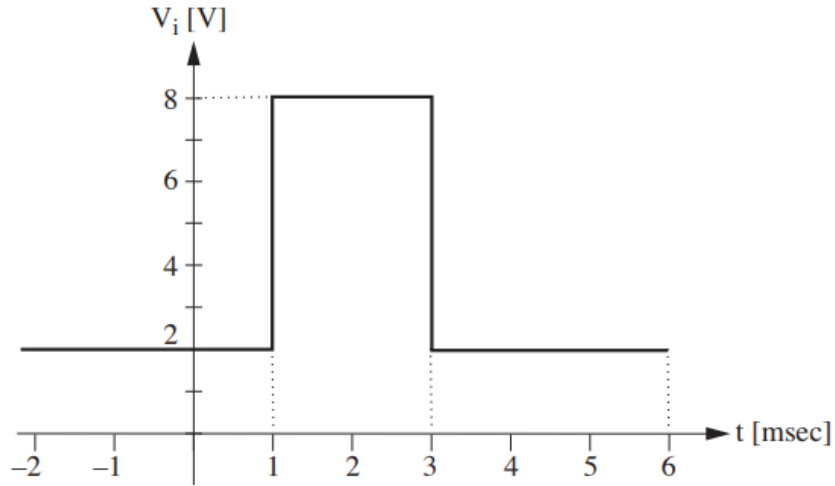
2. عندما يكون الزمن ($t = 4 \text{ msec}$)

الإجابات: ب. $V_o(3) = -4.65V$, $V_o(4) = 0.82V$

السؤال 2: في الرسم التالية موصوف شبكة كهربائية لمرشح



على مدخل الشبكة، نزود الإشارة التالية:



أ. ننسخ لدفتر الإجابة مخطط الجهد الداخل (V_i)، ونرسم أسفل منه، بشكل مناسب، إشارة الجهد الخارج (V_o) كدالة بالنسبة للزمن.

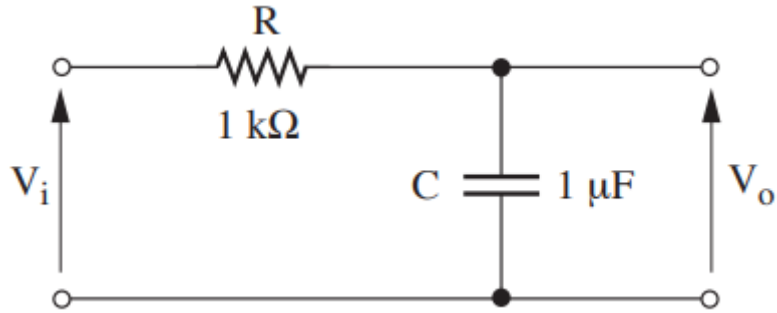
ب. نحسب الجهد الخارج

1. عندما يكون الزمن ($t = 2 \text{ msec}$)

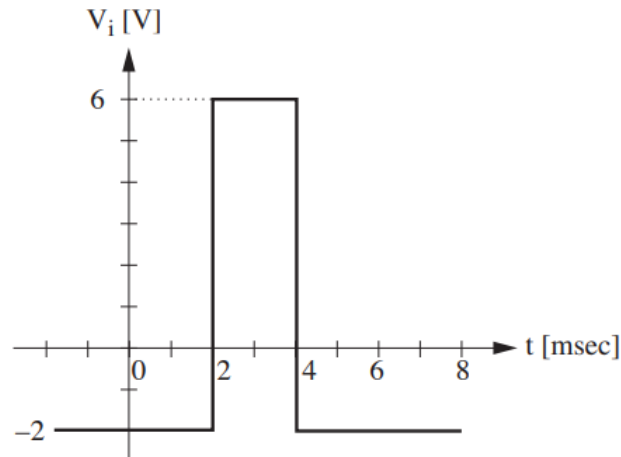
2. عندما يكون الزمن ($t = 4 \text{ msec}$)

الإجابات: ب. $V_o(2) = 2.21 \text{ V}$, $V_o(4) = -1.91 \text{ V}$

السؤال 2: في الرسم التالية موصوف شبكة كهربائية لمرشح



على مدخل الشبكة، نزود الإشارة التالية:



أ. ننسخ لدقتر الإجابة مخطط الجهد الداخل (V_i)، ونرسم أسفل منه، بشكل مناسب، إشارة الجهد الخارج (V_o) كدالة بالنسبة للزمن.

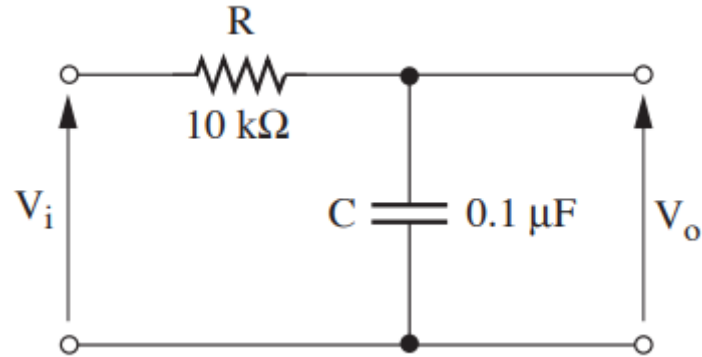
ب. نحسب الجهد الخارج

1. عندما يكون الزمن ($t = 4 \text{ msec}$)

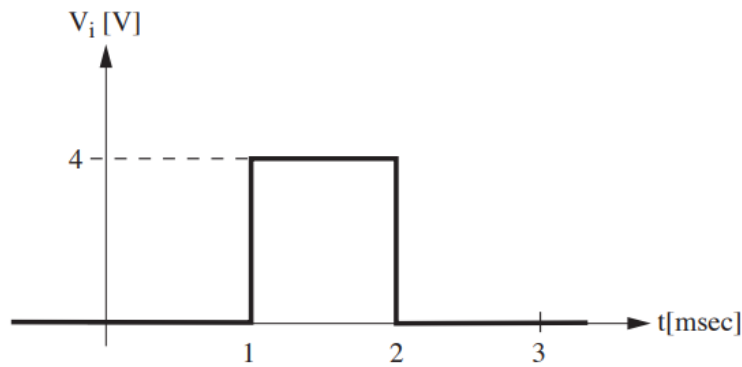
2. عندما يكون الزمن ($t = 8 \text{ msec}$)

الإجابات: ب. $V_o(4) = 4.92\text{V}$, $V_o(8) = -1.87\text{V}$

السؤال 2: في الرسمة التالية موصوف شبكة كهربائية لمرشح



على مدخل الشبكة، نزود الإشارة التالية:



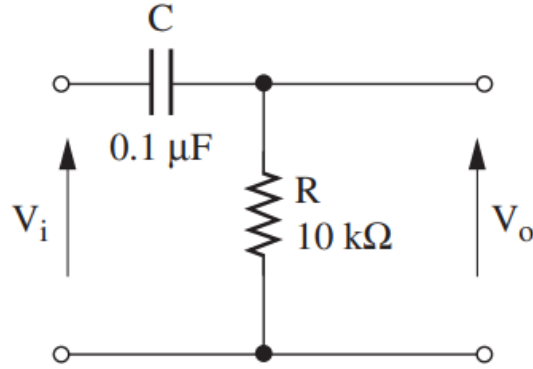
أ. ننسخ لدقتر الإجابة مخطط الجهد الداخل (V_i)، ونرسم أسفل منه، بشكل مناسب (بدون قيم)، إشارة الجهد الخارج (V_o) كدالة بالنسبة للزمن.

ب. نحسب الجهد الخارج عندما يكون الزمن ($t = 2 \text{ msec}$)

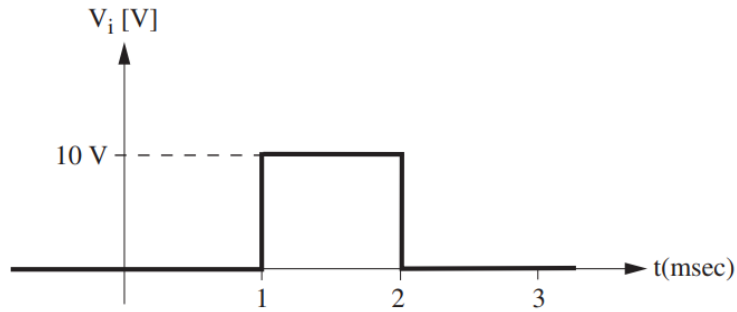
ج. نحسب الجهد الخارج عندما يكون الزمن ($t = 3 \text{ msec}$)

الإجابات: ب. $V_o(2) = 2.53 \text{ V}$ ، ج. $V_o(3) = 0.93 \text{ V}$

السؤال 2: في الرسم التالية موصوف شبكة كهربائية:



على مدخل الدائرة مزود إشارة كهربائية كما يلي:

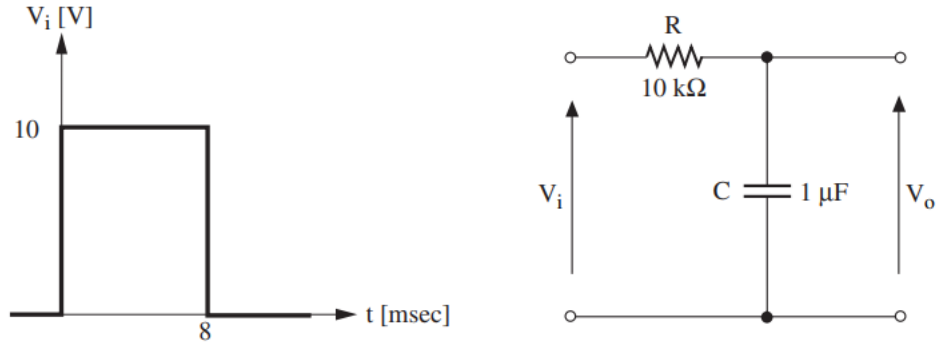


أ. ننسخ لدفتر الإجابة مخطط الجهد الداخل (V_i)، ونرسم أسفل منه، بشكل مناسب، إشارة الجهد الخارج (V_o) كدالة بالنسبة للزمن.

ب. نحسب الجهد الخارج عند الزمن ($t = 3 \text{ msec}$)

الإجابات: ب. $V_o(3) = -2.33 \text{ V}$

السؤال 2: للدائرة التالية نزود نبضة شدتها 10v وعرضها 8msec



أ. ننسخ لدفتر الإجابة مخطط الجهد الداخل (V_i)، ونرسم أسفل منه، بشكل مناسب (بدون قيم)، إشارة الجهد الخارج (V_o) كدالة بالنسبة للزمن.

ب. نحسب الجهد الأعلى الذي يُشحن به المكثف C

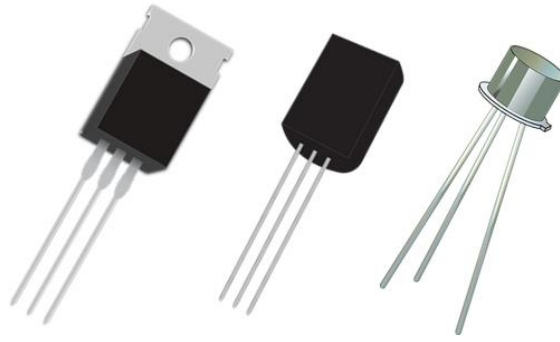
ج. نحسب الجهد الخارج عندما يكون الزمن ($t = 10\text{ msec}$)

الإجابات: ب. $V_{c,max}=V_o(8)=5.51\text{V}$ ، ج. $V_o(10)=4.51\text{V}$

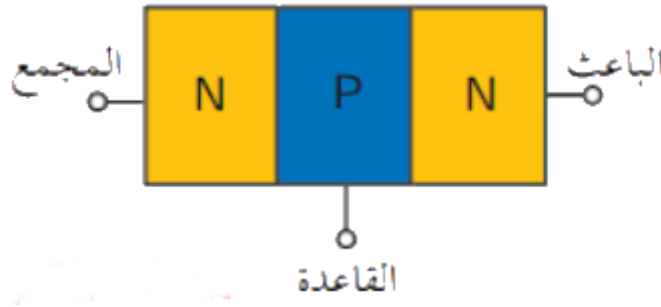
الترانزستور (Transistor)

الترانزستور هو عنصر إلكتروني مكون من أشباه الموصلات (السيليكون). اسمه مكون من كلمتين (Transfer - Resistor) وتعني التحكم بتدفق التيار الكهربائي. يشكل الترانزستور العنصر الأساسي لجميع الشرائح الإلكترونية المدمجة (IC).

له أنواع متنوعة تختلف ببنائها والمواد المستخدمة في تصنيعها وقيم الجهود والتيارات والقدرة التي تعمل عليها. من أشكاله ما يلي:



النوع الأساسي للترانزستور هو ترانزستور التقاطع ثنائي القطب (BJT) والذي يتكون من ثلاث طبقات (تقاطعين) كما يلي:

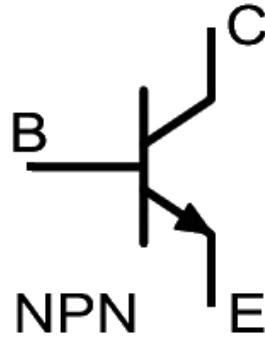


المادة (N) هي سيليكون مطعم بجزيئات سالبة الشحنة، والمادة (P) هي سيليكون مطعم بجزيئات موجبة الشحنة.

لدى الترانزستور ثلاثة أطراف، القاعدة - بيس (Base) والباعث - فولت (Emitter) والمجمع - كولت (Collector). ومن الممكن اعتبار الترانزستور عبارة عن صمامين ثنائيين مرتبطين بشكل متعاكس كما يلي:

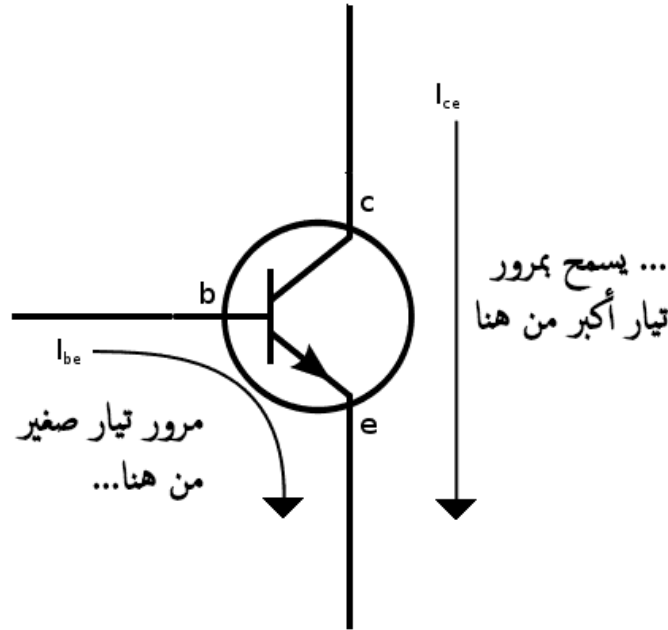


رمز الترانزستور (NPN - BJT) في الدائرة الكهربائية كما يلي:



يمكن للترانزستور أن يعمل كمفتاح إلكتروني أو كمكبر. وذلك بسبب قدرته على التحكم في قيم عالية نسبياً من التيار أو الجهد الكهربائي بواسطة كمية صغيرة جداً من التيار أو جهد منخفض.

تتحكم القاعدة في مرور التيار الكهربائي من المجمع إلى الباعث. كما يظهر في الرسم التالي:



عند غياب الجهد الكهربائي عن القاعدة لا يمر تيار كهربائي من المجمع إلى الباعث (مادة الـ P تكون حاجز يمنع الشحنات من الانتقال). وعند زيادة الجهد الكهربائي عند القاعدة يتشكل جسر من الشحنات السالبة في المادة P ويسمح بمرور التيار الكهربائي من المجمع إلى الباعث (مرور الشحنات من الباعث إلى المجمع). ويتناسب التيار المار تناسباً طردياً مع تيار القاعدة. وتستمر حالة التناسب الطردي مع زيادة جهد القاعدة حتى يصل تيار الباعث إلى حده الأقصى.

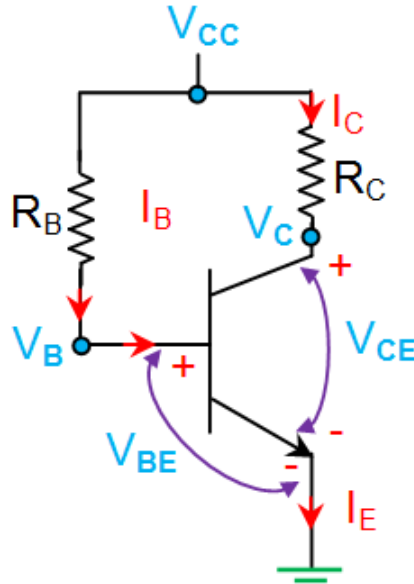
بالإمكان ربط الترانزستور في الدائرة الكهربائية بثلاث طرق، وذلك بالنسبة للطرف المشترك بين الجهد الداخل والجهد الخارج:

- القاعدة مشتركة (Common Base) وفيها يقوم الترانزستور بتكبير الجهد فقط
- الباعث المشترك (Common Emitter) وفيها يقوم الترانزستور بتكبير الجهد والتيار
- المجمع المشترك (Common Collector) وفيها يقوم الترانزستور بتكبير التيار فقط

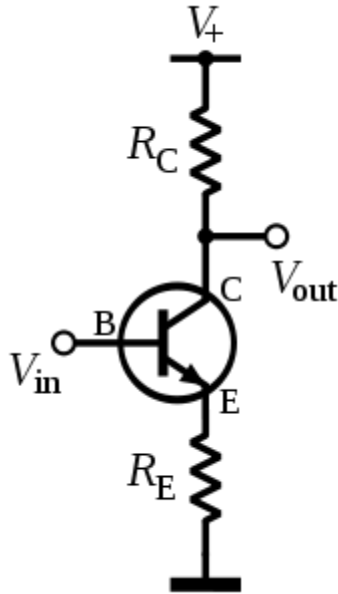
في هذا الفصل سندرس حالات ودوائر ترانزستور التقاطع ثنائي القطب (NPN) في حالة الباعث المشترك (Common Emitter - CE).

دائرة تشغيل الترانزستور الأساسية (دائرة الانحياز):

يظهر في الدائرة التالية ترانزستور ضمن دائرة أساسية من أجل تشغيله، وفيها يتم تزويد جهد للقاعدة (V_B) عن طريق مقاومة ذات قيمة عالية ($R_B \sim 500k\Omega$). يتم ربط الباعث الى الأرضية مباشرة أو عبر مقاومة متوسطة القيمة ($R_E \sim 1k\Omega$). وكذلك يتم ربط المجمع الى مصدر الجهد عن طريق مقاومة متوسطة القيمة كذلك ($R_C \sim 1k\Omega$).



ويكون تيار القاعدة قليلا ($I_B \sim \mu A$)، أما تيار الباعث والمجمع فيكون كبيرا نسبيا ($I_C, I_E \sim mA$). وتتفاوت هذي القيم بحسب الترانزستور المستخدم وتصميم وقيم العناصر في دائرة التشغيل.



جهد العتبة لتقاطع المادة الموجبة مع المادة السالبة هو V_{be} ويساوي 0.7v تقريبا

ملاحظة: إضافة مقاومة للباعث يقلل من معامل التكبير لكن يزيد من ثبات قيم الإشارات ومجال عمل الدائرة أو الخطية (linearity).

حالات الترانزستور

1. حالة القطع (Cutoff) – קיטעון

وفيه يكون تيار القاعدة صفرا ($I_B = 0A$)، مما يعني أن تيار المجمع صفرا كذلك ($I_C = 0A$)، ويكون فرق الجهد بين المجمع والباعث أكبر قيمة:

$$V_{ce} = V_{cc}$$

2. حالة الإشباع (Saturation) – רוויה

مع زيادة جهد الانحياز الداخل على القاعدة وزيادة تيار القاعدة فإن تيار الباعث يصل الى حده الأقصى ويثبت فرق الجهد بين المجمع والباعث ويسمى $V_{CE(sat)}$

ملاحظة: يعمل الترانزستور كمفتاح إلكتروني وذلك بتنقله بين حالي القطع والإشباع. فيكون مفتوحا لا يمرر التيار الكهربائي في حالة القطع، ومغلقا يسمح بمرور التيار الكهربائي في حالة الإشباع.

3. الحالة الفعالة (Active) – פעיל

وهي الحالة الوسطية التي يكون فيها الترانزستور بين القطع والإشباع. ويزداد تيار المجمع مع زيادة تيار القاعدة، كما يظهر في المعادلة التالية:

$$I_c = \beta \cdot I_B$$

الثابت (β) هو معامل تكبير التيار وهي قيمة فيزيائية ثابتة لكل ترانزستور تحدد عند التصنيع

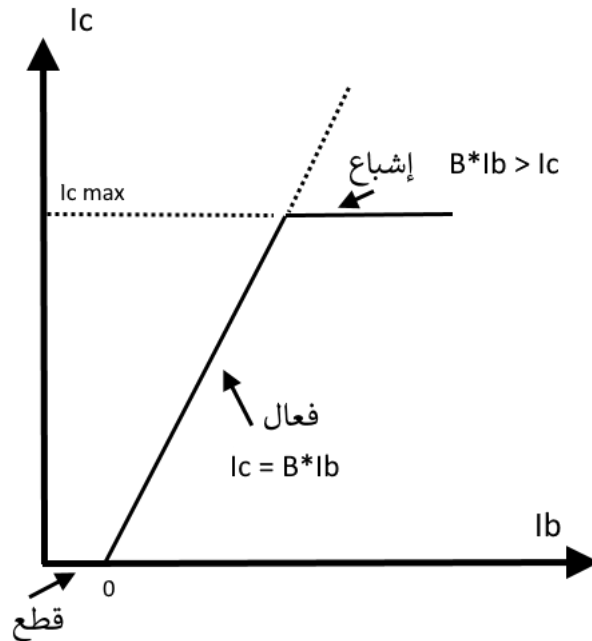
يعمل الترانزستور في الحالة الفعالة كمكبر للتيار والجهد بالاعتماد على كيفية ربطه في الدائرة.

نقرر أن الترانزستور في حالة الإشباع عندما يكون $I_c > \beta \cdot I_B$ ، ومن أجل ذلك نقوم بتحليل جانبي

الدائرة (الداخل والخارج) بشكل منفصل من أجل إيجاد I_B و I_C

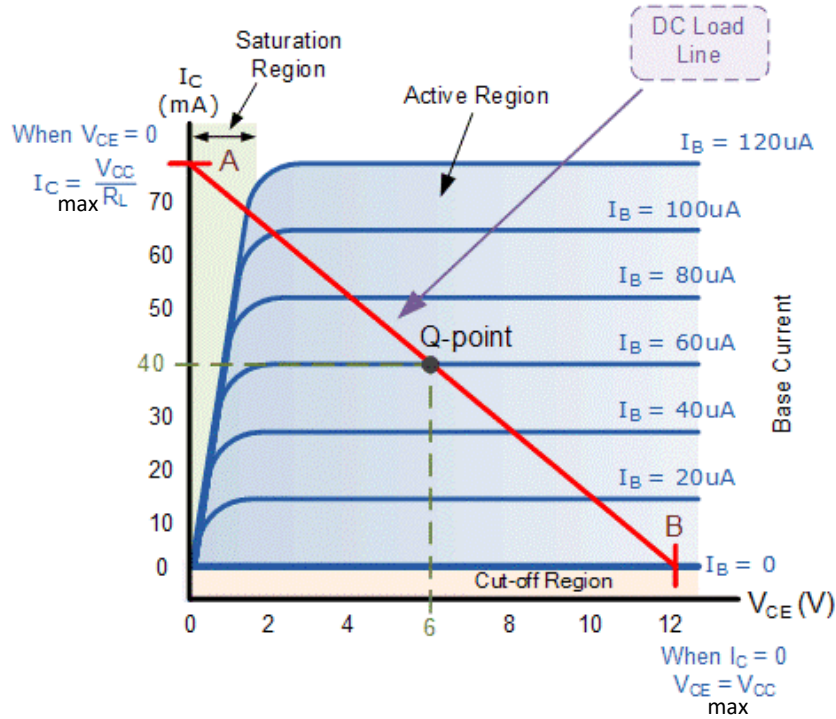
بالإمكان تمثيل الترانزستور كصنبور مياه، وفيه تكون القاعدة هي يد الصنبور. عند اغلاق الصنبور لا تمر المياه ويكون الترانزستور في حالة القطع، وعند بدء فتح الصنبور تزداد المياه بشكل متناسب مع فتحة الصمام وبذا يكون الترانزستور في الحالة الفعالة. أما عند اكتمال فتح الصمام فإن التيار المائي الخارج يثبت عند حده الأقصى ويكون الترانزستور في حالة الإشباع.

وفيما يلي مخطط العلاقة بين تياري القاعدة والمجمع في حالات الترانزستور الثلاث:



الرسمه الأساسية التي تصف خصائص عمل الترانزستور (Characteristics Curve):

وفيها يمثل فرق الجهد (V_{CE}) المحور الأفقي وتيار المجمع (I_C) المحور العمودي. مع ملاحظة أن هذه الرسمه تمثل جميع خيارات عمل الترانزستور، وكل نقطة على أي منحنى تصف الترانزستور ضمن دائرة انحياز محددة.

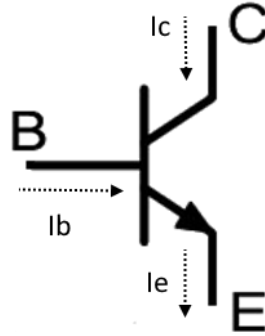


ويظهر في الرسمه مناطق عمل الترانزستور، بحيث يكون الترانزستور في حالة القطع عند أسفل المنحنى وفيه تيارا القاعدة والمجمع يكونا صفرا ($I_C = 0A$)، والى اليسار يكون الترانزستور في حالة الإشباع ويكون فرق الجهد بين المجمع والباعث ثابتا ($V_{CE} = V_{CE,sat}$). أما المنطقة الواسعة في المنتصف فيكون فيها الترانزستور في الحالة الفعالة. وفي هذه المنطقة نهتم بخط العمل ونقطة عمل الترانزستور (Q).

نقطة عمل الترانزستور - נקדת העבודה هي نقطة اتزان وتمثل قراءة الجهد والتيار للترانزستور في دائرة انحياز محددة (Q Point) ويتم تحديدها بقيم (I_C) و (V_{CE}) و (I_B)

خط عمل الترانزستور - קו העבודה هو مستقيم يظهر على الرسم ويعبر عن المعادلة التي تربط بين (I_C) و (V_{CE}) وتعتمد على دائرة انحياز الترانزستور.

العلاقة بين تيارات الترانزستور:



إذا نظرنا للترانزستور أنه يمثل تقاطع في دائرة كهربائية، فبالإمكان تطبيق قانون كيرخوف للتيار للربط بين التيارات الثلاث بالاعتماد على أن تيار الباعث يساوي مجموع كل من تيار القاعدة و تيار المجمع.

$$I_e = I_c + I_b$$

وإذا علمنا أن العلاقة بين تيار المجمع و تيار القاعدة في الحالة الفعالة كما يلي:

$$I_c = \beta \cdot I_b$$

فإن المعادلة تصبح:

$$I_e = \beta \cdot I_b + I_b$$

$$I_e = I_b \cdot (\beta + 1)$$

ويمكن كذلك كتابة تيار الباعث بدلالة تيار المجمع:

$$I_e = I_c + \frac{I_c}{\beta} = \frac{\beta + 1}{\beta} \cdot I_c$$

حساب خط عمل الترانزستور:

يمكن إيجاده بتطبيق قانون كيرخوف للجهد على دائرة الخرج.

1. بدون وجود مقاومة للباعث:

$$V_{cc} - I_c \cdot R_c - V_{ce} = 0$$

ولأن تيار المجمع يمثل المحور العمودي (y) وفرق الجهد بين المجمع والباعث يمثل المحور الأفقي

(x)، نُعيد ترتيب المعادلة لتصبح:

$$I_c = \frac{V_{cc}}{R_c} - \frac{V_{ce}}{R_c}$$

2. مع وجود مقاومة للباعث في الدائرة:

ملاحظة: فقط من أجل تبسيط الحل في إيجاد خط العمل، نفترض أن تيار الباعث يساوي تيار المجمع
($I_e \sim I_c$)

$$V_{CC} - I_c \cdot R_c - V_{ce} - I_e \cdot R_e = 0$$

نكتب تيار الباعث بدلالة تيار المجمع:

$$V_{CC} - I_c \cdot R_c - V_{ce} - I_c \cdot R_e = 0$$

$$V_{CC} - V_{ce} - I_c \cdot (R_c + R_e) = 0$$

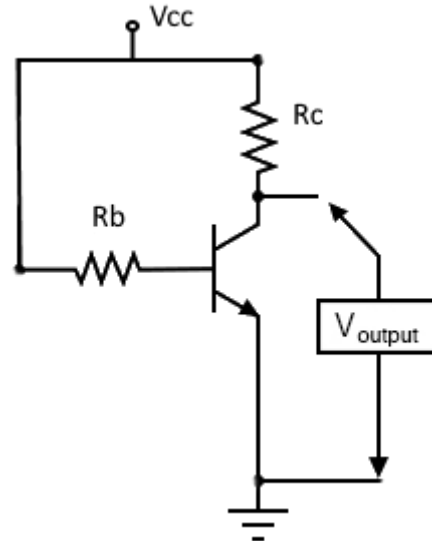
نُعيد ترتيب المعادلة لتصبح:

$$I_c = \frac{V_{CC}}{(R_c + R_e)} - \frac{V_{CE}}{(R_c + R_e)}$$

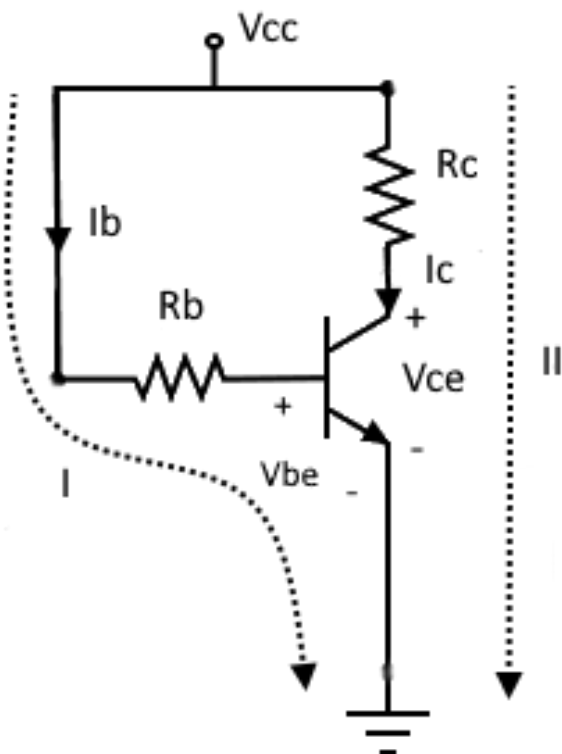
أمثلة:

نوجد نقطة عمل الترانزستور للدوائر التالية:

$$V_{cc} = 12\text{v}, R_b = 400\text{k}\Omega, R_c = 2\text{k}\Omega, \beta = 100, V_{be} = 0.7\text{v} .1$$



الحل: نستخدم قانون كيرخوف للجهد مرتين، مرة عند دائرة الدخل، ومرة عند دائرة الخرج كما يلي:



KVL @ I:

$$V_{cc} - I_b R_b - V_{be} = 0$$

$$12 - 400\text{K} \cdot I_b - 0.7 = 0$$

$$I_b = 11.3 / 400\text{K} = 28.25 \mu\text{A}$$

$$I_c = \beta \cdot I_b = 2.825\text{mA}$$

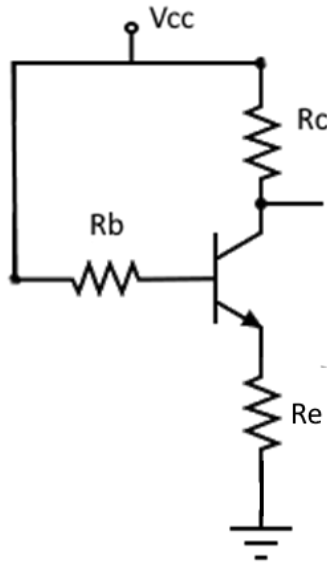
KVL @ II:

$$V_{cc} - I_c R_c - V_{ce} = 0$$

$$12 - 2.825 \cdot 2 - V_{ce} = 0$$

$$V_{ce} = 6.35\text{V}$$

, $R_e = 1K\Omega$, $\beta=50$, $V_{be} = 0.7v$ $V_{cc} = 15v$, $R_b = 300k\Omega$, $R_c = 2k\Omega$.2



الحل:

نستخدم قانون كيرخوف للجهد مرتين، مرة عند الدخُل، ومرة عند دائرة الخَرَج كما يلي:

KVL @ I:

$$V_{cc} - I_b R_b - V_{be} - I_e R_e = 0$$

تذكر أن العلاقة بين تيار الباعث وتيار القاعدة هي $I_e = (1+\beta) I_b$

$$15 - 300K * I_b - 0.7 - (1+50) * I_b * 1K = 0$$

$$14.3 - 351K * I_b = 0$$

$$I_b = 14.3 / 351K = 40.74 \mu A$$

$$I_c = \beta * I_b = 2.04mA$$

$$I_e = (1+ \beta) * I_b = 2.08mA$$

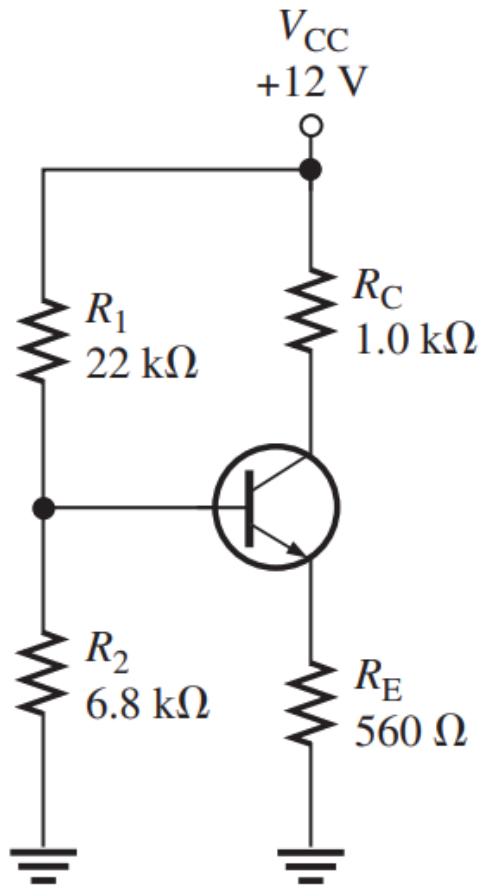
KVL @ II:

$$V_{cc} - I_c R_c - V_{ce} - I_e R_e = 0$$

$$15 - 2.04 * 2 - V_{ce} - 2.08 = 0$$

$$V_{ce} = 8.84v$$

$$\beta=150, V_{be} = 0.7v \quad .3$$

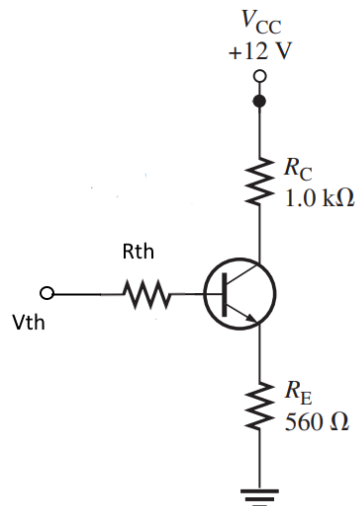


الحل: نقوم بتبسيط دائرة الدخّل باستخدام نظرية ثيفينين.

$$R_{th} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{22k \cdot 6.8k}{22k + 6.8k} = 5.19k\Omega$$

$$V_{th} = \frac{R_2 \cdot V_{cc}}{R_1 + R_2} = \frac{6.8k \cdot 12}{22k + 6.8k} = 2.83V$$

وتصبح الدائرة كما يلي:



نستخدم قانون كيرخوف للجهد مرتين، مرة عند دائرة الدخل، ومرة عند دائرة الخرج كما يلي:

KVL @ I:

$$V_{th} - I_b R_{th} - V_{be} - I_e R_e = 0$$

تذكر أن العلاقة بين تيار الباعث وتيار القاعدة هي $I_e = (1 + \beta) I_b$

$$2.83 - 5.19K \cdot I_b - 0.7 - (1 + 150) \cdot I_b \cdot 560 = 0$$

$$2.13 - 89.75K \cdot I_b = 0$$

$$I_b = 2.13 / 89.75K = 23.73 \mu A$$

$$I_c = \beta \cdot I_b = 3.56mA$$

$$I_e = (1 + \beta) \cdot I_b = 3.58mA$$

KVL @ II:

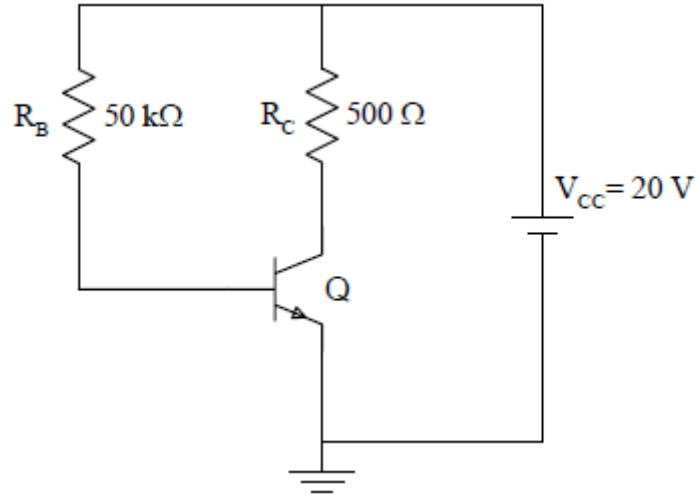
$$V_{cc} - I_c R_c - V_{ce} - I_e R_e = 0$$

$$12 - 3.56 \cdot 1 - V_{ce} - 2 = 0$$

$$V_{ce} = 6.44V$$

تمارين تحليل دوائر الترانزستور للتيار الثابت

1. في الرسم التالية دائرة كهربائية بها ترانزستور مرتبط لمصدر جهد ثابت (DC). بيانات الترانزستور هي ($\beta=50$, $V_{be}=0.7v$)



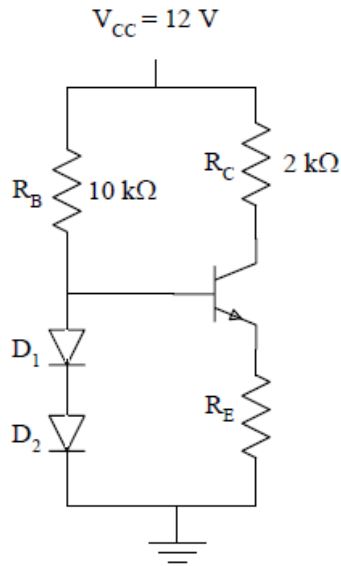
- أ. نحسب نقطة عمل الترانزستور
- ب. نحسب القدرة المستهلكة من المقاومة R_c
- ج. الآن قم بتكبير المقاومة R_c ثلاث مرات، أثبت أن الترانزستور يُصبح في حالة الإشباع

الإجابات:

أ. $I_b = 0.386mA$, $I_c = 19.3mA$, $V_{ce} = 10.35v$

ب. $P_{Rc} = 0.186w$

2. في الرسمة التالية دائرة كهربائية بها ترانزستور وصمامين ثنائيين (دايود). بيانات الترانزستور والصمامين هي ($\beta=100$, $V_D = V_{be} = 0.7v$)



أ. نحسب المقاومة R_E حتى يمر عبرها تيار شدته $3.5mA$

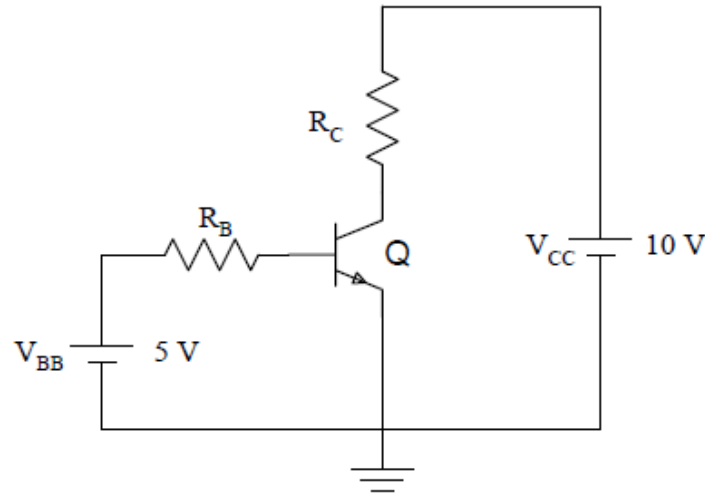
ب. نحسب الجهد V_{CE}

ج. نفس، ما هو دور المقاومة R_B

الإجابات:

أ. $R_E = 200\Omega$ ، ب. $V_{CE} = 4.37v$ ، ج. تحدد التيار المار في الدايودات، وتوفر تيار القاعدة للترانزستور فتساعد على تثبيت جهد القاعدة عند $V_B = 1.4V$

3. في الرسمة التالية دائرة كهربائية بها ترانزستور مرتبط مع مصدري جهد ثابت (DC). بيانات الترانزستور هي ($\beta=100$, $V_{be}=0.7v$).
إذا كان تيار المجمع $I_C = 10mA$ والجهد $V_{CE} = 5V$.



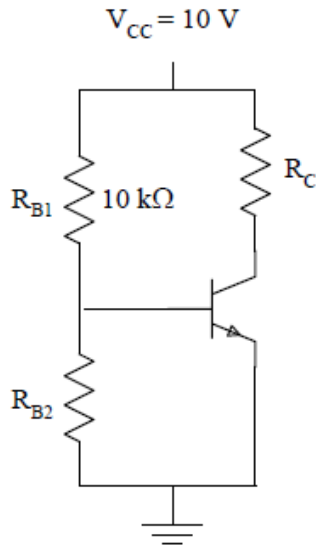
أ. نحسب قيم المقاومات R_C , R_B

ب. نرسم خط العمل DC للترانزستور في الدائرة، وحدد عليه نقطة العمل

الإجابات:

أ. $R_b = 43k\Omega$, $R_c = 0.5k\Omega$

4. في الرسمة التالية دائرة كهربائية بها ترانزستور مرتبط مع مصدر جهد ثابت (DC). بيانات



الترانزستور هي $(\beta=50, V_{be}=0.7v)$.

إذا كان من المعروف نقطة عمل الترانزستور هي: $I_c = 5mA$

$V_{CE} = 5V$

أ. نحسب قيم المقاومات R_C , R_{B2}

ب. نحسب شدة التيار المار في المقاومة R_{B1}

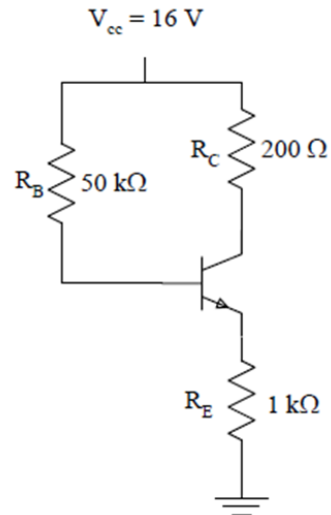
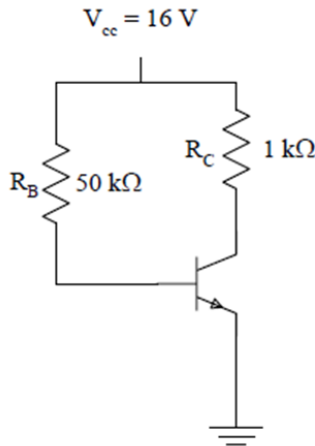
الإجابات:

أ. $R_C = 1k\Omega$, $R_{B2}=840\Omega$, ب. $I_{RB1} = 0.93mA$

5. في الرسمين التاليين دائرة كهربائية بها ترانزستورين متطابقين. بيانات الترانزستور هي

$(\beta=100, V_{be}=0.7v, V_{CE,sat} = 0.2v)$. حسب بيانات الدائرة، يقع أحد الترانزستورين في

حالة الإشباع.



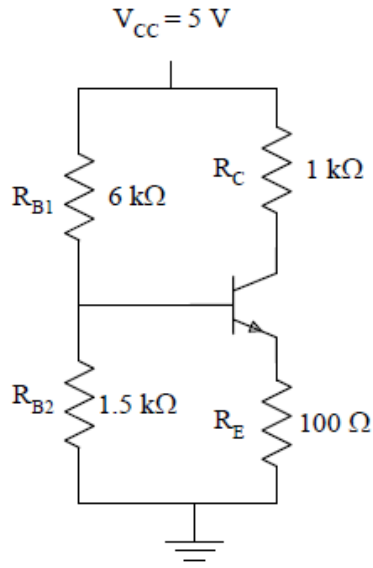
نحسب نقطة العمل لكل ترانزستور ونحدد أيًا منها في حالة الإشباع.

الجواب:

الترانزستور في الدائرة الأولى في حالة الإشباع ($I_b=0.306mA, I_c=15.8mA$)

الترانزستور في الدائرة الثانية في الحالة الفعالة ($I_b=0.101mA, I_c=10.1mA, V_{ce}=3.78v$)

6. مُعطى دائرة ترانزستور مع جهد ثابت (DC). بيانات الترانزستور هي ($\beta=100$, $V_{be}=0.7v$).



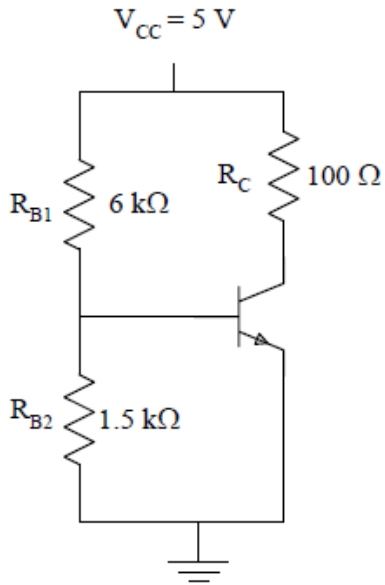
- نرسم خط عمل التيار الثابت للدائرة
- نحسب نقطة عمل الترانزستور (V_{CE} , I_C) ونحددها على خط العمل
- نحسب شدة التيار المار في المقاومة R_{B1}

الإجابات:

ب. $I_C = 2.655mA$, $V_{CE} = 2.082v$

ج. $I_{B1} = 0.672mA$

7. مُعطى دائرة ترانزستور مع جهد ثابت (DC). بيانات الترانزستور هي ($\beta=100$, $V_{be}=0.7v$).



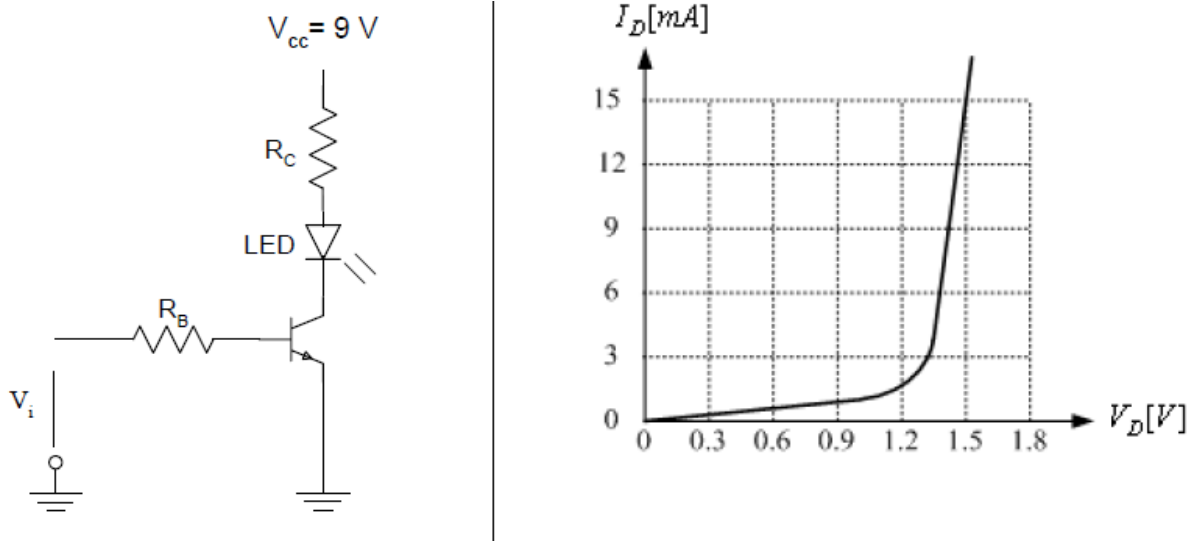
- نرسم خط عمل التيار الثابت للدائرة
- نحسب نقطة عمل الترانزستور (V_{CE} , I_C) ونحددها على خط العمل
- نحسب شدة التيار المار في المقاومة R_{B1}

الإجابات:

ب. $I_C = 25mA$, $V_{CE} = 2.5v$

ج. $I_{B1} = 0.716mA$

8. في الرسمة التالية، يوجد دائرة ترانزستور من أجل تشغيل مصباح LED. مُعطى كذلك منحنى التيار والجهد للمصباح. بيانات الترانزستور هي ($\beta=100$, $V_{be}=0.7v$, $V_{CE, sat}=0v$).

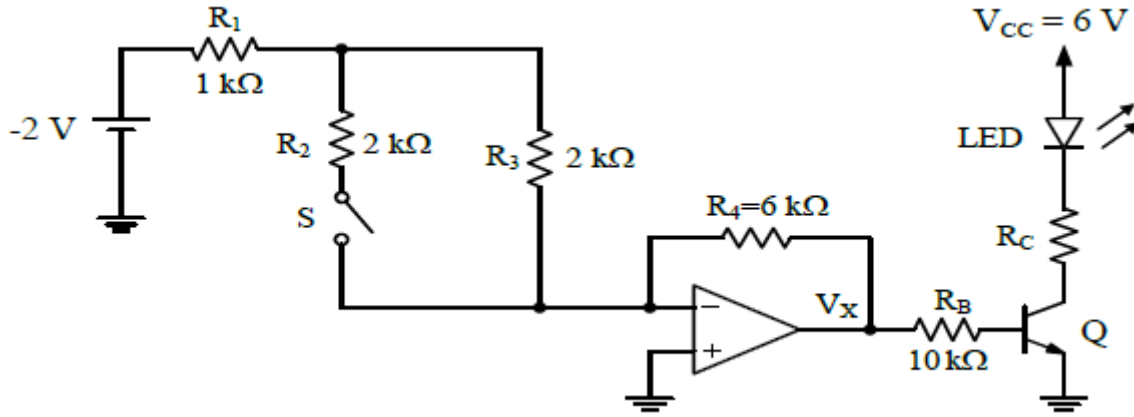


- أ. نحدد عمل المقاومة R_c في الدائرة، وكيفية اختيار قيمته
- ب. نحسب بشكل تقريبي قيمة المقاومة R_c ، إذا كان التيار المار في المصباح هو $15mA$
- ج. نحسب قيمة المقاومة R_b اللازمة من أجل وضع الترانزستور في حالة الإشباع حسب بيانات الفرع ب، لجهد الدخّل $V_i = 5v$

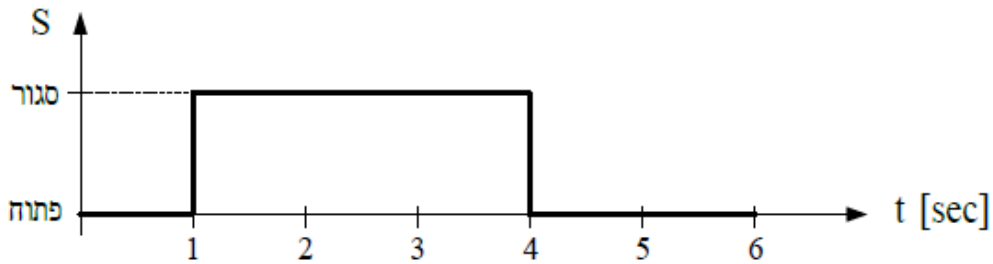
الإجابات: أ. تحديد تيار المصباح وحمايته من الإحتراق، نحدد قيمتها عن طريق قانون كيرتشفول للجهد،

ب. $R_c = 500\Omega$ ج. $R_{b, max} = 28.67k\Omega$

9. في الرسة التالية، يوجد دائرة كهربائية بها مفتاح S، مكبر عمليات مثالي، ترانزستور ببياناته هي $(\beta=100, V_{be}=0.7v, V_{CE, sat}=0v)$ وكذلك بيانات الصمام الباعث للضوء هي $(V_{LED}=1.2v, I_{LED}=20mA)$.



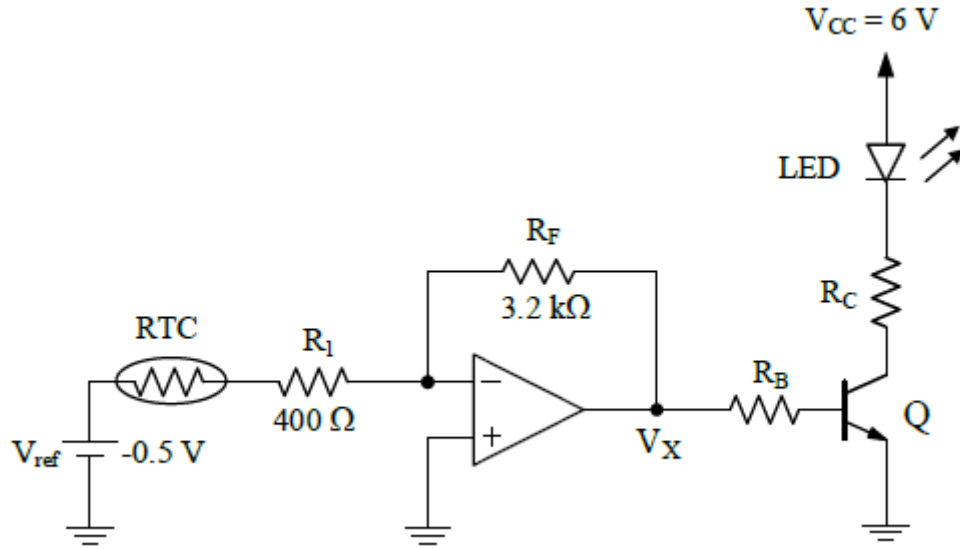
في الرسة التالية مخطط عمل المفتاح خلال 6 ثواني.



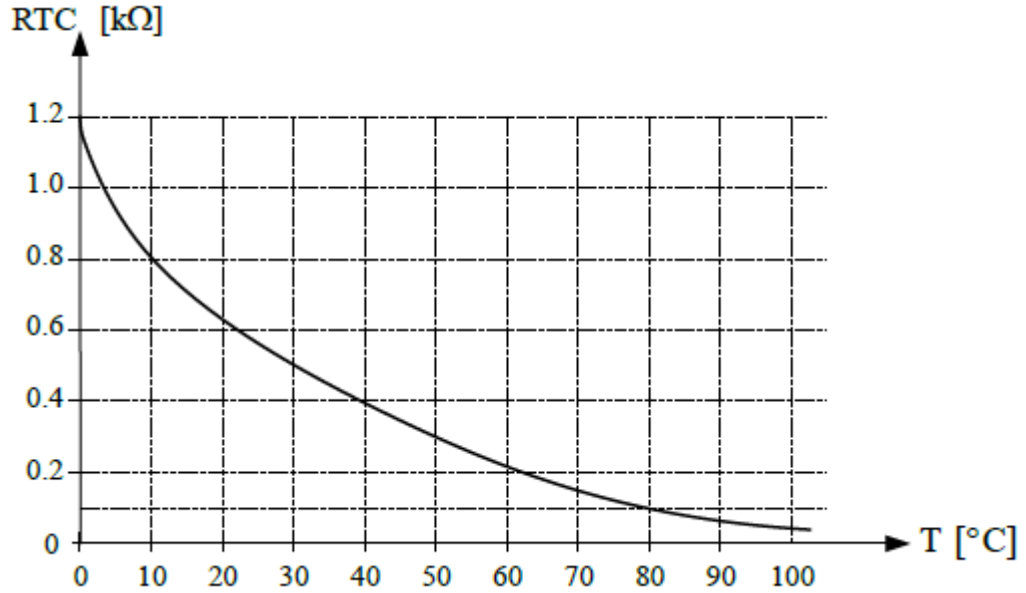
- ننقل الى الدفتر الرسة الثانية ونُضيف، بشكل ملائم، مخطط الجهد V_X بدلالة الزمن
- نحسب قيمة المقاومة R_C حتى يكون الترانزستور في حالة الإشباع. من أجل حل هذا الفرع نستخدم قيمة الجهد $V_X = 6v$
- نقترح تغيير في دائرة الترانزستور حتى يعمل المصباح بشكل مستقل عن حالة المفتاح. فسر إجابتك

الإجابات: ب. $R_C=240$ ، ج. حتى يعمل المصباح بنفس الحالة سواء أكان المفتاح مفتوحاً أو مغلقاً، يجب أن يبقى الترانزستور في الإشباع عند أقل قيمة للجهد $V_X=4V$ ، يعني أن أكبر قيمة مسموحة للمقاومة هي $R_{B,max}=16.5\Omega$

10. في الرسمة التالية، يوجد دائرة كهربائية بها مكبر عمليات مثالي، مجس حرارة (RTC) وهو عبارة عن مقاومة تتغير حسب حرارة البيئة المحيطة. ترانزستور بياناته هي $\beta=100$, $V_{LED}=1.2V$, $V_{be}=0.7V$, $V_{CE, sat}=0V$ $(I_{LED}=20mA$.



في الرسمة التالية مخطط عمل مجس حرارة (RTC)



- أ. نحسب الجهد الخارج من مكبر العمليات V_x ، عندما تكون درجة الحرارة $40^\circ C$
 ب. نحسب درجة الحرارة عندما يكون الجهد الخارج $3.2V$

ج. مع افتراض أن الترانزستور في حالة الإشباع، نحسب قيمة المقاومة R_C اللازمة من أجل عمل صحيح للصمام الثنائي الباعث للضوء

د. يدخل الترانزستور الى حالة الإشباع بدءا من $V_X = 3.2 \text{ V}$ ، نحسب المقاومة R_B

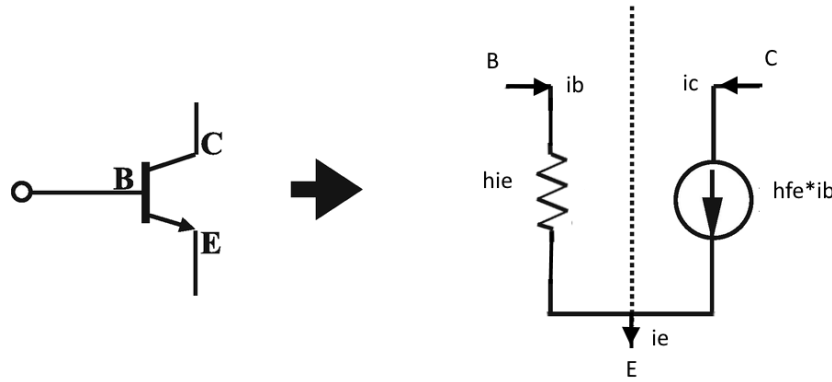
الجواب:

أ. $V_X = 2 \text{ V}$ ، ب. $T = 80^\circ\text{C}$ ، ج. $R_C = 240 \Omega$ ، د. $R_B = 12.5 \text{ k}\Omega$

تحليل دوائر الترانزستور في حالة التيار المتناوب

نلاحظ أن الهدف من دائرة الترانزستور للجهد الثابت (V_{CC} , R_B , R_C , R_E) هو تصميم دائرة الترانزستور بحيث يكون في الحالة الفعالة ويعمل كمكبر. إذ أن دائرة التيار الثابت تضع نقطة العمل للترانزستور في المنطقة الفعالة. أما عمل الترانزستور كمكبر فيكون عند تزويده بمصدر أو إشارة ضعيفة تعتبر كمصدر متناوب.

نقوم بتمثيل الترانزستور في دوائر التيار المتناوب كمقاومة من جهة الدخّل قيمتها h_{ie} ومصدر للتيار من جهة الخرج قيمته $h_{fe} \cdot i_b$ كما يظهر في الدائرة المكافئة التالية (מעגל תמורה):



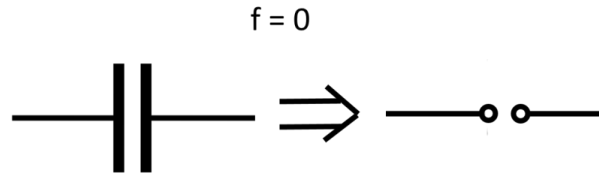
ملاحظات:

- تُمثّل التيارات في حالة التيار الثابت بأحرف كبيرة I ، وبأحرف صغيرة في حالة التيار المتناوب i
- بالإمكان تجاهل مفاعلة المكثفات (X_C) في دوائر الترانزستور
- يُعتبر المكثف دائرة مفتوحة أثناء تحليل الدائرة في حالة الـ (DC)
- يُعتبر المكثف سلك مقاومته صفر أثناء تحليل الدائرة في حالة الـ (AC)

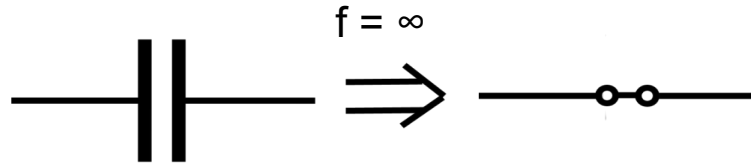
تذكر أن الممانعة أو المفاعلة السعوية للمكثف تعتمد على قيمة تردد الإشارة كما يظهر في المعادلة التالية:

$$X_c = \frac{1}{2\pi f c}$$

في حالة التيار الثابت، يكون تردد الإشارة منخفض ($f=0$) والمفاعلة تكون عالية جدا، ونمثل المكثف بدائرة مفتوحة.



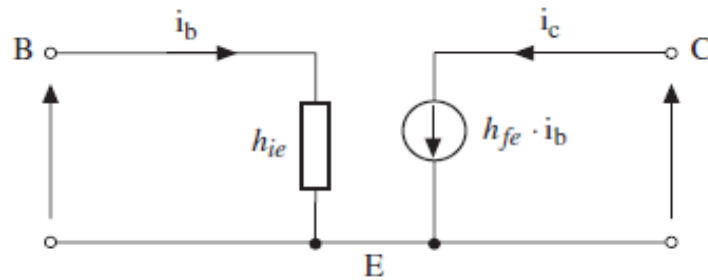
عندما يكون تردد الإشارة عالي ($f=\infty$) فإن الممانعة تكون قليلة، ونمثلها بسلك.



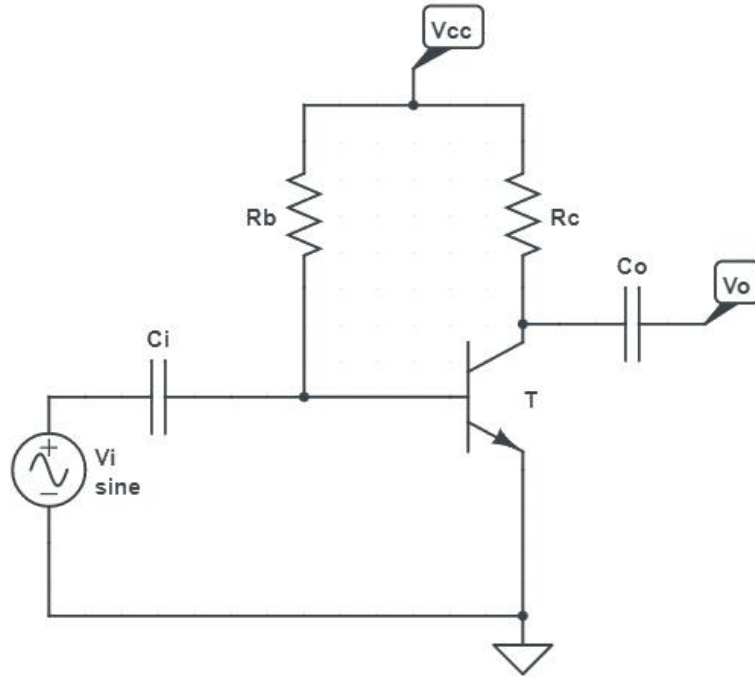
خطوات رسم الدائرة المكافئة:

1. مصادر الجهد الثابت تصبح صفرا (أرضية) عند رسم الدائرة المكافئة في حالة الـ (AC)
2. نحول جميع المكثفات الى أسلاك (مقاومة قيمتها صفرا)
3. نبدأ من الدائرة المكافئة للترانزستور ومن ثم ننتقل بعيدا عنه، من كل من أطرافه (المشع، المجمع، القاعدة)

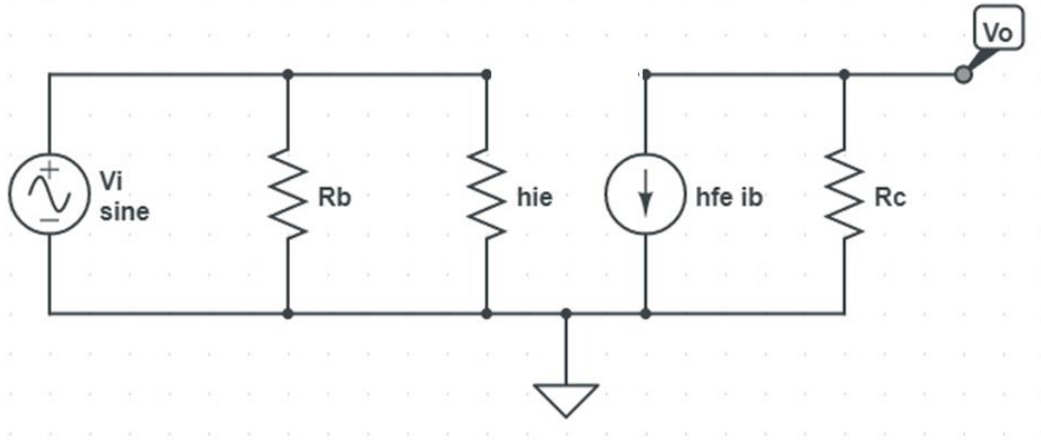
تذكر أن الدائرة المكافئة للترانزستور في حالة الـ (AC):



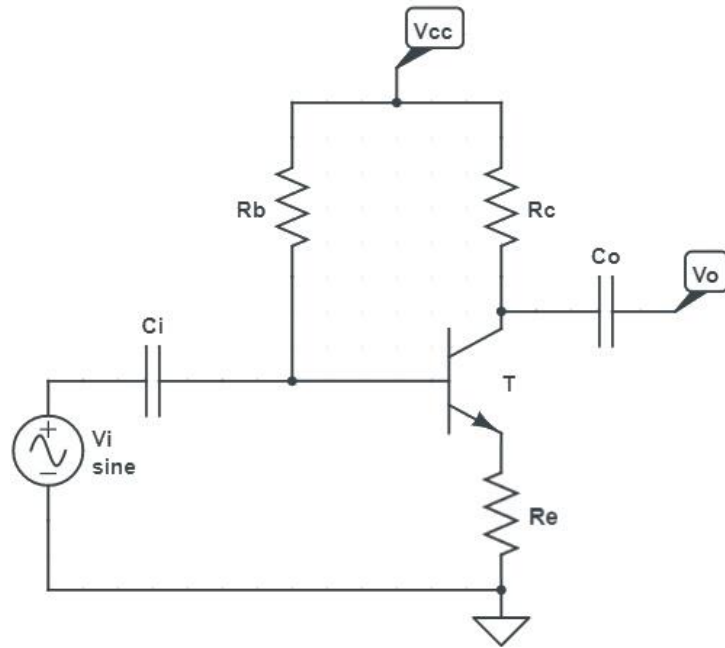
مثال: نرسم الدائرة المكافئة في حالة التيار المتناوب لكل مما يلي:
1. دون وجود مقاومة مشع



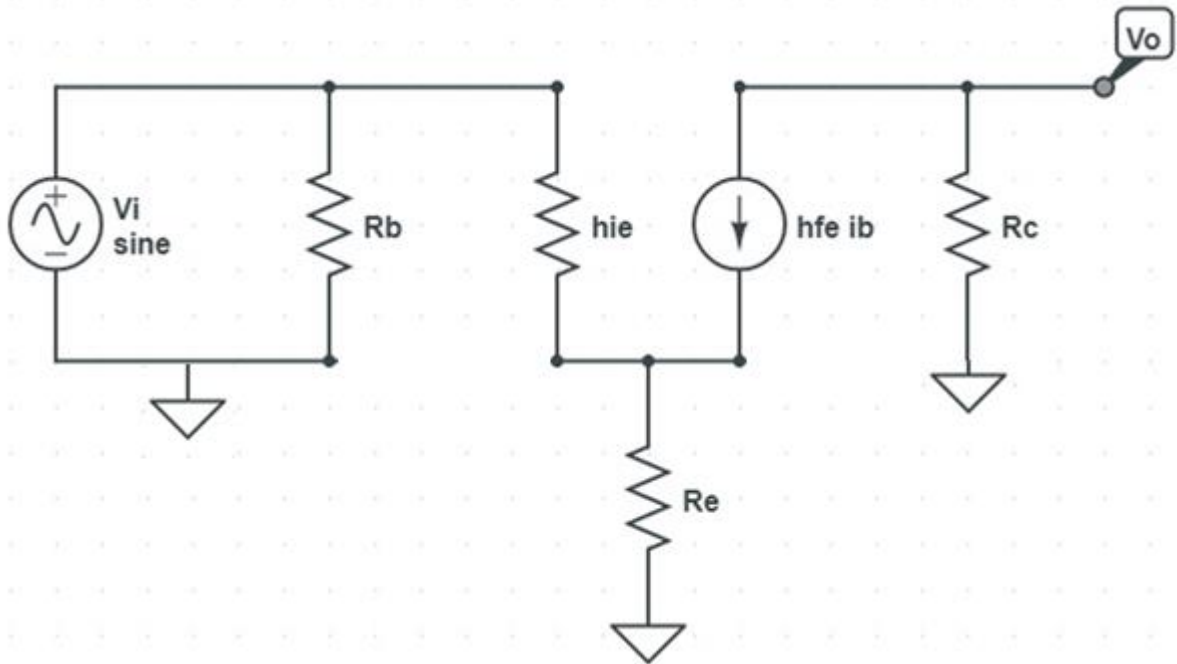
الحل: نلاحظ تبديل المكثفات بأسلاك، وتحويل مصدر الجهد الثابت الى أرضية.



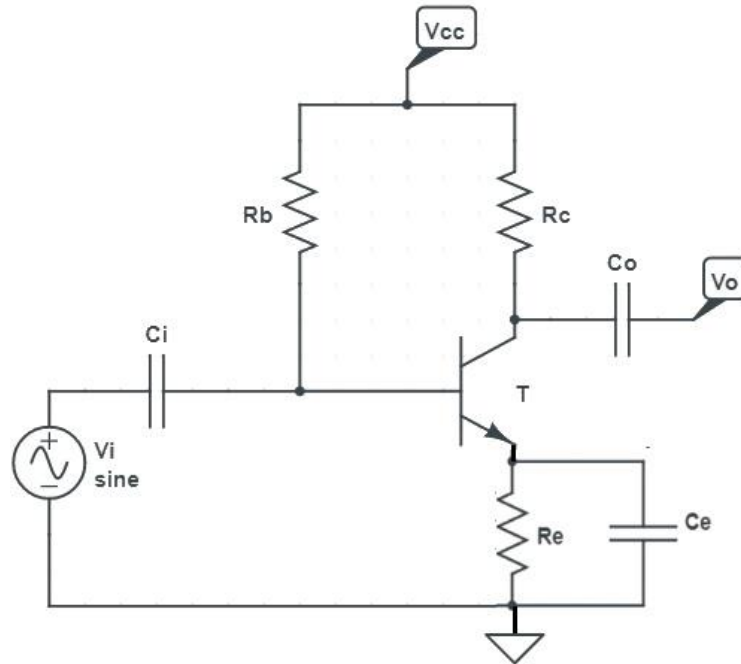
2. مع وجود مقاومة مشع



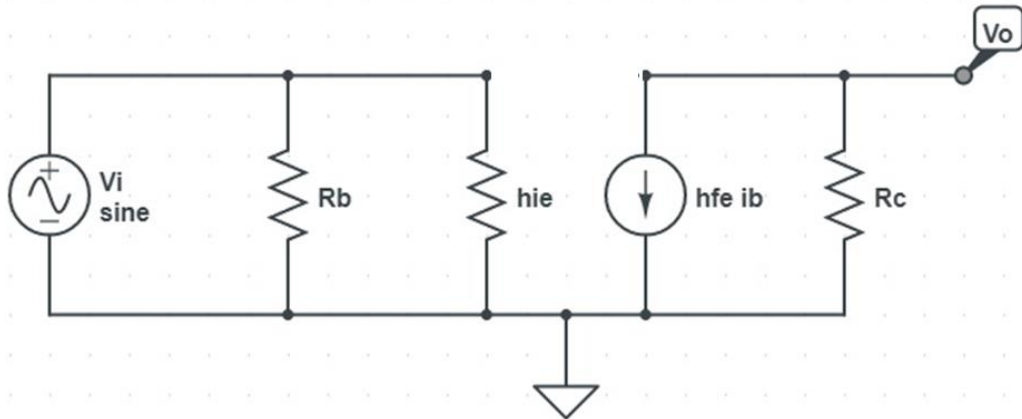
الحل: الإضافة الوحيدة على المثال السابق هي مقاومة المشع.



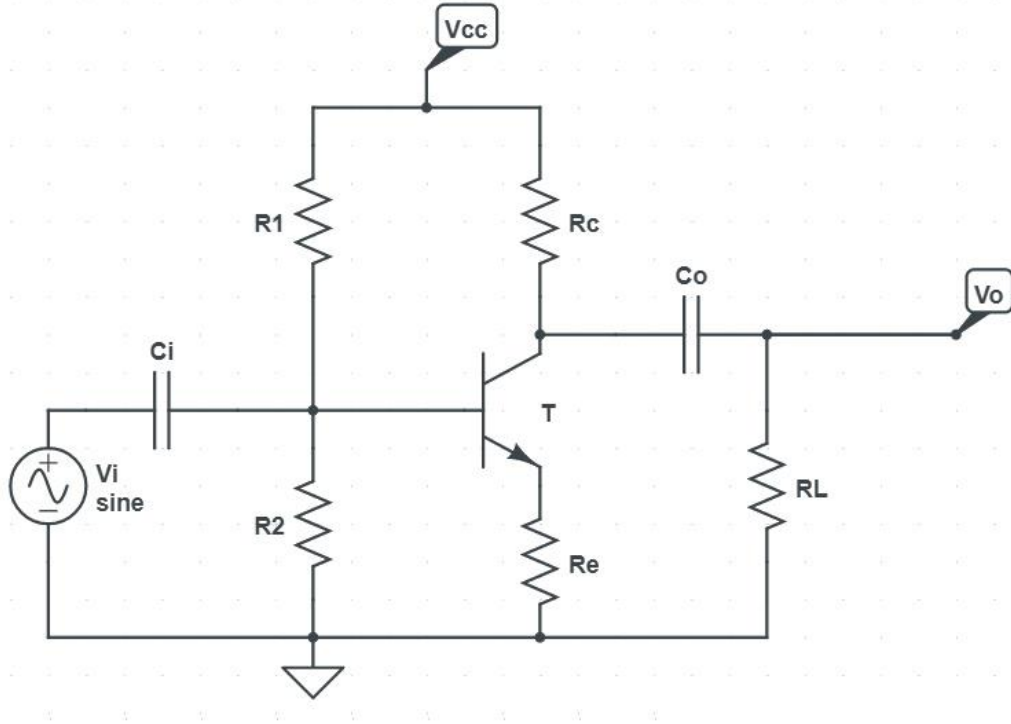
3. مع وجود مكثف على التوازي مع مقاومة المشع (تذكر أن توازي مقاومة مع سلك يلغي المقاومة ويبقى السلك)



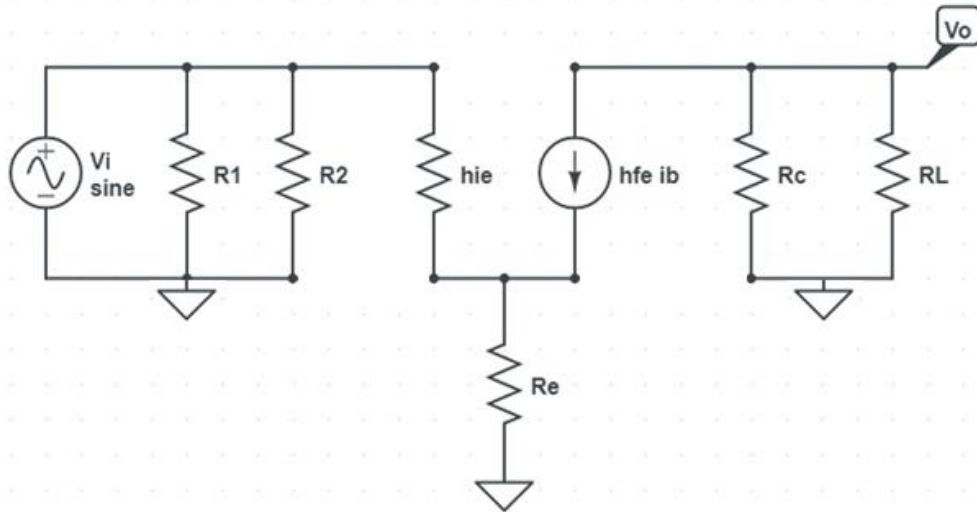
الحل: نلاحظ أن المكثف على التوازي مع دائرة المشع، يؤدي إلى إلغاء تأثير مقاومة المشع في حالة التيار المتناوب.



4. مع وجود حمّل (R_L) ومقاومتان عند دائرة الدخّل



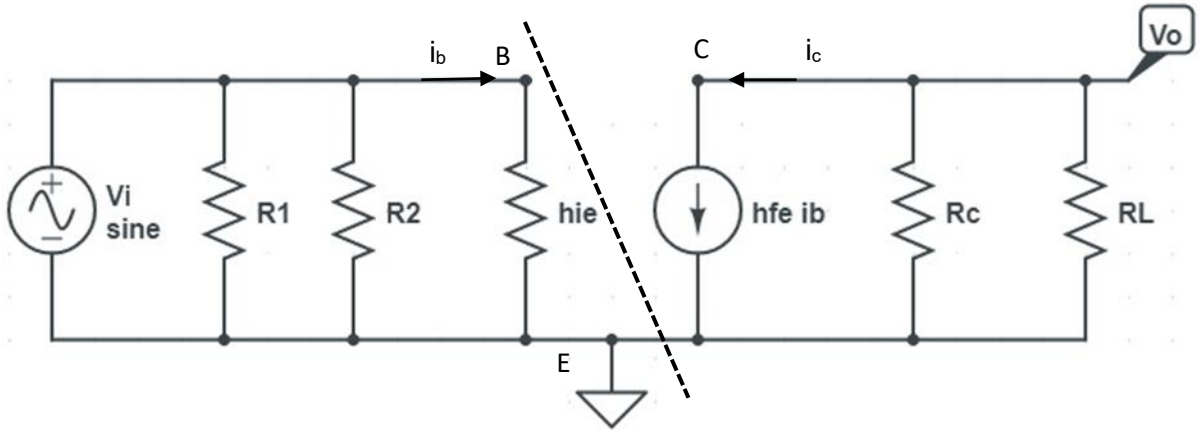
الحل: نلاحظ ظهور مقاومة الحمّل على التوازي عند دائرة الخرج وظهور المقاومتين على التوازي عند دائرة الدخّل.



حساب معامل تكبير الجهد لدائرة الترانزستور في حالة الـ (AC):

بدون وجود مقاومة مشع (RE):

الشكل العام للدائرة المكافئة في حالة التيار المتناوب بدون وجود مقاومة مشع



- الخط المتقطع يفصل بين دائرة الدخل ودائرة الخرج. ومن ناحية كهربائية فإن الرابط بين الدائرتين هو تيار القاعدة (i_b)
- جهة الدخل: الجهد على التوازي متساوي لذلك:

$$V_{h_{ie}} = h_{ie} \cdot i_b = V_i$$

$$i_b = \frac{V_i}{h_{ie}} \dots (1)$$

- جهة الخرج: الجهد الخارج هو حاصل ضرب محصلة المقاومة مع تيار المجمع (السالب لأن جهد المقاومة بعكس اتجاه التيار):

$$V_o = -h_{fe} i_b \cdot (R_L // R_C) \dots (2)$$

نعوض قيمة جهد القاعدة من المعادلة الأولى في المعادلة الثانية لتصبح:

$$V_o = -h_{fe} \cdot (R_L // R_C) \cdot \frac{V_i}{h_{ie}}$$

نبسط لنحصل على الشكل العام لمعادلة معامل التكبير:

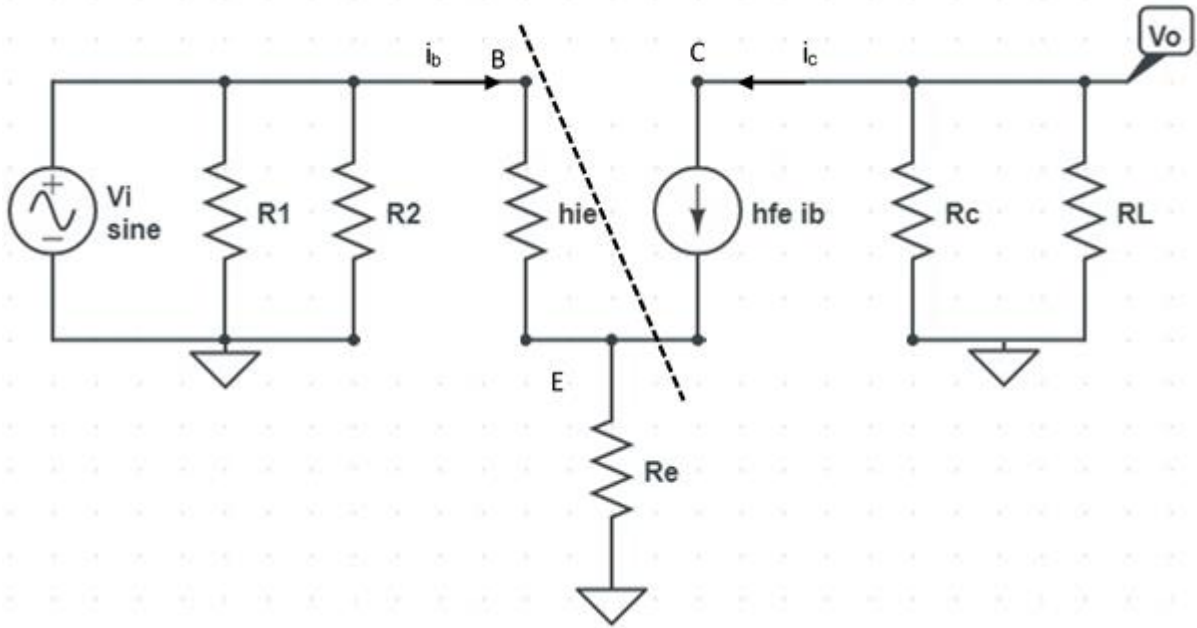
$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = - \frac{h_{fe} \cdot (R_L // R_C)}{h_{ie}}$$

في حال عدم وجود مقاومة الحمل، يتم تبسيط المعادلة لتصبح:

$$A_v = - \frac{h_{fe} \cdot R_C}{h_{ie}}$$

مع وجود مقاومة مشع (RE):

الشكل العام للدائرة المكافئة في حالة التيار المتناوب مع مقاومة مشع



جهة الدخل: الجهد على التوازي متساوي (سواء أكان عند دائرة الدخل مقاومة واحدة Rb أو مقاومتان (R1, R2)، لذلك:

$$V_i = V_{h_{ie}} + V_E = h_{ie} \cdot i_b + (1 + h_{fe})R_e \cdot i_b$$

$$V_i = h_{ie} \cdot i_b + (1 + h_{fe})R_e \cdot i_b$$

نأخذ تيار القاعدة عامل مشترك:

$$V_i = (h_{ie} + (1 + h_{fe})R_e) \cdot i_b$$

$$i_b = \frac{V_i}{h_{ie} + (1 + h_{fe})R_e} \dots (1)$$

• جهة الخرج: الجهد الخارج هو حاصل ضرب محصلة المقاومة مع تيار المجمع (السالب لأن

التيار يسير باتجاه الخرج):

$$V_o = -h_{fe}i_b \cdot (R_L // R_C) \dots (2)$$

نعوض قيمة جهد القاعدة من المعادلة الأولى في المعادلة الثانية لتصبح:

$$V_o = -h_{fe} \cdot (R_L // R_C) \cdot \frac{V_i}{h_{ie} + (1 + h_{fe})R_e}$$

نبسط لنحصل على الشكل العام لمعادلة معامل التكبير:

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{h_{fe} \cdot (R_L // R_C)}{h_{ie} + (1 + h_{fe})R_e}$$

في حال عدم وجود مقاومة الحمل، يتم تبسيط المعادلة لتصبح:

$$A_v = - \frac{h_{fe} \cdot R_C}{h_{ie} + (1 + h_{fe})R_e}$$

ملاحظة: في حال تم اعتماد أن التيار الداخل هو $i_i = i_b$ ، فإن قيمة تكبير التيار ثابتة في حالة وجود مقاومة مشع أو في حالة عدم وجودها.

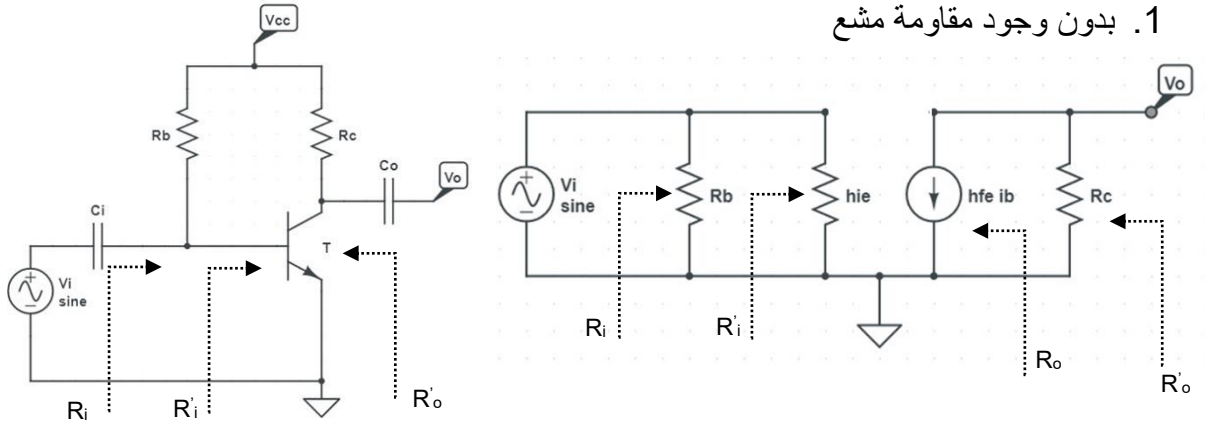
$$A_i = h_{fe}$$

في جميع الحالات الأخرى نحتاج الى استخدام قانون تقسيم الجهد للربط بين i_i و i_b

حساب مقاومة الدُخْل والخَرْج

تعتمد قيمة مقاومة الدُخْل R_i ومقاومة الخرج للترانزستور R_o على حسب الموقع المراد منه حساب قيمة المقاومة كما يظهر في الرسومات التالية:

1. بدون وجود مقاومة مشع



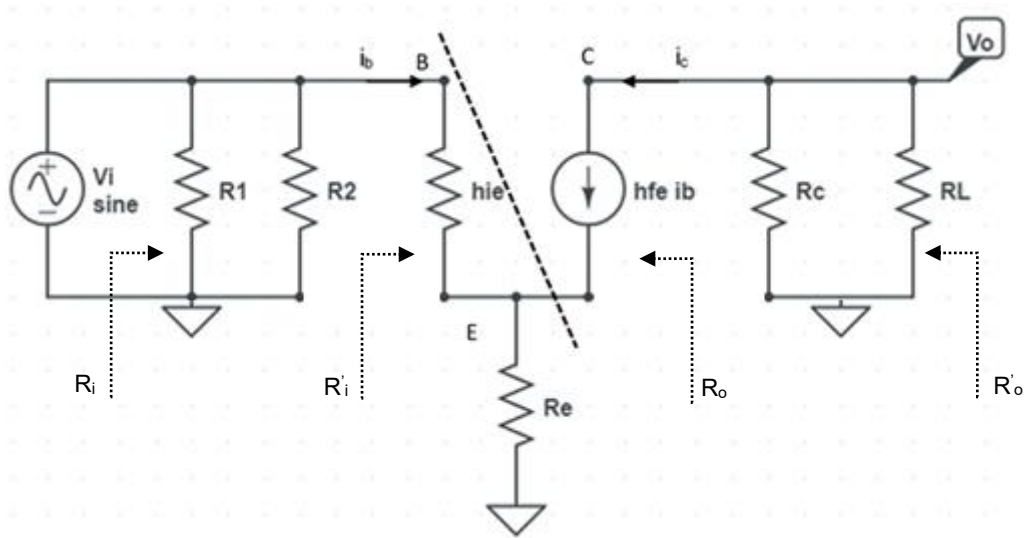
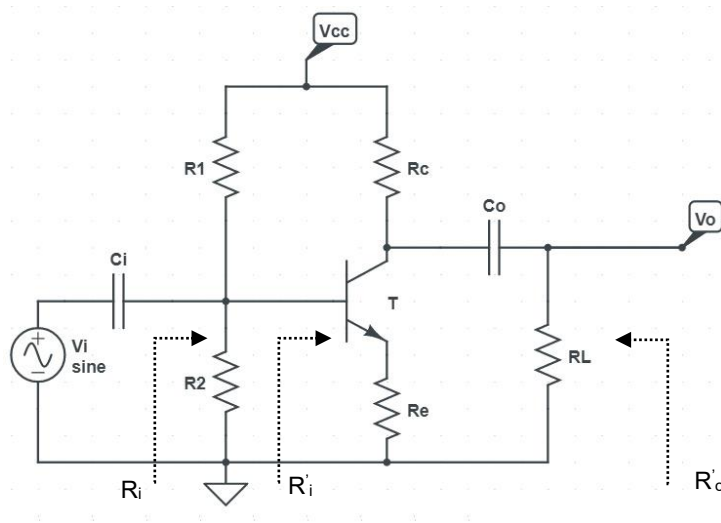
$$R_i = R_b // h_{ie}$$

$$R_i' = h_{ie}$$

$$R_o = \infty$$

$$R_o' = R_c$$

2. مع وجود مقاومة مشع



$$R'_i = h_{ie} + (1 + h_{fe})R_e$$

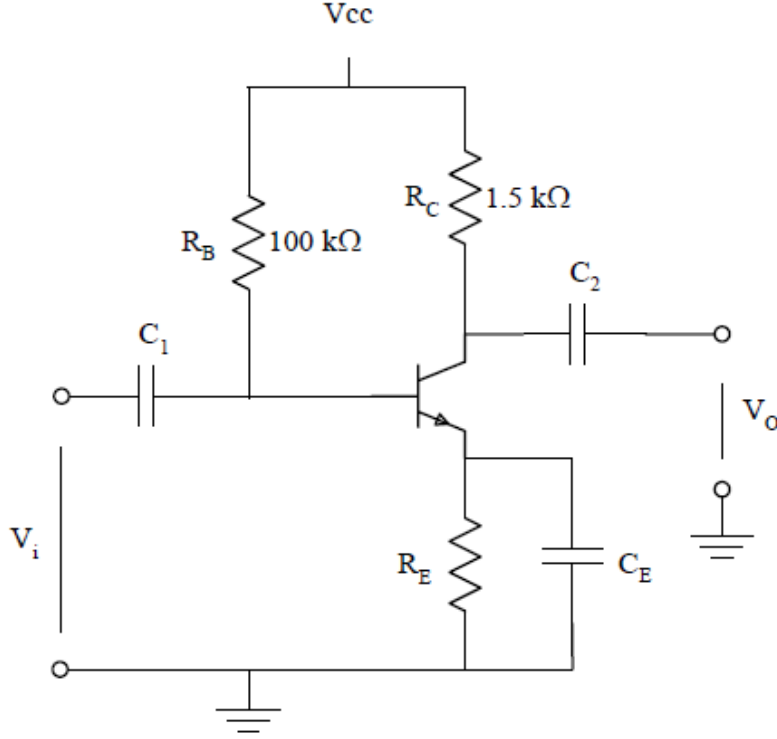
$$R_i = R_1 // R_2 // R'_i$$

$$R_o = \infty$$

$$R'_o = R_L // R_c$$

تمارين تحليل دوائر الترانزستور للتيار المتناوب

1. في الرسم التالية دائرة كهربائية بها مكبر مبني على الترانزستور. بيانات الترانزستور هي $(h_{ie}=1.2k\Omega, h_{fe}=100)$. بالإمكان تجاهل قيم المكثفات.



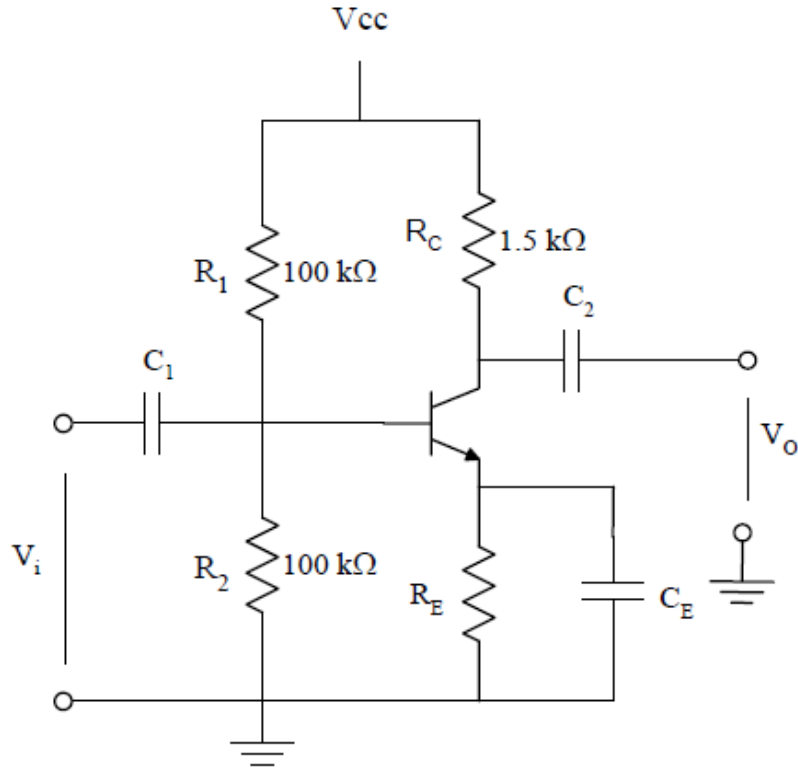
أ. نرسم الدائرة المكافئة في حالة الإشارة المتناوبة الصغيرة AC

ب. نحسب معامل التكبير للجهد $A_v = \frac{V_o}{V_i}$

ج. نحسب معامل التكبير للتيار بوحدة الديسيبل $A_I[dB] = 20 \cdot \log \left| \frac{I_o}{I_i} \right|$

الإجابات: ب. $A_v = -125$ ، ج. $A_i = 100, A_{idB} \sim 40dB$

2. في الرسمة التالية دائرة كهربائية بها مكبر مبني على الترانزستور. بيانات الترانزستور هي $(h_{ie}=5k\Omega, h_{fe}=50)$. بالإمكان تجاهل قيم المكثفات.



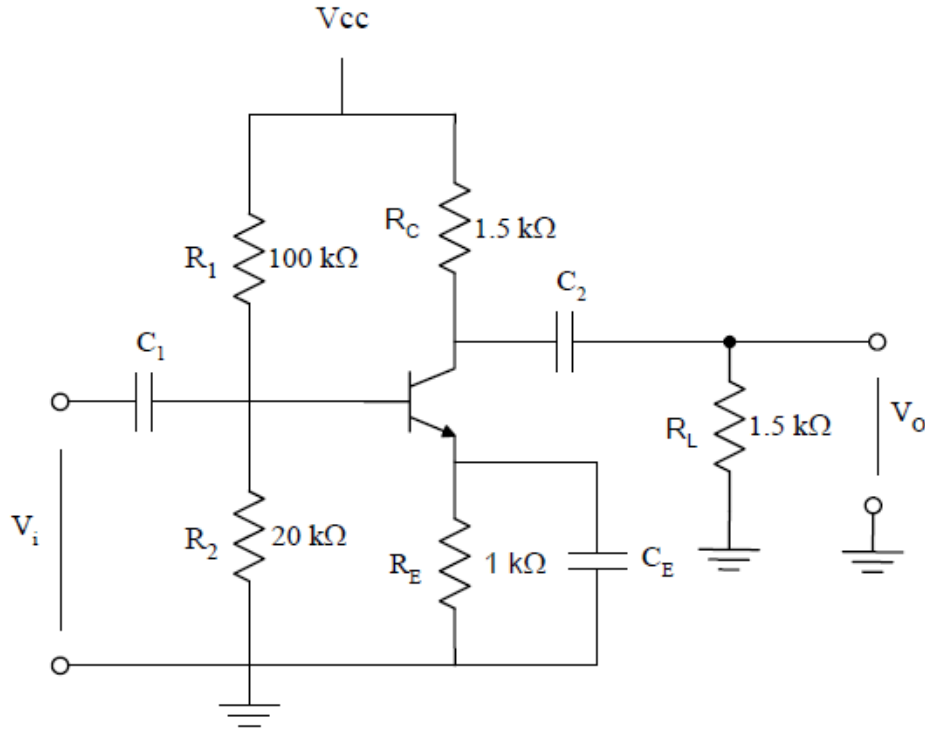
أ. نرسم الدائرة المكافئة في حالة الإشارة المتناوبة الصغيرة AC

ب. نحسب معامل التكبير للجهد $A_v = \frac{V_o}{V_i}$

ج. نحسب معامل التكبير للتيار بوحدة الديسيبل $A_I[dB] = 20 \cdot \log \left| \frac{I_o}{I_i} \right|$

الإجابات: ب. $A_v = -15$ ، ج. $A_i = 50$ ، $A_i \sim 33.98dB$

3. في الرسمة التالية دائرة كهربائية بها مكبر مبني على الترانزستور. بيانات الترانزستور هي $(h_{ie}=3k\Omega, h_{fe}=50)$. بالإمكان تجاهل قيم المكثفات.



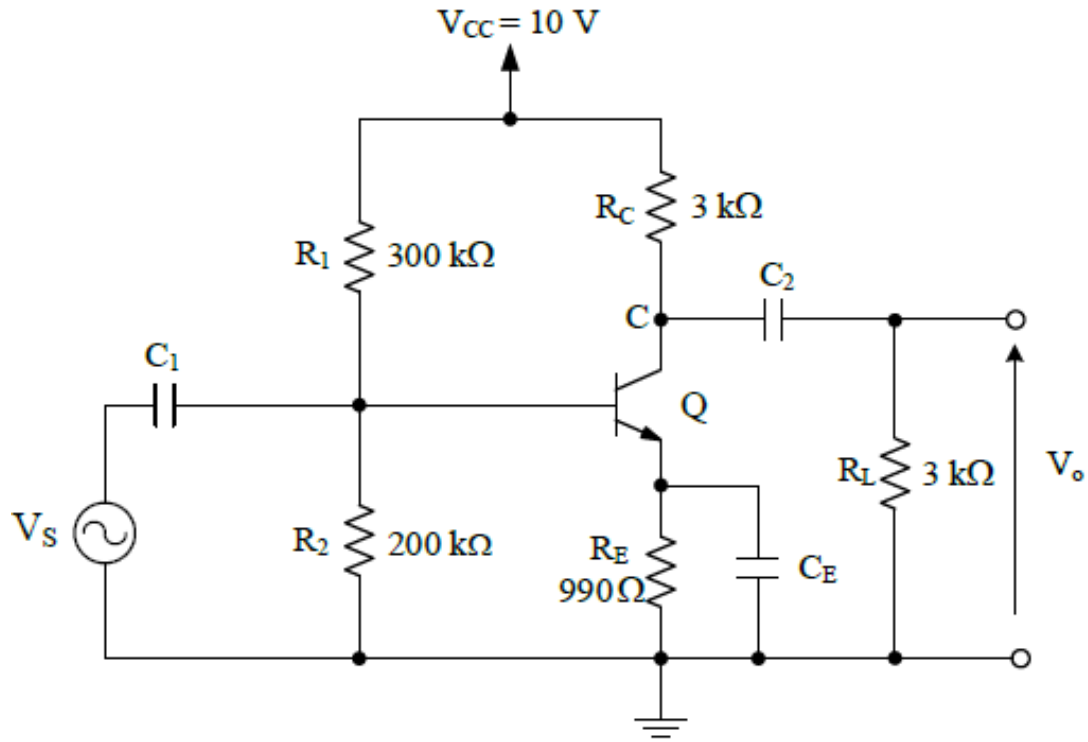
أ. نرسم الدائرة المكافئة في حالة الإشارة المتناوبة الصغيرة AC

ب. نحسب معامل التكبير للجهد $A_v = \frac{V_o}{V_i}$

ج. نحسب شدة التيار المار في المقاومة R_L ، إذا كان جهد الدخّل هو: $V_i = 5mV$ (جهد متناوب)

الإجابات: ب. $A_v = -12.5$ ، ج. $I_{RL} = 41.66\mu A$

4. في الرسمة التالية دائرة كهربائية بها مكبر مبني على الترانزستور. بيانات الترانزستور هي $(h_{ie} = 1\text{ k}\Omega, \beta = h_{fe} = 100, V_{BE}=0.7\text{V})$. بالإمكان تجاهل قيم المكثفات.



أ. نحسب نقطة العمل للترانزستور (I_C, V_{CE})

ب. نرسم الدائرة المكافئة للمكبر للإشارة المتناوبة

ج. نحسب معامل التكبير للجهد $A_v = \frac{V_o}{V_i}$

د. مُعطى أن: $v_s(t) = 10 \cdot \sin(\omega t) [mV]$

1. نحسب معادلة الجهد الخارج $v_o(t)$

2. نحسب معادلة الجهد عند النقطة C، كدالة بالنسبة للزمن $v_C(t)$

الإجابات: أ. $I_B = 15\mu A, I_C = 1.5\text{mA}, V_{CE} = 4\text{V}$ ، ج. $A_v = -150$ ، د. $v_o(t) = -1.5\sin(\omega t) \text{ V}$ ،

$v_C(t) = 5.5 - 1.5\sin(\omega t) \text{ V}$

أسئلة بجروت حول الترانزستور

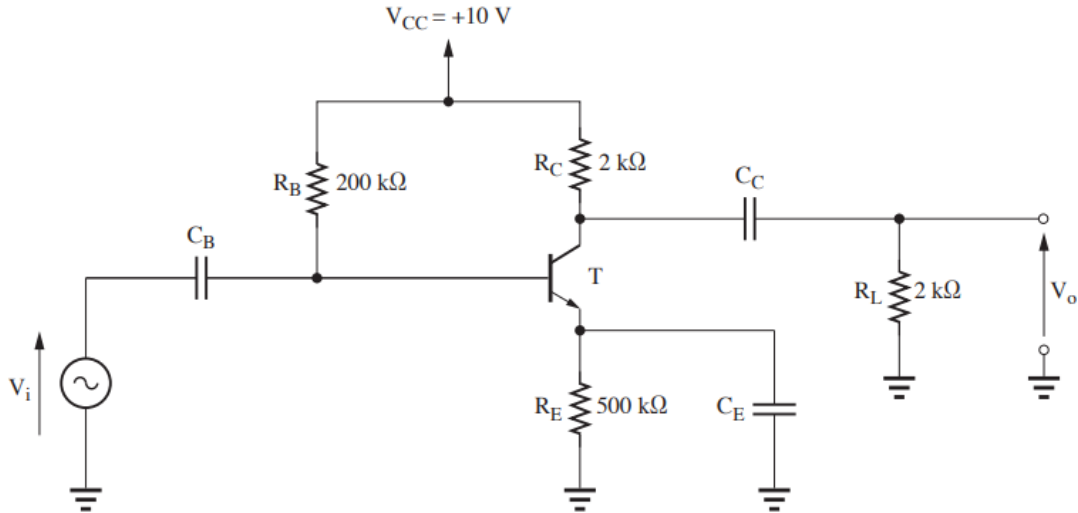
2026

السؤال 3

في الرسم التوضيحي للسؤال 3 معطاة دائرة كهربائية لمُضخِّم ترانزستوري (مגבר טרנזיסטורי).

معطيات الترانزستور T هي: $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$; $h_{ie} = 1 \text{ k}\Omega$; $\beta = h_{fe} = 50$

مُفاعلات المُكثِّفات (היגבי הקבלים) في الدائرة - مُهملة.



الرسم التوضيحي للسؤال 3

- (5 درجات) أ. احسبوا نقطة عمل (נקודת העבודה) الترانزستور (I_C , V_{CE}).
- (5 درجات) ب. ارسموا دائرة بديلة (מעגל תמורה) للمُضخِّم لإشارة تناوب (تَرْدُد) (אות חילופין).
- (5 درجات) ج. احسبوا تضخيم الجهد (הגבר המתח) $A_V = \frac{V_o}{V_i}$.
- (5 درجات) د. معطى جُهد المدخل (מתח המבוא) $V_i = 12 \sin(2000 \pi t) \text{ [mV]}$. احسبوا الجهد الأكبر (המתח המרבי) والجهد الأصغر (המתח המזערי) في المخرج (מוצא) V_o .

الإجابات: أ. $V_{CE} = 0.74 \text{ V}$, $I_C = 18.1 \mu\text{A}$, $I_B = 0.362 \mu\text{A}$, ج. $A_V = -50$, د. $V_{o,\max} = 0.6 \text{ V}$, $V_{o,\min} = -0.6 \text{ V}$.

السؤال 3

في الرسم التوضيحي للسؤال 3 معطاة دائرة كهربائية لمُضخِّم ترانزستوري (مُغْبِر ترانزستوري). مُفاعلات المُكثِّفات (التي هي الكابلات) في الدائرة مُهْمَلَة.

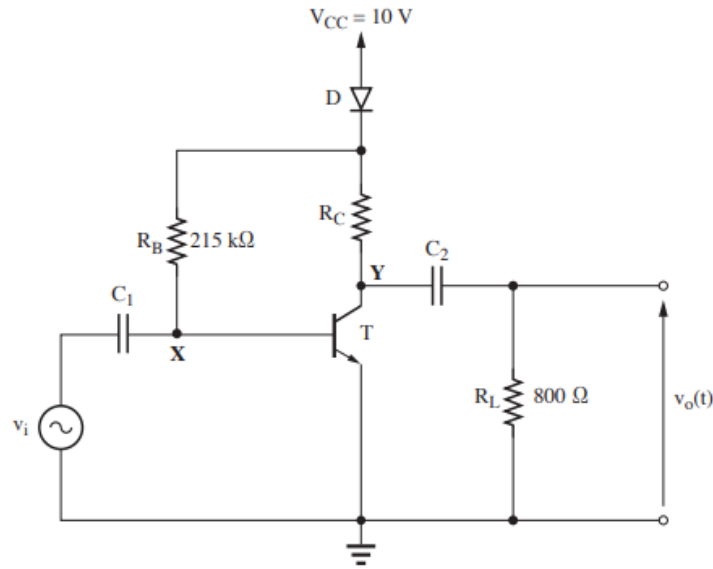
معطيات الديود (الديود): $V_D = 0.7 \text{ V}$ هي:

معطيات الترانزستور هي: $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$, $h_{ic} = 1 \text{ k}\Omega$, $\beta = h_{fe} = 50$

مُعْطَى أَيْضًا:

$$v_i(t) = 0.1 \cdot \sin(1000 \pi t) [\text{V}]$$

$$v_o(t) = -3 \cdot \sin(1000 \pi t) [\text{V}]$$



الرسم التوضيحي للسؤال 3

6 درجات) أ.

1. احسبوا تضخيم الجهد (المغبر)، A_v ، للمُضخِّم (المغبر).

2. احسبوا قيمة المُقاوِم (المناد) R_C .

4 درجات) ب.

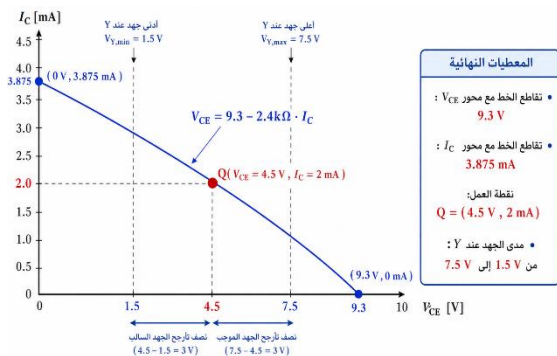
احسبوا نقطة عمل (نقودت العبودية) الترانزستور (I_C , V_{CE}).

4 درجات) ج.

احسبوا القيمة القصوى للجهد (المتمم المبري) والقيمة الصغرى للجهد (المتمم المزعري) اللتين يتم الحصول عليهما في النقطة X وفي النقطة Y.

6 درجات) د.

ارسموا خط العمل (كو العبودية) للترانزستور وأشيروا عليه إلى نقطة العمل (نقودت العبودية)، وإلى القيمة القصوى للجهد وإلى القيمة الصغرى للجهد في النقطة Y التي قمت بحسابها في إجابات البندين "ب" و "ج".



الإجابات: أ. $R_C = 2.4 \text{ k}\Omega$, $A_v = -30$, ب. $I_C = 2 \text{ mA}$

$V_{CE} = 4.5 \text{ V}$, ج. $V_{x,\max} = 0.8 \text{ V}$, $V_{x,\min} = 0.6 \text{ V}$

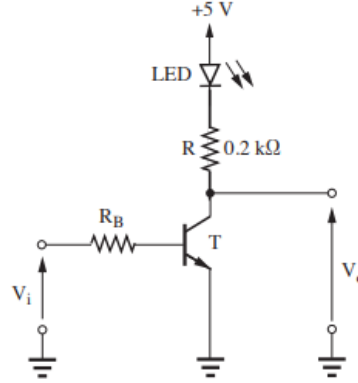
د. $V_{y,\max} = 7.5 \text{ V}$, $V_{y,\min} = 1.5 \text{ V}$

السؤال 3

يصف الرسم التوضيحي "أ" للسؤال 3 دائرة كهربائية لمفتاح ترانزستوري (متد ترانزستوري).

مُعطيات الترانزستور T هي: $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$; $V_{CE(sat)} = 0.2 \text{ V}$; $\beta = 100$

مُعطى: $V_{LED} = 1.5 \text{ V}$.



الرسم التوضيحي "أ" للسؤال 3

(7 درجات) أ. الترانزستور T موجود في حالة إشباع (ملاص رويحه). احسبوا التيار (الزورم) الذي يمر في لمبة الـ LED.

نُزود مدخل الدائرة (مبوا-هמעגל) بالإشارة (הדומק) الموصوفة في الرسم التوضيحي "ب" للسؤال.



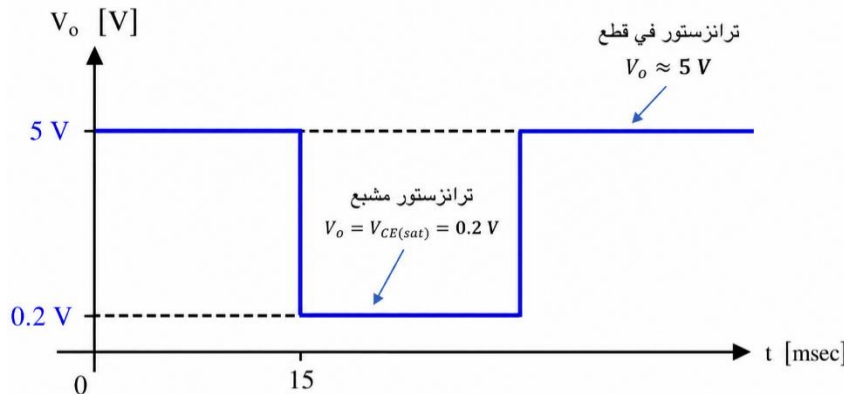
الرسم التوضيحي "ب" للسؤال 3

(6 درجات) ب. احسبوا المقاومة القصوى (ההתנגדות המרבית) للمقاوم R_B التي يبقى فيها الترانزستور T في حالة إشباع،

عندما يكون $V_i = 5 \text{ V}$

(7 درجات) ج. انسخوا الرسم التوضيحي "ب" إلى دفتر الامتحان، وارسموا تحته، بالتلاؤم، شكل جهد المخرج (لاורת

מתח-המוצא)، V_o ، كدالة للزمن.



الإجابات: أ. $I_{LED} = 16.5 \text{ mA}$

ب. $R_{Bmax} = 26.06 \text{ K}\Omega$

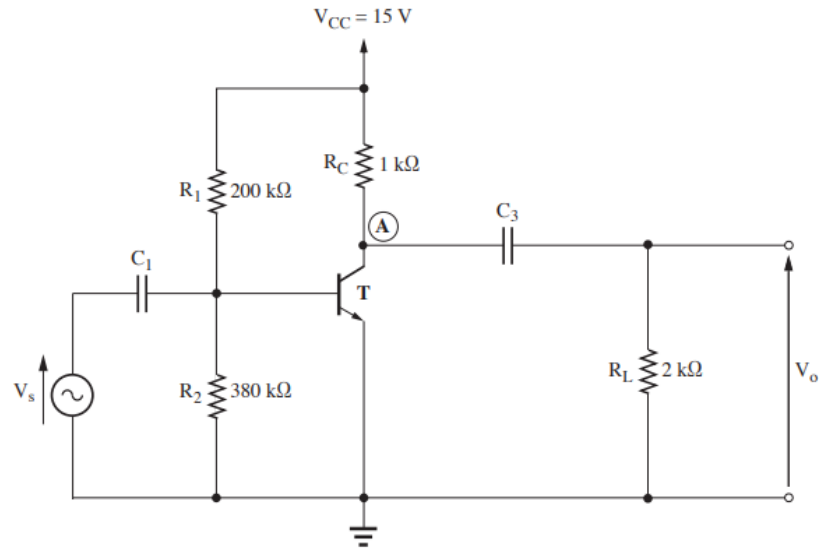
السؤال 5

في الرسم التوضيحي للسؤال 5 مُعطاة دائرة كهربائية لدرجة تضخيم ترانزستوري (درجت-הגברה טרנזיסטורית).

معطيات الترانزستور ثنائي الموضوع (דו־נושאני) هي:

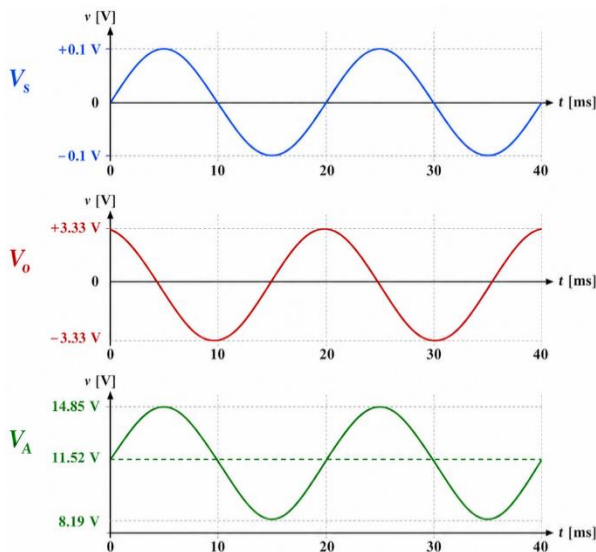
$$h_{fe} = \beta = 50 ; h_{ie} = 1 \text{ k}\Omega ; V_{BE} = 0.7 \text{ V}$$

مُفاعلات المُكثفات (היגבי הקבלים) في الدائرة - مُهملة



الرسم التوضيحي للسؤال 5

- أ. احسبوا نقطة العمل (נקודת-העבודה) (V_{CE}, I_C) للترانزستور، T. (5 درجات)
- ب. ارسموا الدائرة المكافئة (מעגל התמורה) للإشارة المترددة (אות-חילופין) (AC) للدائرة المعطاة. (5 درجات)
- ج. اكتبوا تعبيرًا لتضخم الدائرة (הגבר המעגל) $A_{V_s} = \frac{V_o}{V_s}$ ، واحسبوا قيمته. (5 درجات)
- د. ارسموا، الواحد تحت الآخر بالتلاؤم، كلاً من الجهود V_s ، V_A (الجهد في النقطة A) و V_o كدالة للزمن، عندما يكون: $V_s(t) = 0.1 \cdot \sin(100\pi t) \text{ [V]}$. اكتبوا القيم القصوى (הערכים המירביים) والقيم الدنيا (הערכים המזעריים) للجهود. (5 درجات)



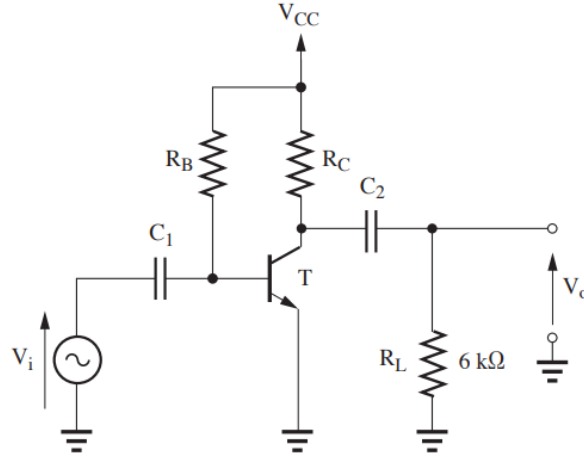
الإجابات: أ. $I_C = 3.48 \text{ mA}$, $I_B = 0.069 \text{ mA}$

، $V_{CE} = 11.52 \text{ V}$ ، ج. $A_v = -33.3$ ، د.

السؤال 1

في الرسم التوضيحي للسؤال 1 معطاة دائرة كهربائية لمُضخِّم ترانزستوري (مُغَبِّر ترونزيستوري). مُفاعلات المُكثِّفات (التيغبي الكبلים) في الدائرة – مهملة.

معطيات الترانزستور، T، هي: $V_{CE_{SAT}} = 0.2 \text{ V}$; $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$; $h_{ie} = 1 \text{ k}\Omega$; $\beta = h_{fe} = 100$



الرسم التوضيحي للسؤال 1

- أ. معطى التضخيم (الغبر) $A_V = \frac{V_o}{V_i} = -200$. احسبوا مُقاومة (التغذوية) المُقاوم R_C . (5 درجات)
- ب. معطاة نقطة العمل (نقودت العبودية) $V_{CE} = 6 \text{ V}$ ، $I_C = 2 \text{ mA}$. احسبوا الجهد (المتاح) V_{CC} . (5 درجات)
- ج. احسبوا مُقاومة المُقاوم R_B . (5 درجات)
- د. نُغَيِّر مُقاومة المُقاوم R_B ، الذي حسبتموه في الإجابة عن البند "ج" لـ $200 \text{ k}\Omega$. هل الترانزستور موجود في حالة إشباع (روية)، تقطع (كيتليون) أو نشاط (فلايل)؟ عللوا الإجابة بمساعدة الحسابات. (5 درجات)
- يتبع في الصفحة 3

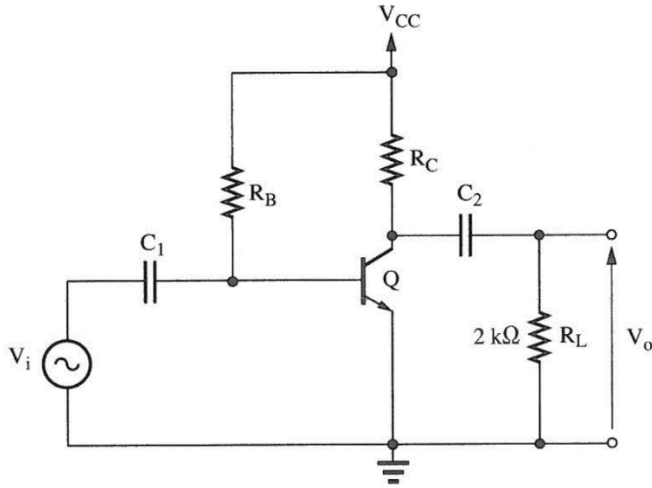
الإجابات: أ. $R_C = 3 \text{ k}\Omega$ ب. $V_{CC} = 12 \text{ V}$ ج. $R_B = 565 \text{ k}\Omega$ د. الترانزستور في حالة الإشباع.

سؤال 3: في الدائرة التالية مكبر ترانستور مرتبط على هيئة الباعث المشترك (CE).

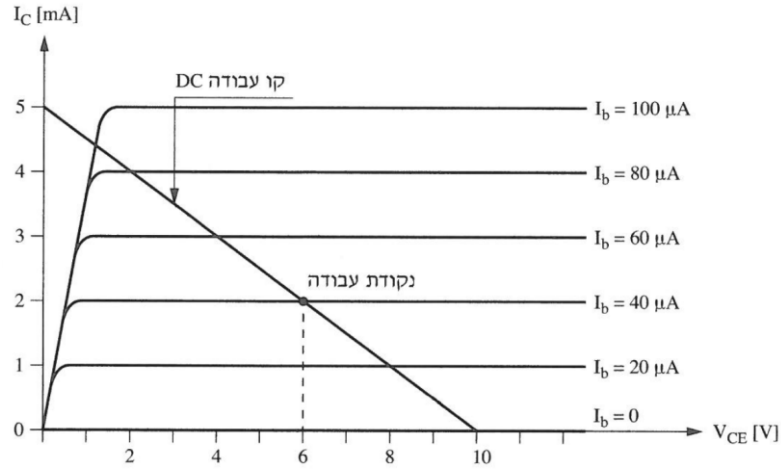
بيانات الترانزستور هي

$$(h_{ie} = 1k\Omega, \beta = h_{fe}, V_{BE}=0.7v)$$

بالإمكان تجاهل قيم المكثفات.



في الصورة التالية مخطط عمل الترانستور، خط العمل ونقطة العمل.



أ. بمساعدة المخطط السابق، نوجد معامل تكبير الترانستور β

ب. بمساعدة المخطط السابق، نوجد قيمة الجهد V_{CC} ونحسب قيمة المقاومة R_C

ج. بمساعدة المخطط السابق، نحسب قيمة المقاومة R_B

د. نرسم الدائرة المكافئة في حالة التيار التناوب المنخفض (AC)، ونحسب معامل تكبير الدائرة

$$(A_v = \frac{V_o}{V_i})$$

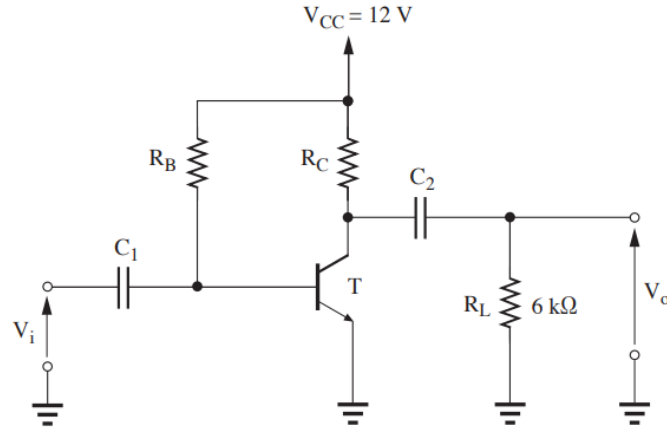
الإجابات: أ. $\beta=50$ ب. $V_{CC}=10V$ ج. $R_C=2K\Omega$ د. $A_v=-50$

2021 - خاص

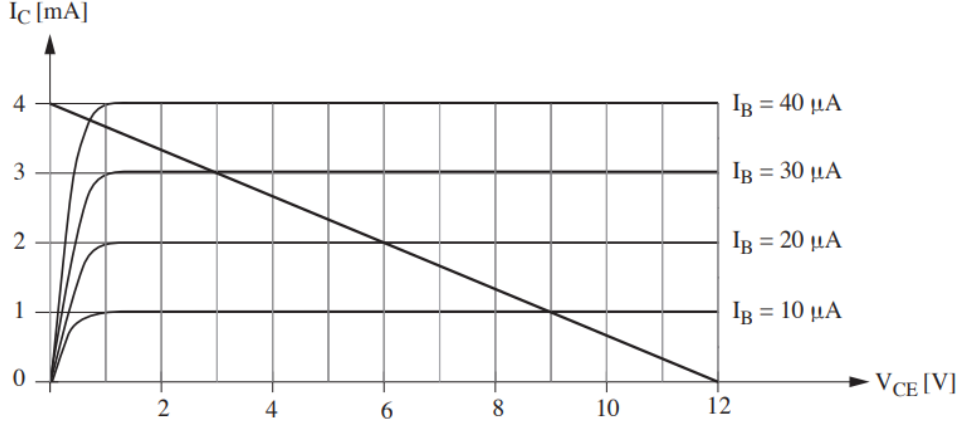
السؤال 3

في الرسم التوضيحي "أ" للسؤال 3 مُعطاة الدائرة الكهربائية لمُضخّم ترانزستوري (مُغبر ترانزستوري). مُفاعلات المُكثّفات (التيغبي
الكبلي) في الدائرة مُهمّلة (زنيحي).
مُعطيات الترانزستور T هي: $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$ ، $h_{ie} = 4 \text{ k}\Omega$ ، $\beta = h_{fe} = 100$.

في الرسم التوضيحي "ب" للسؤال مُعطاة الخطوط البيانيّة لمُخَرّج الترانزستور (أوفيي الموضا شل الترانزستور) T،
وخطّ عمله (كو العبودة شلو) بتيّار مُستَمِرّ (بزرم يشر [DC]).



الرسم التوضيحي "أ" للسؤال 3



الرسم التوضيحي "ب" للسؤال 3

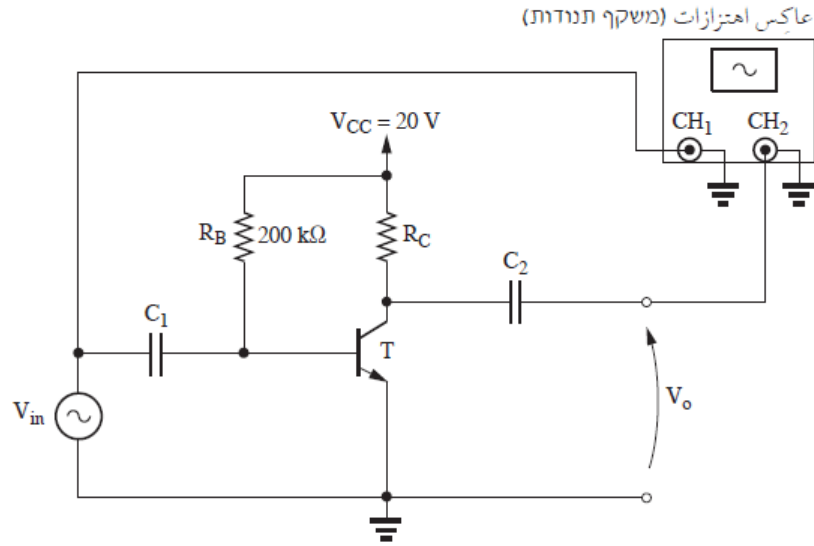
- أ. احسب مُقاومة المُقاوم (التנגدوت הנגד) R_C . (5 درجات)
- ب. احسب مُقاومة المُقاوم (التנגدوت הנגד) R_B ، المطلوبة للحصول على $V_{CE} = 9 \text{ V}$. (5 درجات)
- ج. ارسم دائرة بديلة (مנגلد תמורה) لإشارة التناؤب (אות חילופין) للدائرة المُعطاة . (5 درجات)
- د. احسب تضخيم الجُهد (הגבר המתח) للدائرة $A_V = \frac{V_o}{V_i}$. (5 درجات)

الإجابات: أ. $R_C = 3 \text{ k}\Omega$. ب. $R_B = 1.13 \text{ M}\Omega$. د. $A_V = -50$.

2020 - سؤال 3:

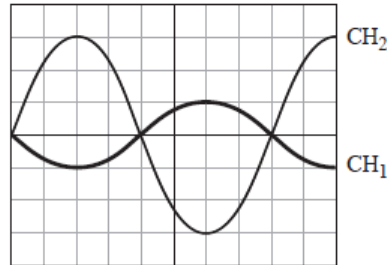
في الرسم التوضيحي "أ" للسؤال 3 مُعطاة دائرة كهربائية لمُضخِّم ترانزستوري (مُغَبِّر تَرَنْزِيسْتُورِي) موصول به عاكس اهتزازات (مُشَقِّف تَنْوِدُوت). مُفاعلات المُكثِّفات (היגבי הקבלים) في الدائرة الكهربائية مُهْمَلَة (זניחים).

مُعطيات الترانزستور T: $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$, $\beta = h_{fe} = 100$, $h_{ie} = 1 \text{ k}\Omega$.



الرسم التوضيحي "أ" للسؤال 3

في الرسم التوضيحي "ب" للسؤال موصوفة الإشارات (אותות) التي تظهر على شاشة عاكس الاهتزازات (משקף התנודות).



مُعطيات عاكس الاهتزازات:

- وضع المنقي (הבורר) Time / div : 0.1 msec / div

- وضع المنقي Volt / div لـ CH1 : 50 mv / div

- وضع المنقي Volt / div لـ CH2 : 2 V / div

5 درجات) أ. استعين بالرسم التوضيحي "ب" واحسب تضخيم (הגבר) المُضخِّم الترانزستوري $A_V = \frac{V_o}{V_i}$.

5 درجات) ب. ارسم الدائرة البديلة لإشارة التناوب (מעגל התמורה לאות חילופין) للدائرة المُعطاة.

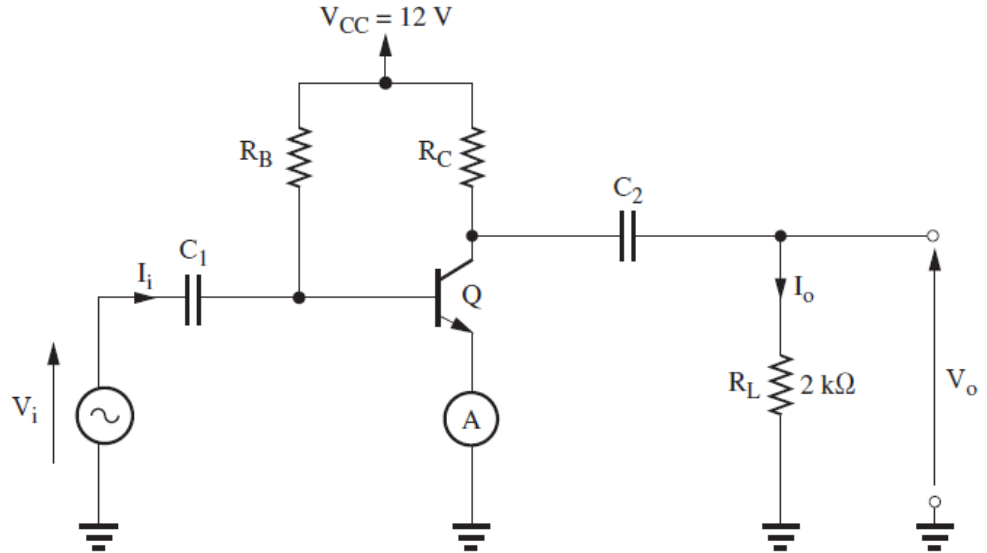
5 درجات) ج. احسب مُقاومة المُقاوم (התנגדות הנגד) R_C .

5 درجات) د. احسب نقطة العمل (נקודת העבודה) للترانزستور T.

الإجابات: أ. $A_V = -120$ ج. $R_C = 1.2 \text{ k}\Omega$ د. $I_B = 96.5 \mu\text{A}$, $I_C = 9.65 \text{ mA}$, $V_{CE} = 8.42 \text{ V}$.

سؤال 3: بيانات الترانزستور في الدائرة التالية هي:

$$h_{ie} = 1.5 \text{ k}\Omega \quad ; \quad h_{fe} = 50 \quad ; \quad \beta = 50 \quad ; \quad V_{BE} = 0.7 \text{ V} \quad ; \quad V_{CE} = 6 \text{ V}$$



قراءة عداد التيار هي 2mA. بالإمكان تجاهل مُفاعلة المكثفات.

أ. نحسب تيار المجمع I_C

ب. نحسب قيم المقاومات R_C و R_B

ج. نرسم الدائرة المكافئة عند التيار المتناوب للدائرة المُعطاة

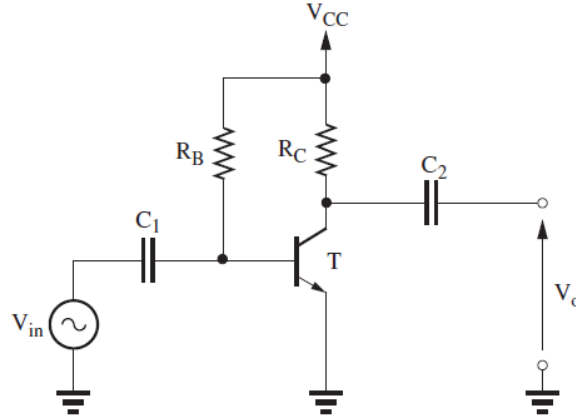
د. نوجد معامل تكبير الجهد للدائرة $A_v = \frac{V_o}{V_i}$

الإجابات: أ. $I_C = 1.96 \text{ mA}$ ب. $R_C = 3 \text{ k}\Omega$, $R_B = 288 \text{ k}\Omega$ د. $A_v = -40$

السؤال 4

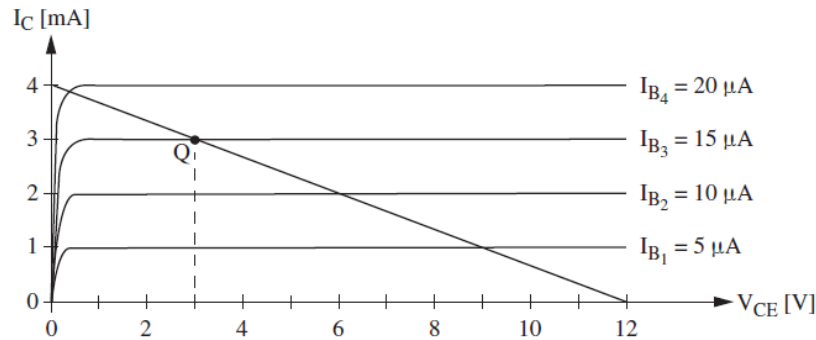
في الرسم التوضيحي "أ" للسؤال 4 مُعطاة الدائرة الكهربائية لمُضخم ترانزستوري (مُغبرر ترونزستوري). مفاعلات المكثفات (التيغري) (الكبليات) في الدائرة مُهملَة (زنيحيات).

مُعطيات الترانزستور T هي: $V_{BE} = 0.7 \text{ V}$ ، $h_{ie} = 1 \text{ k}\Omega$ ، $h_{fe} = \beta$



الرسم التوضيحي "أ" للسؤال 4

في الرسم التوضيحي "ب" للسؤال، مُعطى رسم بياني يَصِفُ الخطوط البيانية لمُخرج الترانزستور (أوفيني الموضع) (الترنزيستور). على الرسم البياني رُسم خط العمل وعليه أُشير إلى نقطة العمل، Q ، للترانزستور.



الرسم التوضيحي "ب" للسؤال 4

أ. استعن بالرسم البياني الذي في الرسم التوضيحي "ب" ، حدّد قيمة الجهد (ممتح) V_{CC} ، واحسب مقاومة المقاوم (التنغذوت) R_C .

ب. احسب التضخيم (الغبر) β للترانزستور T .

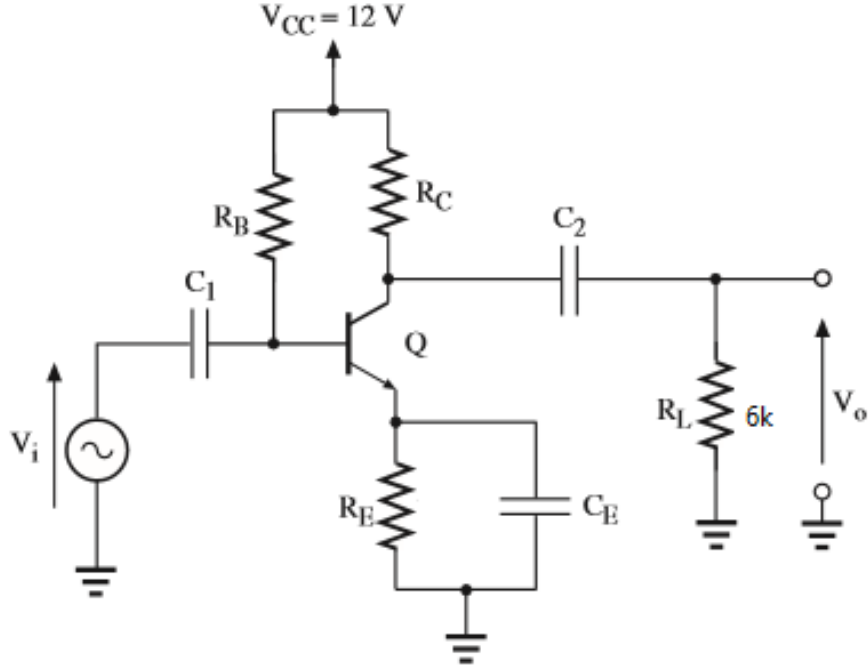
ج. احسب تضخيم الجهد للدائرة (الغبر) (المتح) $A_v = \frac{V_o}{V_{in}}$.

د. في أيّ حالة (تشيع) (روية)، فاعلية (فعلية)، قطع (كيتلون) كان الترانزستور T ، لو كانت نقطة العمل Q موحودة على الرسم البياني لتيار القاعدة (أرسم-البياس) I_{B4} في الرسم التوضيحي "ب" ؟ علّل إجابتك.

الإجابات: أ. $V_{CC} = 12 \text{ V}$ ، $R_C = 3 \text{ k}\Omega$. ب. $\beta = 200$. ج. $A_v = -600$. د. إشباع، $V_{CE} \sim 0 \text{ V}$

2018 – المثال الثاني

سؤال 3: في الرسمة للسؤال، مُعطى دائرة تكبير مع ترانزستور. نفترض أنه بالإمكان تجاهل مفاعلة المكثفات. بيانات الترانزستور هي: ($h_{ie} = 1k\Omega$, $\beta = h_{fe} = 100$, $V_{BE}=0.7v$)



مطلوب تصميم المكبر حتى تكون نقطة العمل: $V_{CE}=6v$, $I_C=1.5mA$

وتكبير الدائرة يكون: $A_v=-200$

أ. نحسب قيمة المقاومة R_C

ب. نحسب قيم المقاومات R_E و R_B

ج. نشرح التأثير على معامل التكبير إذا:

1. فصل المكثف C_E

2. فصل المقاومة R_L

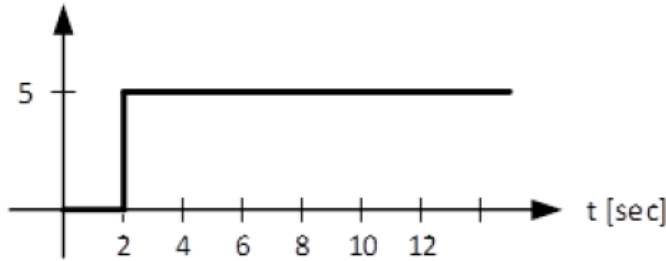
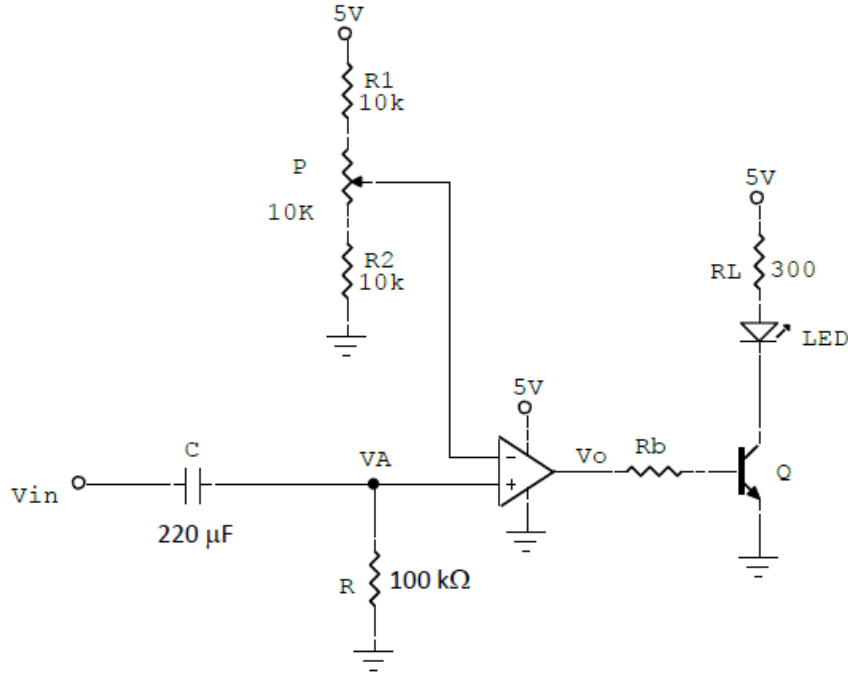
علل إجابتك.

الإجابات: أ. $R_C=3k\Omega$ ب. $R_E=990\Omega$, $R_B=653k\Omega$ ج. فصل المكثف يؤدي الى تقليل معامل

التكبير بسبب وجود مقاومة الباعث في المقام، فصل مقاومة الحمل تزيد قيمة البسط مما يرفع قيمة

معامل التكبير

سؤال 5: مُعطى دائرة كهربائية تحتوي على مرشح ترددات مرتفعة HPF، مُقارن وترانزستور مستعمل كمفتاح. مكبر العمليات مثالي ومزلاج المقاومة المتغيرة P موجود عند المنتصف. جهد التزويد للمكبر هو +5V، وعند مخرج الدائرة يوجد دايود مشع للضوء LED. بيانات الـ LED: $V_{LED}=1.5V$. بيانات الترانزستور: $\beta = 100$, $V_{CE\ sat} = 0.2\ V$.



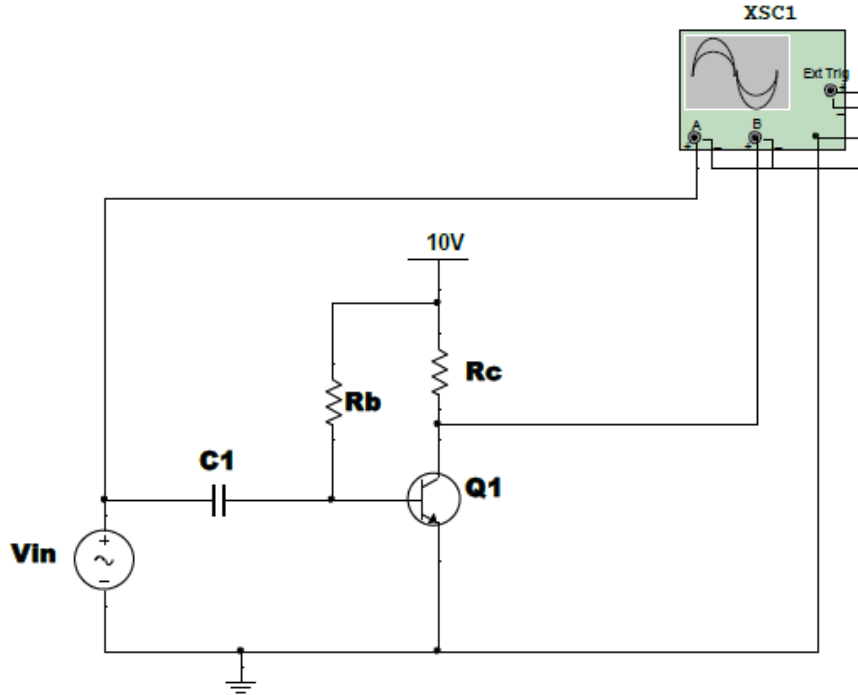
على مدخل الدائرة V_i يزود إشارة مربعات ترتفع من 0V الى 5V كما يظهر في الرسمة التالية:

- ننقل الإشارة الداخلة لدفتر الإجابة، ونرسم أسفل منه بشكل ملائم، شكل الإشارات V_o , V_A .
 - نحسب حتى كم من الزمن يُضيء الليد من لحظة قبول النبضة على الدُخُل
 - نحسب قيمة R_b القصوى من أجل ضمان إشباع الترانزستور
 - نحسب مجال الزمن لعمل الترانزستور بالاعتماد على مكان مزلاج المقاومة المتغيرة P، عندما يكون عند أقل مستوى وعندما يكون عند أعلى نقطة له.
- الإجابات: ب. $t=17.25s$ ، ج. $R_{b,max}=39k\Omega$ ، د. $8.9s \leq t_{LED} \leq 24.2s$.

2018 – المثال الأول

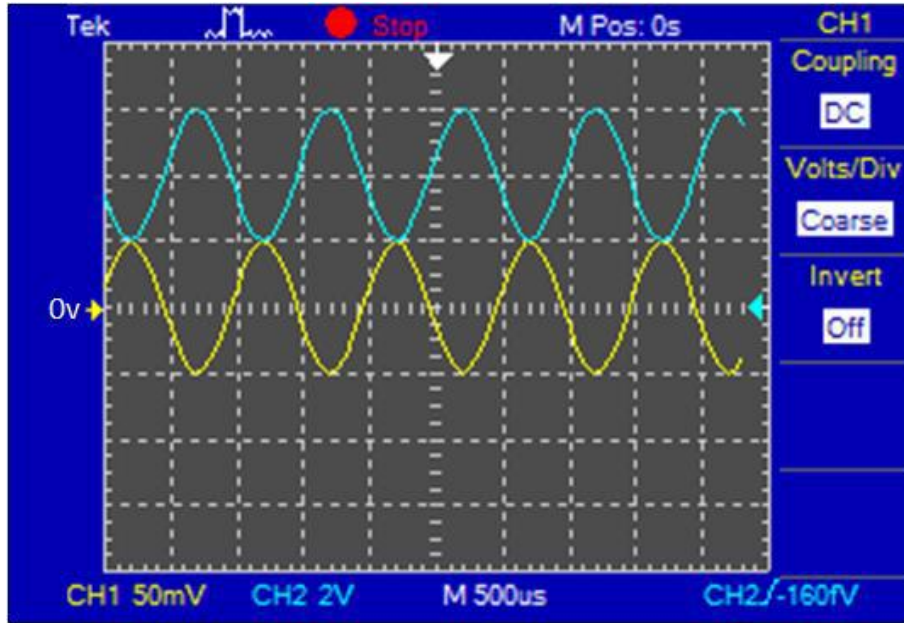
سؤال 3: في الرسمه للسؤال، مُعطى دائرة تكبير مع ترانزستور قام طالب بتشبيكها خلال تجربة. نفترض أنه بالإمكان تجاهل مفاعلة المكثفات.

بيانات الترانزستور هي: ($h_{ie} = 1k\Omega$, $\beta = h_{fe} = 50$, $V_{BE}=0.7v$)



في الرسمه التالية: يظهر شاشة مسبار الإشارة الرقمي الذي استخدمه الطالب. يوجد المسبار في حالة الـ DC، بحيث يسمح بظهور قيم الجهد الثابت. بيانات مداخل (الْمُنْتَقِي) للمسبار هي:

- قناة 1: $CH1 = 50 \text{ mV/Div}$
 - قناة 2: $CH2 = 2 \text{ V/Div}$
 - المنتقي $TimeBase = 500 \mu\text{sec/Div}$
- الإشارة الأعلى هي الجهد الخارج، والإشارة الأدنى هي الجهد الداخل



أ. نوجد، من خلال شاشة المسبار، قيمة الـ DC للجهد الخارج. نحسب معامل تكبير الجهد للدائرة

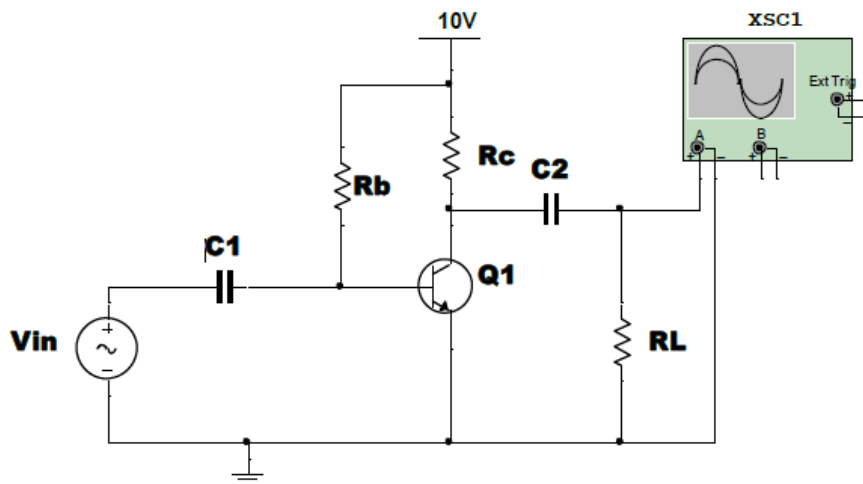
ب. نحسب قيمة المقاومة R_C

ج. نحسب، بناء على النتائج من المسبار، نقطة العمل للترانزستور (I_C , V_{CE}). إذا لم تحل الفرع

ب، نفترض: $R_C = 800\Omega$

د. نحسب قيمة المقاومة R_B

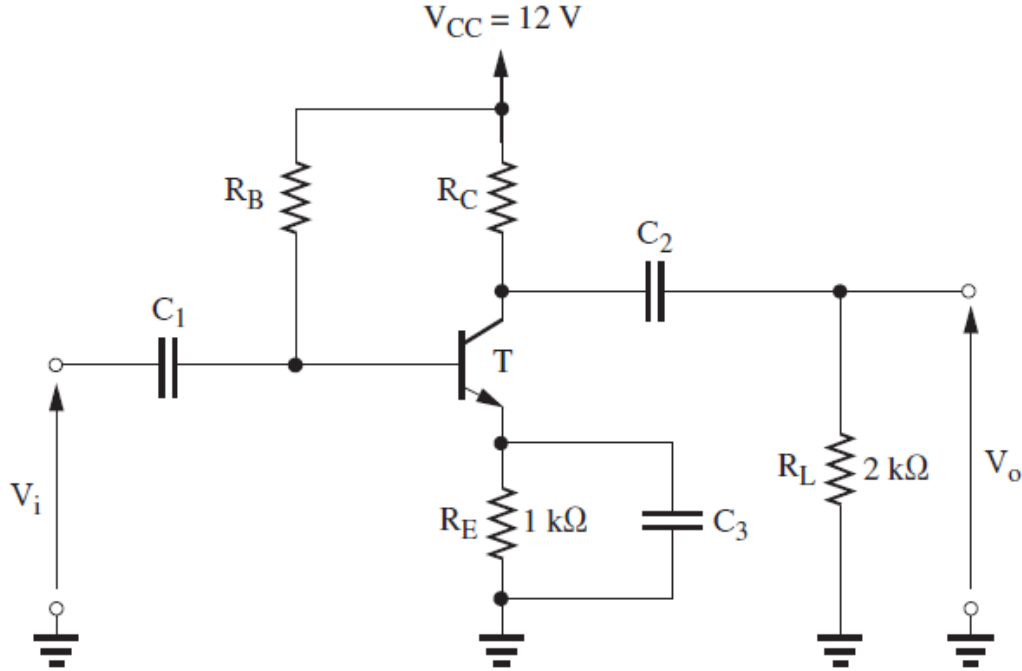
في القسم الثاني من التجربة، طُلب من التلميذ إضافة حمل مكافئ لقيمة المقاومة R_C ، ومكثف C_2 كما يظهر في الرسم التالي:



ه. نرسم الجهد الخارج الذي ينتج في هذه الحالة. حدد القيمة القصوى والدنيا للجهد الخارج.

الإجابات: أ. $V_{CE}=V_{DC}=4V$, $V_i=50mV$, $V_o=2V$, $A_v=-40$ ب. $R_C=800\Omega$

سؤال 2: في الرسمة للسؤال، مُعطى دائرة تكبير مع ترانزستور. نفترض أنه بالإمكان تجاهل مفاعلة المكثفات. بيانات الترانزستور T هي: ($h_{ie} = 1.5k\Omega$, $\beta = h_{fe} = 50$, $V_{BE}=0.7v$, $V_{CE}=6v$)



أ. نحسب قيمة المقاومة R_B ، إذا كان تيار القاعدة (I_B) للترانزستور هو $10\mu A$

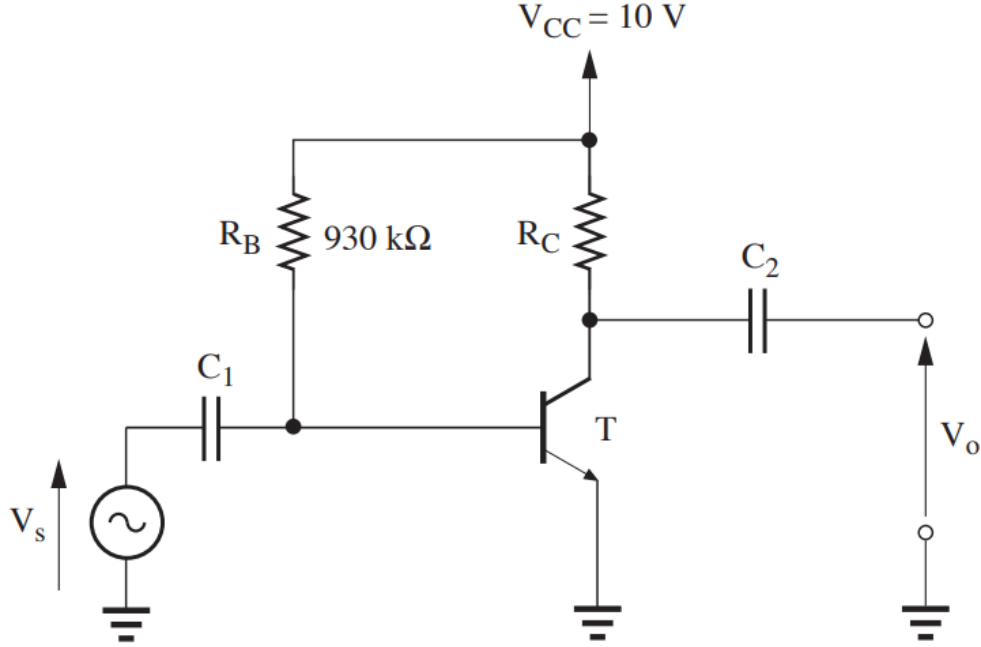
ب. نحسب قيمة المقاومة R_C

ج. نرسم دائرة التيار المتناوب المكافئة

د. نحسب معامل التكبير الجهد $A_v = \frac{V_o}{V_i}$

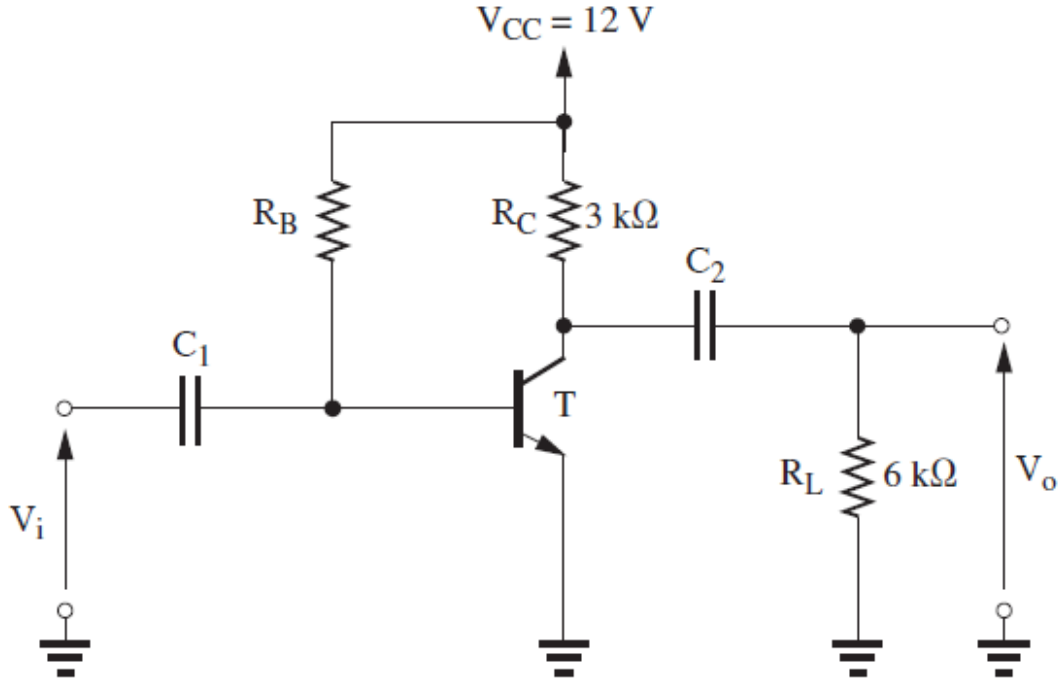
الإجابات: أ. $R_B=1079k\Omega$ ، ب. $R_C=10.98k\Omega$ ، د. $A_v=-56.4$

سؤال 2: في الرسمة للسؤال، مُعطى دائرة تكبير مع ترانزستور. نفترض أنه بالإمكان تجاهل مفاعلة المكثفات. بيانات الترانزستور T هي: ($h_{ie} = 4k\Omega$, $\beta = h_{fe} = 100$, $V_{BE} = 0.7V$)



- أ. نحسب شدة التيارات I_B و I_C للترانزستور
 - ب. نحسب قيمة المقاومة R_C اللازمة من أجل الحصول على $V_{CE} = 6V$
 - ج. نرسم دائرة التيار المتناوب المكافئة
 - د. نحسب معامل التكبير الجهد $A_v = \frac{V_o}{V_i}$ للدائرة
- الإجابات: أ. $I_B = 0.01mA$, $I_C = 1mA$ ب. $R_C = 4k\Omega$ د. $A_v = -100$

سؤال 1: في الرسمة للسؤال، مُعطى دائرة تكبير مع ترانزستور. نفترض أنه بالإمكان تجاهل مفاعلة المكثفات. بيانات الترانزستور T هي: ($h_{ie} = 1\text{k}\Omega$, $\beta = h_{fe} = 100$, $V_{BE}=0.7\text{v}$, $V_{CE}=6\text{v}$)



أ. نحسب شدة التيارات I_B و I_C للترانزستور

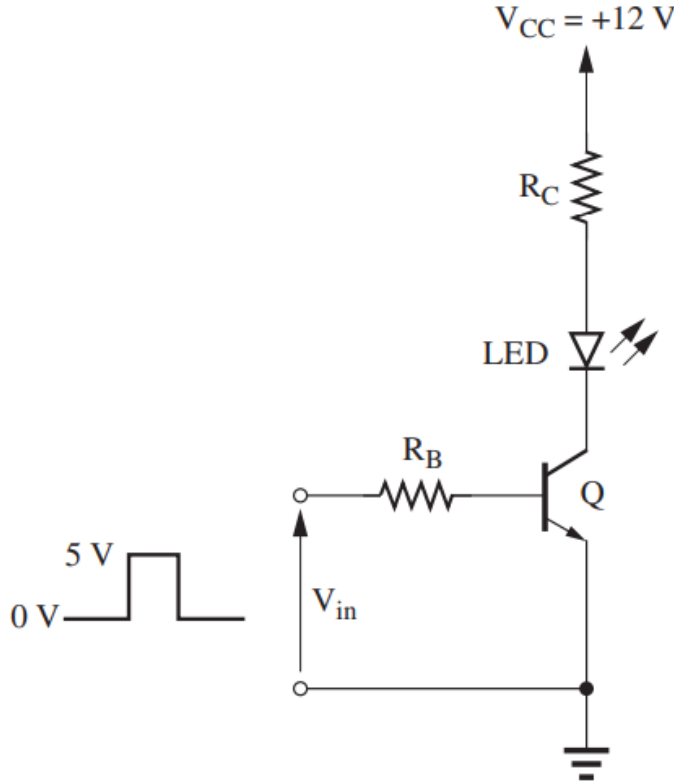
ب. نحسب قيمة المقاومة R_B

ج. نرسم دائرة التيار المتناوب المكافئة

د. نحسب معامل التكبير الجهد $A_v = \frac{V_o}{V_i}$

الإجابات: أ. $I_B=0.02\text{mA}$, $I_C=2\text{mA}$ ، ب. $R_B=565\text{k}\Omega$ ، د. $A_v=-200$

سؤال 3: في الرسمة للسؤال، يقوم الجهد الداخل V_{in} بالتحكم بإضاءة مصباح الـ LED. معطى $V_{LED}=1.8V$. بيانات الترانزستور هي: ($\beta = 200$, $V_{BE}=0.7V$, $V_{CE(SAT)}=0.2V$)



- أ. اشرح آلية عمل الدائرة وفسر ما هو عمل الترانزستور Q
- ب. في أية حالة يكون الترانزستور (إشباع أو قطع) عندما
 1. $V_{in} = 0V$
 2. $V_{in} = 5V$
- ج. نحسب قيمة المقاومة R_C حتى يمر تيار في المصباح قيمته $20mA$ ، عندما يكون الترانزستور في حالة الإشباع.
- د. نحسب القيمة القصوى (العليا) للمقاومة R_B من أجل المحافظة على إشباع الترانزستور

الإجابات: أ.

الترانزستور Q يعمل كمفتاح إلكتروني للتحكم في إضاءة الـ LED.

عندما يكون جهد الدخل منخفضًا، لا يمر تيار في القاعدة، فيكون الترانزستور في حالة قطع، ولا يمر تيار في الـ LED.

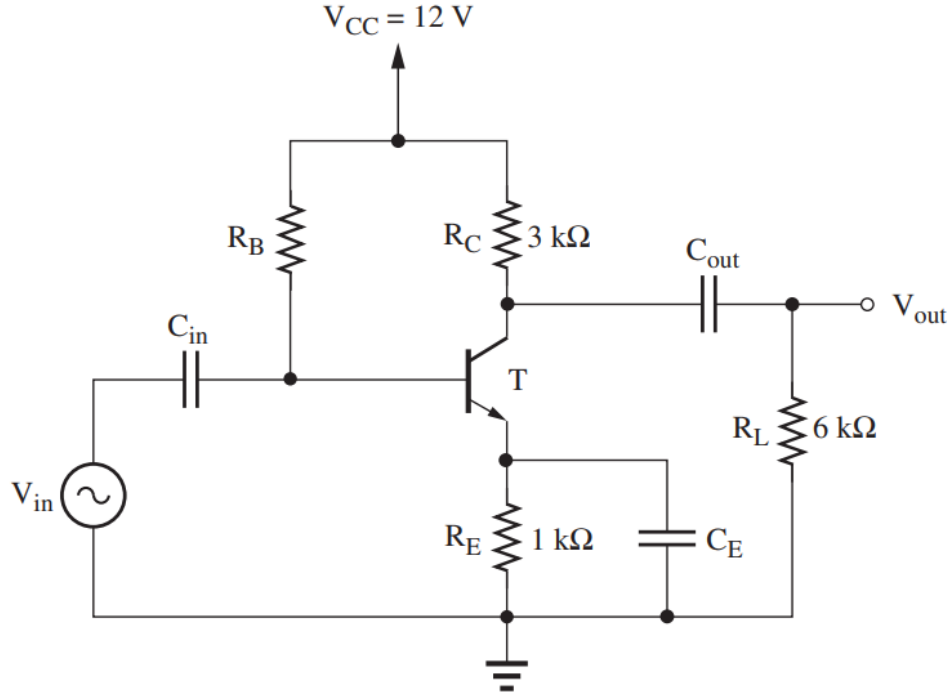
وعندما يكون جهد الدخل مرتفعًا، يمر تيار في القاعدة عبر R_B ، فيدخل الترانزستور في حالة إشباع، ويمر تيار من:

$$+12V \rightarrow R_C \rightarrow LED \rightarrow Q \rightarrow GND$$

فتضيء الـ LED.

ب. قطع ثم إشباع، ج. $R_C=500\Omega$ د. $R_{Bmax}=43k\Omega$

سؤال 2: في الرسمة للسؤال، مُعطى دائرة تكبير مع ترانزستور. نفترض أنه بالإمكان تجاهل مفاعلة المكثفات. بيانات الترانزستور T هي: ($h_{ie} = 1\text{k}\Omega$, $\beta = h_{fe} = 100$, $V_{BE}=0.7\text{V}$)



أ. معطى أنه عند نقطة عمل الترانزستور $V_{CE}=6\text{V}$ ، نحسب التيارات I_B و I_C عند نقطة العمل

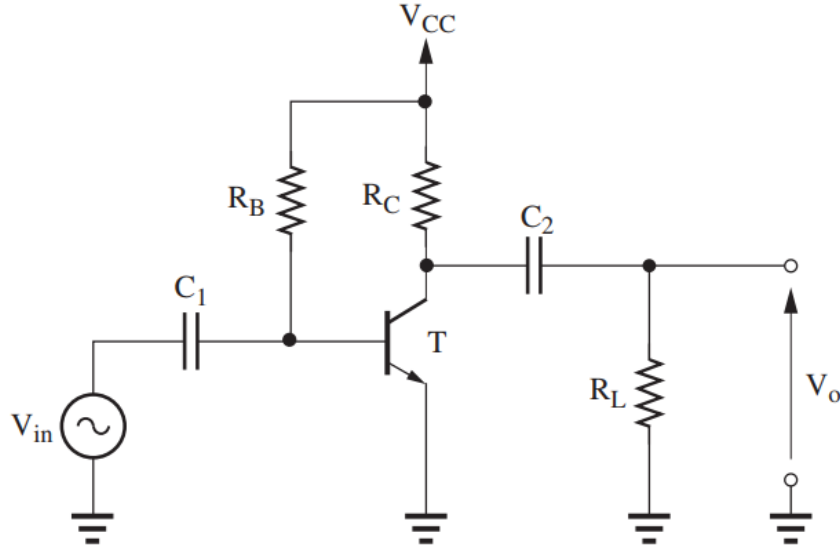
ب. نحسب قيمة المقاومة R_B

ج. نرسم دائرة التيار المتناوب المكافئة

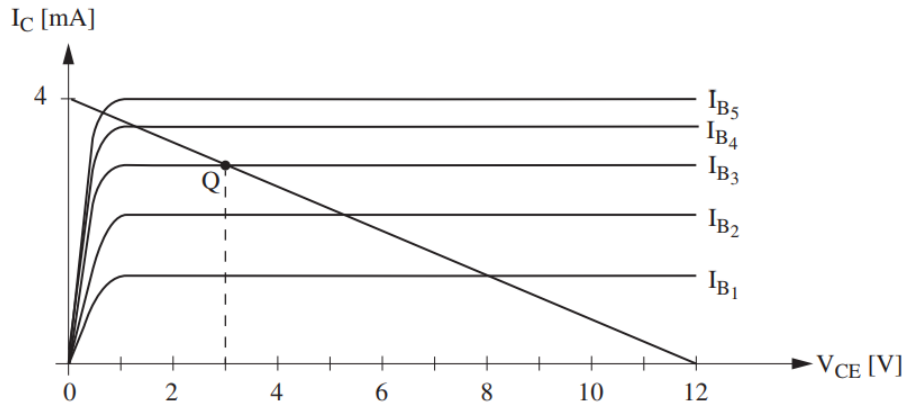
د. نحسب معامل التكبير الجهد $A_v = \frac{V_o}{V_i}$

الإجابات: أ. $I_B=0.0149\text{mA}$, $I_C=1.49\text{mA}$ ب. $R_B=654\text{k}\Omega$ د. $A_v=-200$

سؤال 2: في الرسم للـ سؤال، مُعطى دائرة تكبير مع ترانزستور. نفترض أنه بالإمكان تجاهل مفاعلة المكثفات. بيانات الترانزستور T هي: ($h_{ie} = 1k\Omega$, $\beta = h_{fe} = 100$, $V_{BE}=0.7v$)



في الرسم التالية معطى حالات الترانزستور. وفيها مرسوم خط عمله ونقطة العمل Q



أ. نستعين بالرسم ونوجد قيمة الجهد V_{CC}

ب. نحسب قيمة المقاومة R_C والتيارات I_C و I_B عند نقطة العمل

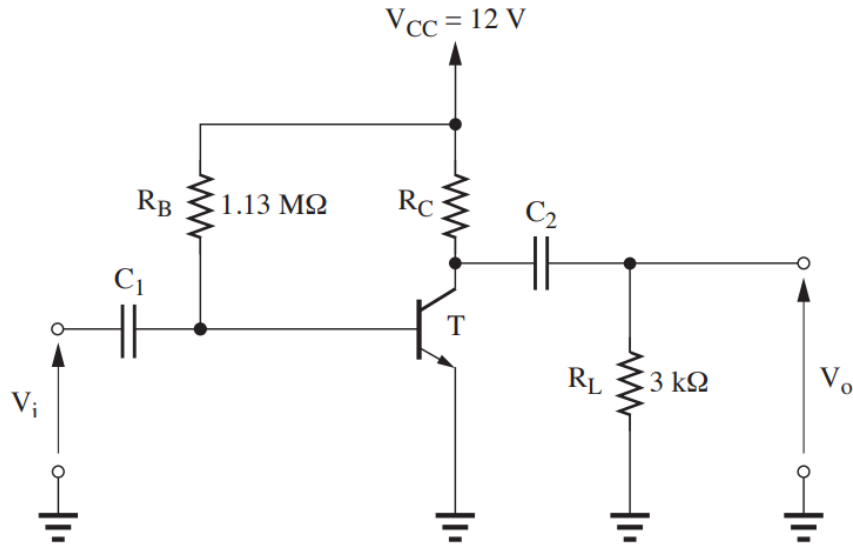
ج. نحسب قيمة المقاومة R_B

د. نحسب قيمة المقاومة R_L اللازمة من أجل تكبير جهد -200 $A_v = \frac{V_o}{V_i}$

الإجابات: أ. $V_{CC}=12V$ ب. $I_C=3mA$, $I_B=0.03mA$ ج. $R_C=3k\Omega$ د. $R_B=377k\Omega$ $R_L=8k\Omega$

سؤال 4: في الرسمة للسؤال، مُعطى دائرة تكبير ترانزستوري. نفترض أنه بالإمكان تجاهل مفاعلة المكثفات. بيانات الترانزستور T هي: ($h_{ie} = 1k\Omega$, $\beta = h_{fe} = 100$, $V_{BE}=0.7v$)

تكبير الجهد للمكبر هو $A_v = \frac{V_o}{V_i} = -200$

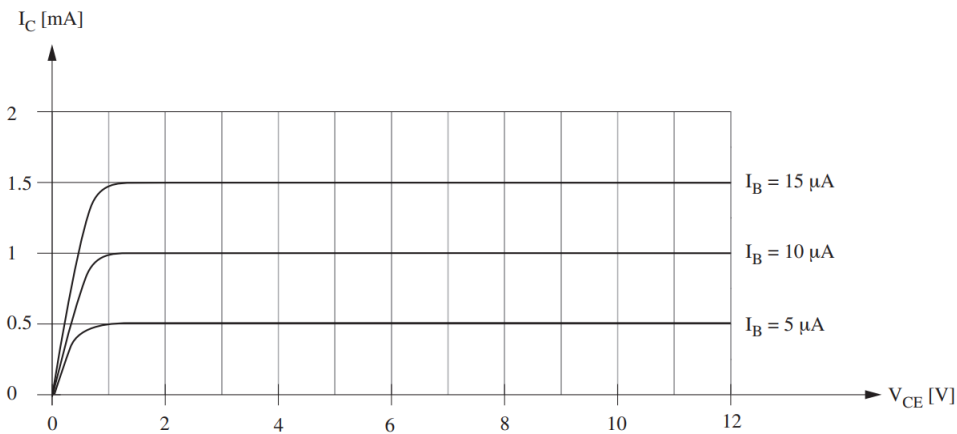


أ. نحسب قيمة المقاومة R_C

ب. نحسب نقطة العمل (V_{CE} و I_C و I_B) للترانزستور T

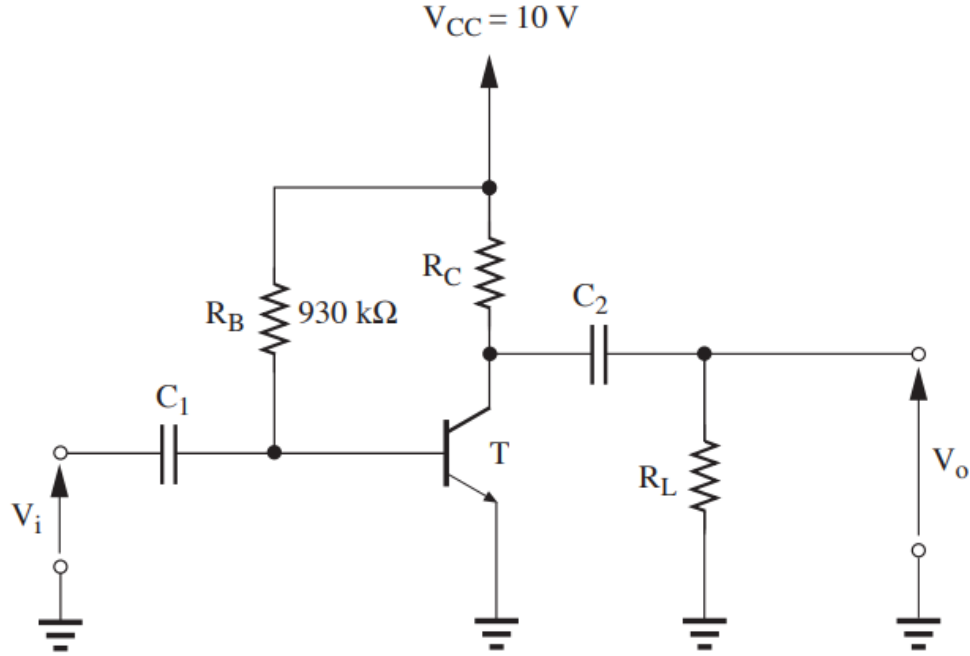
ج. نكتب معادلة خط العمل للتيار الثابت (DC) للترانزستور T

د. نرسم خط العمل على رسمة خصائص الترانزستور



الإجابات: أ. $R_C = 6k\Omega$ ، ب. $V_{CE}=6V$, $I_B=0.01mA$, $I_C=1mA$ ، ج. $V_{CE}=12-6k \cdot I_C$

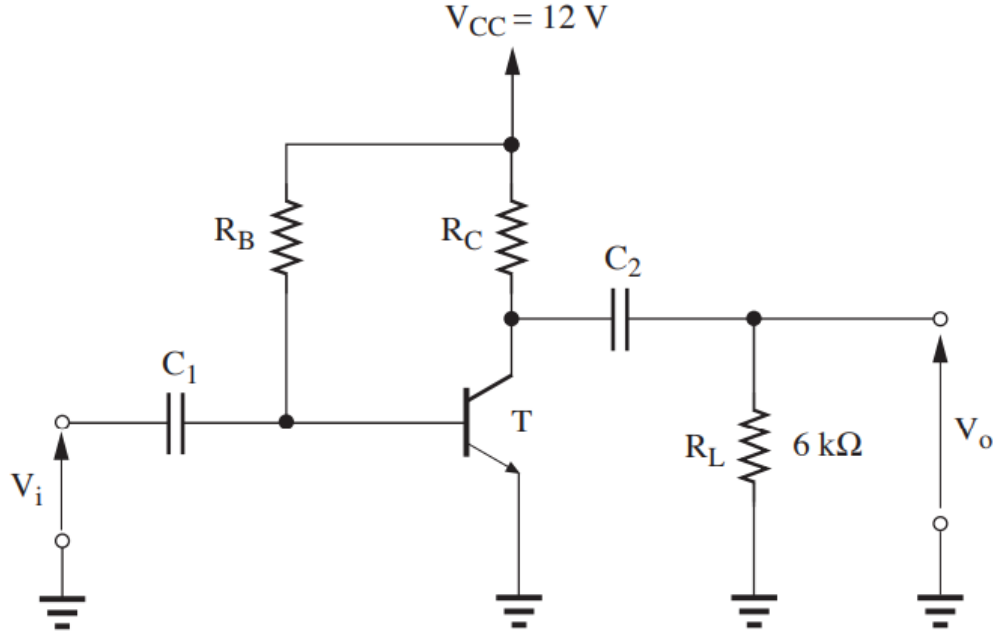
سؤال 4: في الرسمة للسؤال، مُعطى دائرة تكبير ترانزستوري. نفترض أنه بالإمكان تجاهل مفاعلة المكثفات. بيانات الترانزستور T هي: ($h_{ie} = 2k\Omega$, $\beta = h_{fe} = 100$, $V_{BE}=0.7v$)



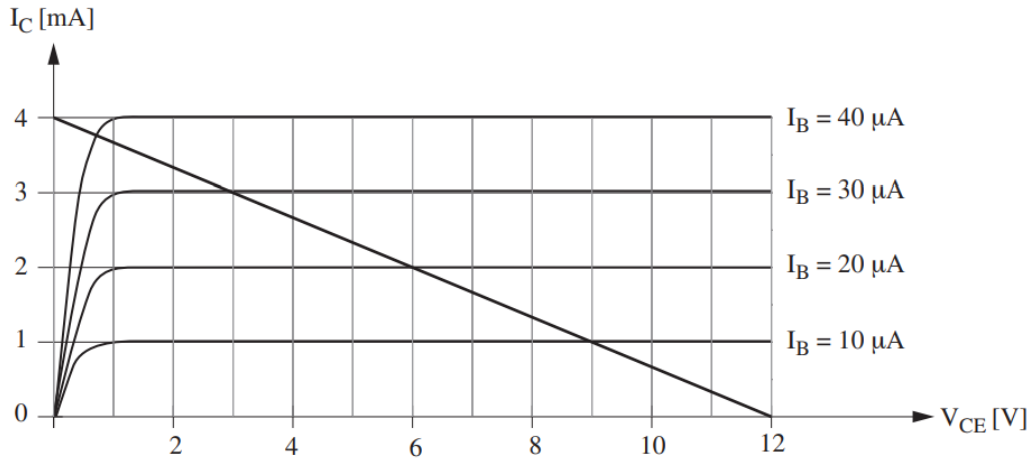
- أ. نحسب تيار القاعدة I_B في حال عدم تزويد جهد عن المدخل
- ب. نحسب قيمة المقاومة R_C في حال كان $V_{CE}=4v$ عندما لا يكون هناك جهد عند مدخل الدائرة
- ج. نزود على مدخل الدائرة الجهد $V_i=20mv$ ونستقبل عند المخرج الجهد $V_o=2v$
نحسب قيمة المقاومة R_L

الإجابات: أ. $I_B=0.01mA$ ب. $R_C= 6k\Omega$ ج. $R_L= 3k\Omega$

سؤال 4: في الرسمة للسؤال، مُعطى دائرة تكبير ترانزستوري. نفترض أنه بالإمكان تجاهل مفاعلة المكثفات. بيانات الترانزستور T هي: ($h_{ie} = 4k\Omega$, $\beta = h_{fe} = 100$, $V_{BE}=0.7v$)



في الرسمة التالية معطى حالات الترانزستور. وفيها مرسوم خط عمله للتيار الثابت (DC)



أ. نحسب قيمة المقاومة R_C

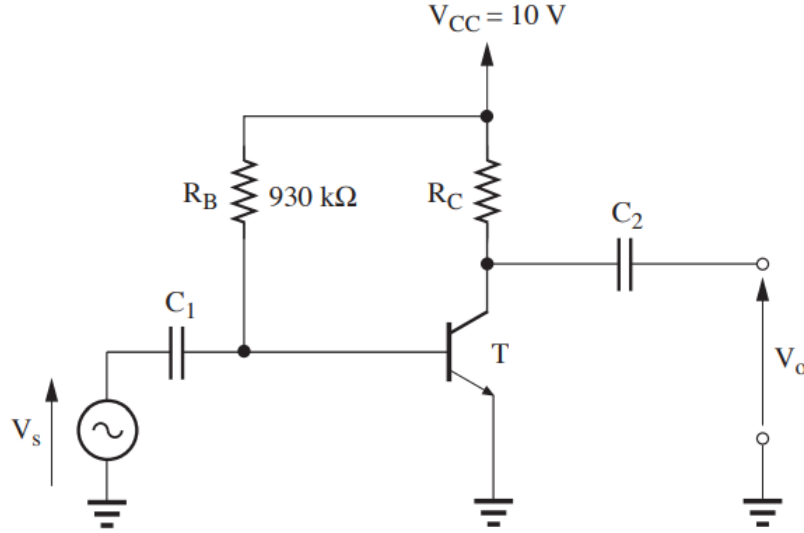
ب. نحسب قيمة المقاومة R_B اللازمة من أجل الحصول على $V_{CE}=9V$

ج. نرسم دائرة التيار المتناوب المكافئة

د. نحسب قيمة تكبير الجهد للدائرة $A_v = \frac{V_o}{V_i}$

الإجابات: أ. $R_C = 3k\Omega$ ب. $R_B = 1.13M\Omega$ ج. $A_v = -50$

سؤال 1: في الرسمة للسؤال، مُعطى دائرة تكبير ترانزستوري. نفترض أنه بالإمكان تجاهل مفاعلة المكثفات. بيانات الترانزستور T هي: ($h_{ie} = 4k\Omega$, $\beta = h_{fe} = 100$, $V_{BE}=0.7v$)



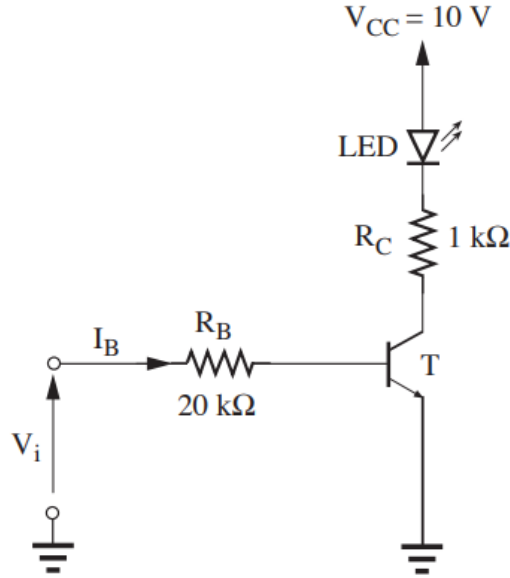
- أ. نحسب التياران I_C و I_B للترانزستور T
- ب. نحسب قيمة المقاومة R_C اللازم من أجل الحصول على $V_{CE}=6v$
- ج. نرسم دائرة التيار المتناوب المكافئة
- د. نحسب قيمة تكبير الجهد للدائرة $A_v = \frac{V_o}{V_i}$

الإجابات: أ. $I_B=0.01mA$, $I_C=1mA$ ب. $R_C= 4k\Omega$ د. $A_v=-100$

2008

سؤال 1: الدائرة في الرسمة التالية تستخدم كمفتاح الكتروني.

بيانات الترانزستور T هي: ($V_{LED} = 1.8V$, $V_{CE(SAT)} = 0.2V$, $\beta = 100$, $V_{BE} = 0.7V$)

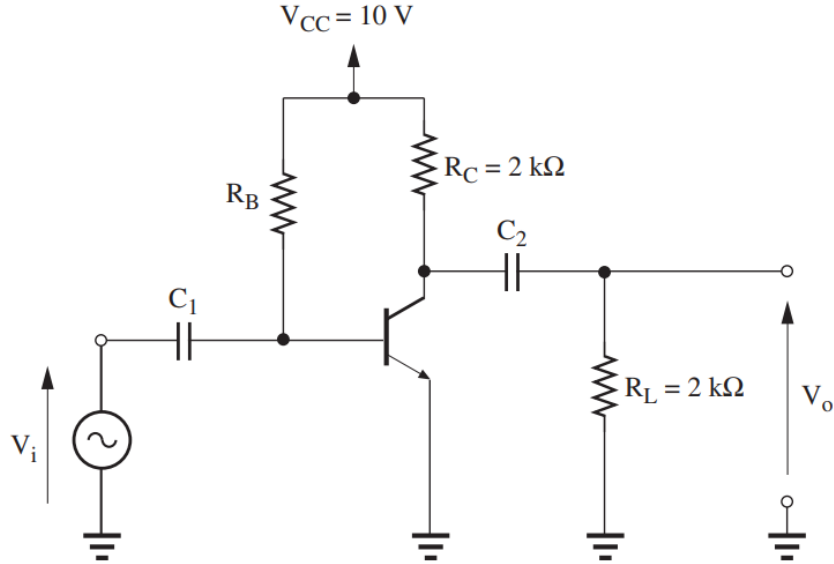


أ. نحسب تيار القاعدة I_B عندما $V_i = 5\text{ V}$

ب. أثبت أن الترانزستور في حالة الإشباع عندما $V_i = 5\text{ V}$

الإجابات: أ. $I_B = 0.215\text{ mA}$ ، ب. $\beta I_B > I_C$

سؤال 1: في الرسمة للسؤال، مُعطى دائرة تكبير مع ترانزستور. نفترض أنه بالإمكان تجاهل مفاعلة المكثفات. بيانات الترانزستور T هي: ($h_{ie} = 1\text{k}\Omega$, $\beta = h_{fe} = 100$, $V_{BE}=0.7\text{v}$)



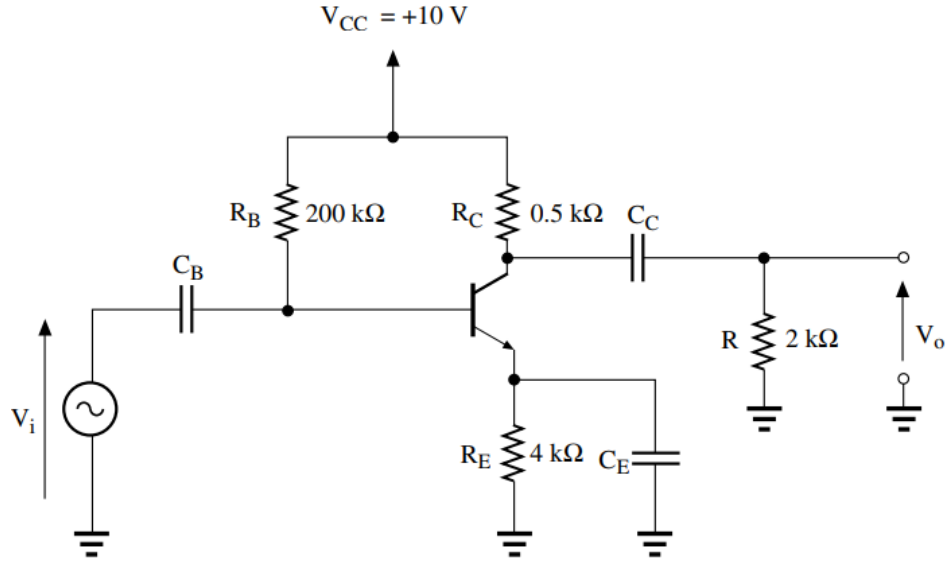
أ. نحسب قيمة المقاومة R_B من أجل الحصول على $V_{CE}=5\text{v}$

ب. نرسم دائرة التيار المتناوب المكافئة

ج. نحسب معامل التكبير الجهد $A_v = \frac{V_o}{V_i}$

الإجابات: أ. $R_B=372\text{k}\Omega$, $I_B=25\text{uA}$, $I_C=2.5\text{mA}$ ، ج. $A_v=-100$

سؤال 4: في الرسمة للسؤال، مُعطى دائرة تكبير مع ترانزستور. نفترض أنه بالإمكان تجاهل مفاعلة المكثفات. بيانات الترانزستور T هي: ($h_{ie} = 1.1\text{k}\Omega$, $\beta = h_{fe} = 50$, $V_{BE}=0.7\text{V}$)



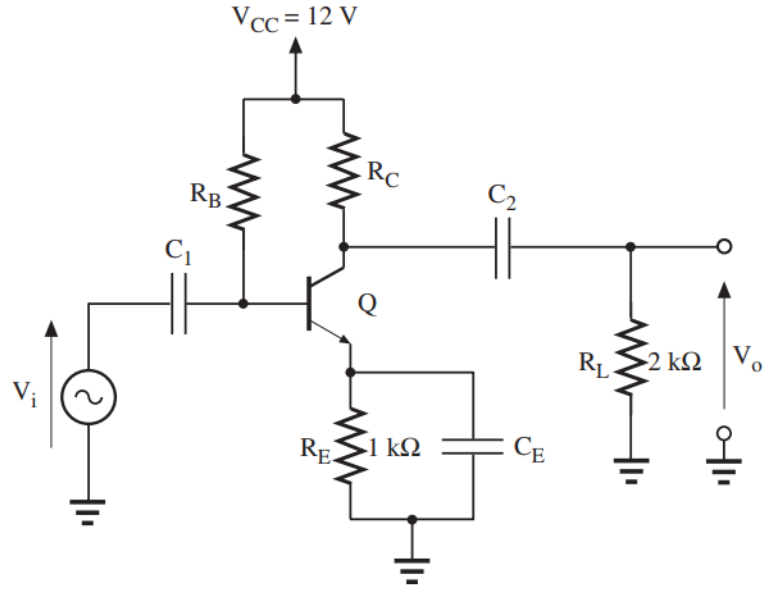
أ. نحسب نقطة العمل للترانزستور (I_C و V_{CE})

ب. نرسم دائرة التيار المتناوب المكافئة

ج. نحسب معامل التكبير الجهد $A_v = \frac{V_o}{V_i}$

الإجابات: أ. $I_C = 1.15\text{mA}$, $V_{CE} = 4.73\text{V}$ ، ج. $A_v = -18.2$

سؤال 3: في الرسمة للسؤال، مُعطى دائرة تكبير مع ترانزستور. نفترض أنه بالإمكان تجاهل مفاعلة المكثفات. بيانات الترانزستور T هي: ($h_{ie} = 1.5k\Omega$, $\beta = h_{fe} = 50$, $V_{BE}=0.7v$)



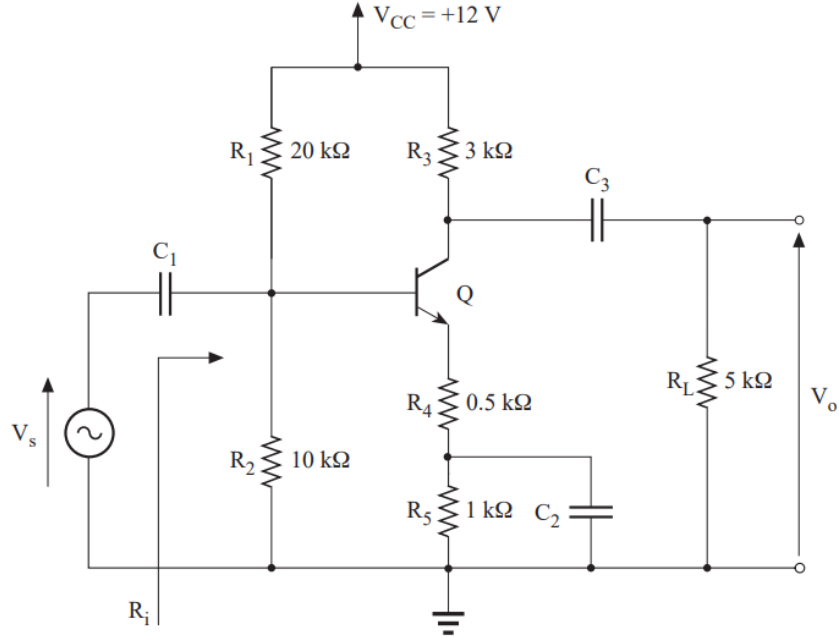
أ. نحسب قيم المقاومات R_B و R_C ، إذا كانت نقطة العمل للترانزستور ($V_{CE}=6V$ و $I_C=2mA$)

ب. نرسم دائرة التيار المتناوب المكافئة

ج. نحسب معامل التكبير الجهد $A_v = \frac{V_o}{V_i}$

الإجابات: أ. $R_C=1.98k\Omega$, $R_B=231.5k\Omega$ ، ج. $A_v=-33.3$

سؤال 4: في الرسمة للسؤال، مُعطى دائرة تكبير مع ترانزستور. نفترض أنه بالإمكان تجاهل مفاعلة المكثفات. بيانات الترانزستور T هي: ($h_{ie} = 1\text{k}\Omega$, $\beta = h_{fe} = 50$, $V_{BE}=0.7\text{V}$)



أ. نحسب نقطة عمل الترانزستور Q (I_C , V_{CE})
ب.

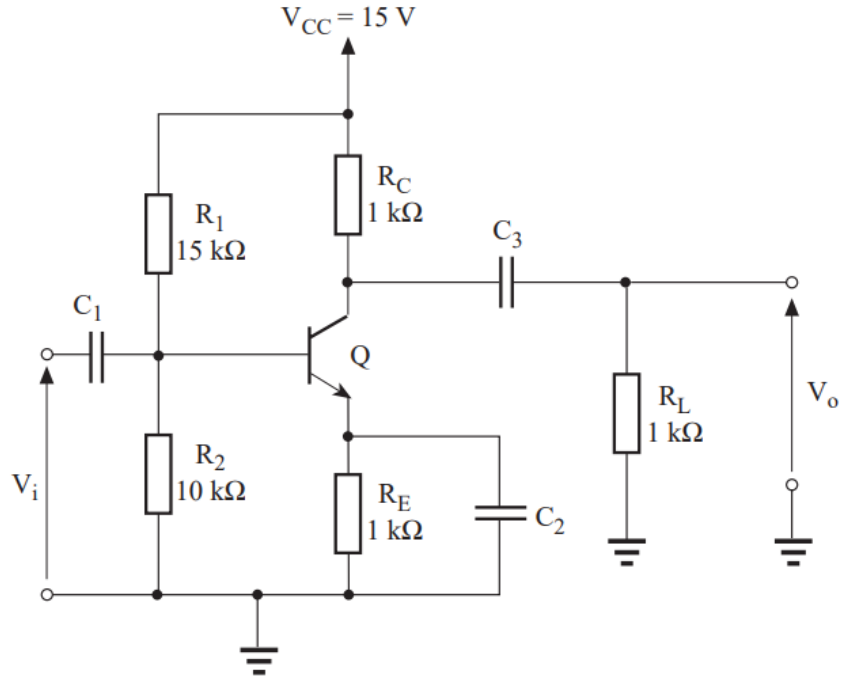
1. نرسم دائرة التيار المتناوب المكافئة

2. نحسب معامل التكبير الجهد $A_{v_s} = \frac{V_o}{V_s}$

ج. نحسب مقاومة الدخل R_i للترانزستور

الإجابات: أ. $I_C = 1.98\text{mA}$, $V_{CE} = 3.01\text{V}$ ، ب. $A_{v_s} = -3.54$ ، ج. $R_i = R_1 // R_2 // (h_{ie} + (1 + \beta) * R_E) = 26.5\text{k}\Omega$

سؤال 3: في الرسمة للسؤال، مُعطى دائرة تكبير مع ترانزستور. نفترض أنه بالإمكان تجاهل مفاعلة المكثفات. بيانات الترانزستور T هي: ($h_{ie} = 2\text{k}\Omega$, $\beta = h_{fe} = 50$, $V_{BE}=0.7\text{V}$)



أ. نحسب نقطة عمل الترانزستور Q (I_C , V_{CE})

ب. نرسم خط العمل للترانزستور ونحدد عليه نقطة العمل

ج. نرسم دائرة التيار المتناوب المكافئة

د. نحسب معامل التكبير الجهد $A_{v_s} = \frac{V_o}{V_s}$

الإجابات: أ. $I_B=93\mu\text{A}$, $I_C=4.65\text{mA}$, $V_{CE}=5.61\text{V}$. د. $A_{v_s}=-12.5$

انتهى الكتاب بفضلہ وكرمه

