

(١)

المدارات الأولى



الشكل (١-١٨)

أرضاف النواقل والموصلات

١-١٦: البنية الذرية:

بما أن التيار الذي يسري في المواد الصلبة عبارة عن حركة حاملات الشحنة (إلكترونات - مقويات)، لذلك أجبرنا على التعرّيج إلى بنية المادة. حيث تتكون هذه الأخيرة حسب نموذج بور من نواة مركزية ثقيلة تحتوي على عدد من البروتونات الموجبة الشحنة وعدد من النيوترونات عديمة الشحنة. كما أنه يدور حول هذه النواة في مدارات

معددة مجموعة من الإلكترونات شحنة كل منها $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ وكتلتها $m_0 = 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$. أما إذا كان الإلكترون يدور بسرعة v فإن كتلته تعطى حسب العلاقة التالية:

$$m = m_0 / \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

تكون عدد الإلكترونات التي تدور في المدارات مساوي إلى عدد البروتونات ويعرف باسم العدد الذري Z ، ومنه تكون شحنة النواة مساوية eZ وكتلة كل بروتون m_0 $1840 m_0$ ومنه كتلة النواة تساوي $1840 Z m_0$ أما العدد الكتلي A فيعطى بالمجموع:

$$A = (Z + n) \text{ amu}$$

حيث: $1 \text{ amu} = 1,66 \times 10^{-27} \text{ kg} = 10^{-24} \text{ g}$ وهذه الكتلة الذرية = $\frac{1}{0,02 \cdot 10^3}$

المدارات السابقة الذكر تكون مع مسافات محددة ويرمز لها بـ: K, L, M, N, O, P

وكل مدار من هذه المدارات له مدارات فرعية يرمز لها بالرمز S, P, d, f كما بالرسم (١٣-٢) وقد

أشغفه على إعطاء كل مدار عدد يرمز إليه يسم العدد الكمي n فالمدار $n=1$ و $n=2$

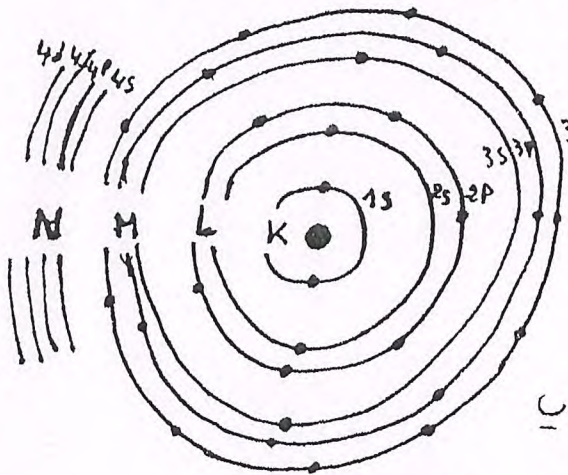
ووجد أن عدد الإلكترونات في مدار عدد الكمي n يساوي n^2 وبذلك عند الاستقرار

الكهربائي وجد أن عدد الإلكترونات في المدارات K يساوي 2 و L يساوي 8 والمدارات M و N و O و P وهكذا.

أما فيما يخص المدارات الفرعية فتكون الإلكترونات موزعة فيها كما يأتي:

$6 \rightarrow P$ $2 \rightarrow S$
 $14 \rightarrow f$ $10 \rightarrow d$

الشكل (١٣-٢)

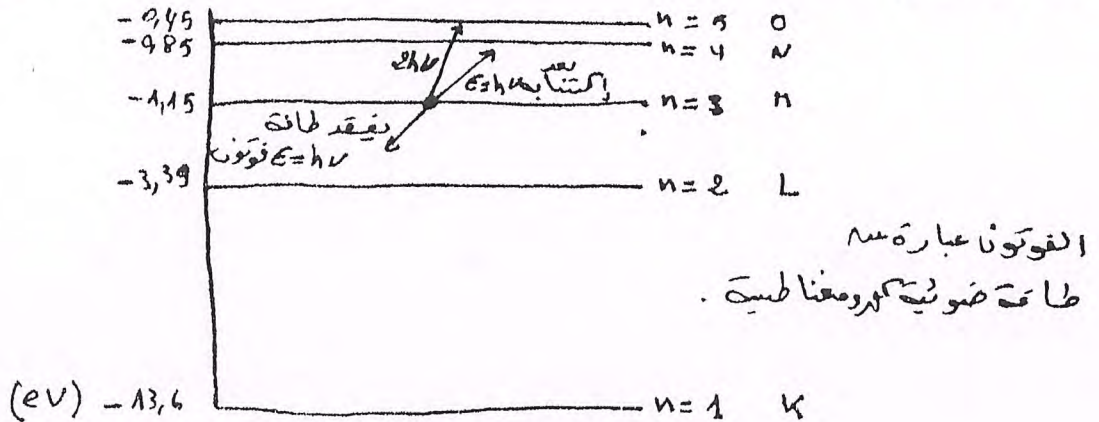


الطاقة الكلية التي تملكها إلكترون يدور في مدار n (E_n):

E_n عبارة عن مجموع الطاقة الكامنة زائد الطاقة الحركية ورصيد ثابت:

$$E_n = -13,6 \left(\frac{z^2}{n^2} \right) eV$$

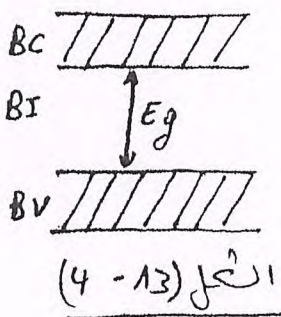
وبما أن ذرة الهيدروجين عددها الذري $z=1$ فإن إلكتروناتها يمكن أن يدور في أي مدار بعد إمكانته طاقة معينة لنقله لذلك المدار، وهذا موضح في الشكل (13-3)



الشكل (13-3)

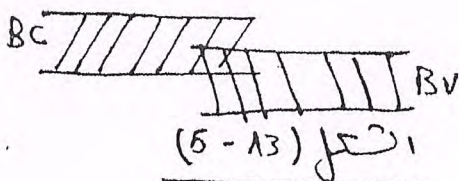
13-2: خصائص الطاقة

مبدأ باولي فإنه لا يمكن أن يتواجد إلكترونين في نفس المستوى الطاقي، وبذلك إذا قمنا مع سبيل المثال ذرة هيدروجين مدارها الكمي (المدار الأخير) على غائية مستويات ومكانت فتكون مع 4 إلكترونات فقط في هذا المدار (S)، فإنه لا يمكن له أن يملك 4 مستويات ويبقى أربعة أقرب بدون إمتلاء. أما إذا اعتبرنا جسم صلب هيدروجين مع عدد كبير من الذرات فإنه يحدث تدافل كبير بين هذه المستويات مما يؤدي إلى تكوين خصائص لها أن تكون من مجموعة كبيرة من مستويات الطاقة وفي هذا المعامل نلاحظ أنه على ثلاثة حالات:

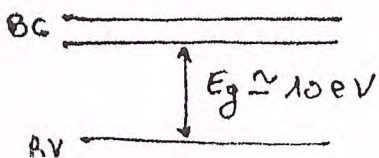


- (أ) خصائص الثنائيات وتكون على المستويات الطاقوية السفلى.
- (ب) " " " " " " " " العليا.
- (ج) الخصائص المتنوعة (مجموعة الطاقة) لا تحتوي على أي مستوى طاقوي وتفصل بين العنصرين الأوليين. مما أن يفتقر الفجوة تلب دور كبير في تقسيم المادة الصلبة كهربياً حسب ذلك.

(1) النواتل:

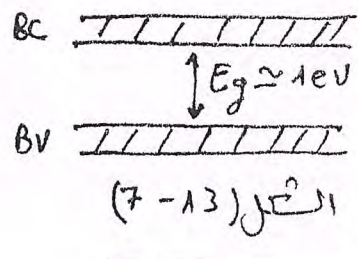


في هذه الحالة تكون B_c و B_v متداخلتان:



تكون E_g كبيرة ولا يوجد أي إلكترون في B_c

③ أضاف النواقل:

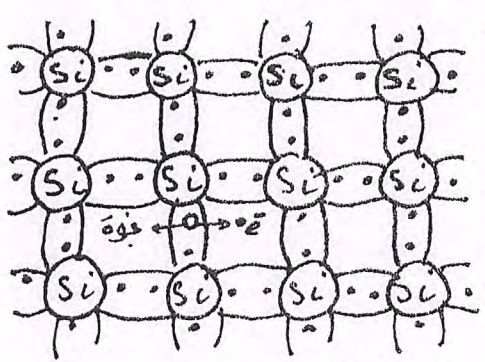


تكون E_g صغيرة، سيما، أي لحاقه بسيطة
 يمكن لها ان تنقل الإلكترونات من BV إلى BC

4-3: أضاف النواقل النقية (الذاتية):

أضاف النواقل في مواد توصل التيار الكهربائي عند ظروف معينة مثل ارتفاع درجة الحرارة ولا توصل عند الظروف العادية ($0^\circ K$). السليسيوم (Si) والجرمانيوم (Ge) عبارة عن مواد عازلة ويزيادة درجة الحرارة رعد أن عدد من الروابط التساهمية يبدأ في الإنكسار، ويتناسب هذا العدد مع درجة الحرارة. وتنتج هذه الإلكترونات حرة ويتبع ذلك فجوات إلكترونية موجبة الشحنة، تسمى هذه الإلكترونات والفجوات حاملات الشحنة (النيار).

وعلى العموم رعد أن المواد التي لها خاصية التوصيل عند ظروف معينة وخاصة العزل عند ظروف أخرى توجد في المجموعة الرابعة من الجدول الدوري والتي لها أربعة إلكترونات في مدارها الخارجي الذي تكمل ويصل إلى وضع الإستقرار بثمانية إلكترونات ولذا تضطر كل ذرة ان تتشارك مع أربعة ذرات مجاورة بروابط خاصة، تتكون كل رابطة من إلكترونين يدوران حول الذرة رتبته في نفس الوقت، وحيث ان الإلكترونات الثمانية ليست كلها تابعة لنفس الذرة فإن الروابط التساهمية تكون ضعيفة يسهل كسرها بتطبيق مجال كهربائي أو فتره جوهه على نصف الناقل تاربت إلكترونات حرة توصل التيار الكهربائي. عند درجة حرارة أعلى من الصفر المطلق تنكسر أهد الروابط ويظهر إلكترونات تاربتا فجوة إلكترونية، بعد فترة وجيزة يظهر إلكترونات من رابطة مجاورة لتبطل الفجوة وتكمل الرابطة، تاربتا فجوة في رابطة أخرى.



فجوة إلكترونية في السيار، إذا سلا الشنتان ينتجان التيار من التيار الناتج من حركة فجوة موجبة عوي الحقيقة آت من حركة إلكترون في الإجهاد المضاد، إذا الفجوة الإلكترونية تتصرف بنفس حواص الإلكترون من ناحية الكتلة والشحنة وقابلية التحرك ونائب الإشتار وتكمه شحنة الفجوة فألف في الإشارة شحنة الإلكترون وبعامستار بيان في الحقيقة المطلقة.

الشكل (8-13)

إذا التوصيل في نصف الناقل نتيجة لنوعيه من حاملات الشحنة.

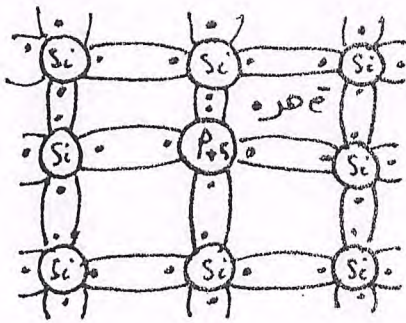
وعلى العموم ليس الجرمانيوم والسليسيوم النقيان ينصف الناقل الذاتي حيث يكون التوصيل ناتج عن عملية ذاتية بعيد مع طبيعة الروابط الذرية في هذه المواد حيث تعرف عند أي درجة حرارة تنكسر عدد معين من الروابط لوعدة الجوه معطية عددا من الإلكترونات وأخر ملأ به من الفجوات، يقال لهذه العملية بإنتاج حاملات الشحنة حيث:

$$n_i = p_i$$

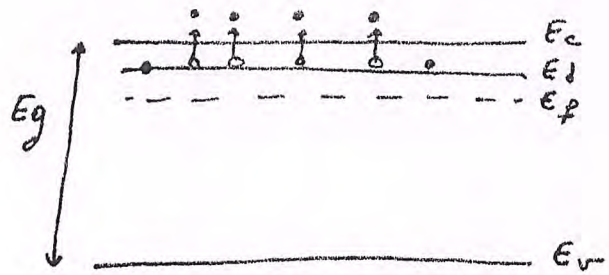
13-4: آصاف الناقل غير النقية (السابعة):

يقال أن نصف ناقل شائب أو مطعم إذا احتوى على نسبة صغيرة جداً من ذرات الشوائب الموصولة عمداً داخل البنية البلورية، ويمكن أن تلاحظ نوعين من الشوائب هي:
 13-4-P: نصف الناقل من النوع السالب (N):

بنشأ هذا النوع من إضافات الناقل نتيجة تطعيم N الناقل النقي بمجموعة ذرات من عناصر المجموعة الخامسة (As و Sb و P و Bi و N). فمثلاً عند إضافة العنفسور الذي يحتوي على خمسة إلكترونات تكافؤ، فإنه إن أربعة منها ترتبط مع إلكترونات نصف الناقل ويبقى واحد زائد فتتأثر الإلكترونات الحراري للذرة الشائبة والأخرى من المادة الأصلية، إذا الذرة الشائبة تعطي إلكترونات حرارية بالذرة المانحة، وبعد انطلاقات إلكترون منها أصبح عليها سعة موجبة لكنها لا تستطيع أن تشارك في التيار نتيجة لإزناطها الوتيرة بذرات N .



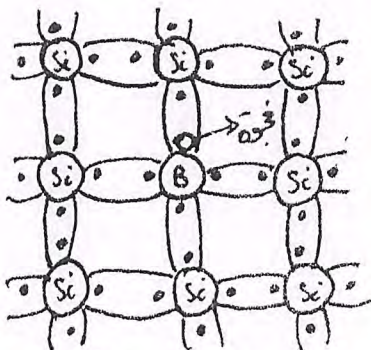
الشكل (13 - 9)



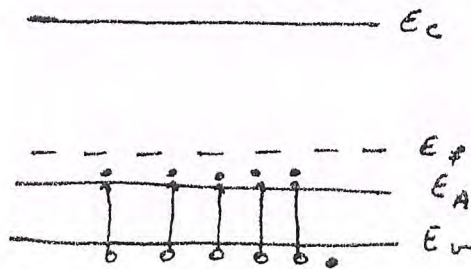
الشكل (13 - 10)

14-4-ب: نصف الناقل من النوع الموجب (P):

بنشأ هذا النوع من إضافات الناقل نتيجة إضافة نسبة نصف الناقل النقي بمجموعة ذرات من عناصر المجموعة الثالثة (B, Al, Ga, In, Tl) فمثلاً عند إضافة اليورن الذي يحتوي على ثلاثة إلكترونات تكافؤ، ويحل محل أربع ذرات رباعية تكافؤية مع Ge أو Si وذلك يعمل على أن هذه الإلكترونات من البنية الأصلية حتى يأخذ مكان في البنية وبذلك تسمى هذه الذرة ذرة آخذة (الشكل 13-11) ومضطلع نصف ناقل من النوع P.

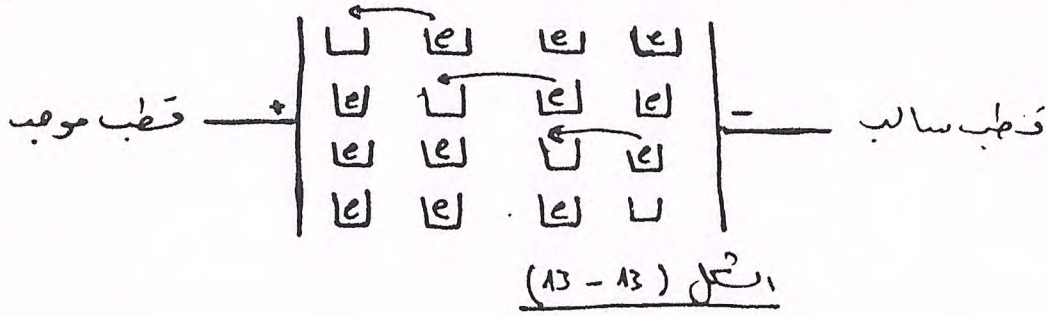


الشكل (13 - 11)



الشكل (13 - 12)

5) وإذا طبقنا جهد على طرفي المادة فإننا نلاحظ وجود تيار نشأ عنه حاملات الشحنة الأيونية (الفجوات) الموجبة التي تنعزب إلى القطب السالب وعند وصولها مباشرة ينطلق إلكترونات من القطب السالب إلى الموجب ليحلل الفجوة التامة، وهذا موضح في الشكل (13 - 13).



ملاحظة:

بالنسبة لصف ناقل الشحنة وبعد أن عدد الإلكترونات الرة لومدة الحوض نتيجة لتكثير الراديو السطحية عند درجة حرارة الغرفة (25°C) هو 10^{19} e/m^3 أما في حالة نصف الناقل العزلي عند درجة حرارة الغرفة فيصل إلى 10^{22} e/m^3 .

5-17: معدل الإنتاج والإندماج لحاملات التيار:

إضافة مادة مثالية لمادة نقية شبه موصلة تقلل من عدد الراديو السطحية المنكسرة الذاتية وبالتالي يقل العدد الكلي للإلكترونات والفجوات الحرارية تبعاً لنسبة المادة الناتجة المضافة وتفسير ذلك كما يأتي:

نفر من أن عدد الإلكترونات والفجوات الذاتية قبل إضافة أي شوائب هي n_i و p_i حيث $n_i = p_i$. من معدل الإنتاج المزدواج (e-h) لومدة الحوض بالرمز g وعامة إذا كانت كثافة e هي n وكثافة الفجوات هي p فإن معدل الإنتاج يتناسب مع كل من n و p حيث:

$$\text{معدل الإنتاج} = r n p$$

n ثابت الإنتاج. إذا في حالة نصف ناقل نقي تكون: معدل الإنتاج $r n_i p_i = r n_i^2$ وسوى هذه الحالة ياد معدل الإنتاج g أن:

$$g = r n_i p_i \quad (1)$$

وهذا يتطابق أيضاً مع مادة نصف ناظفة غير نقيّة.

$$g = r n p \quad (2)$$

$$\boxed{n p = n_i p_i = n_i^2} \quad \text{من (1) و (2) نجد أن:}$$

واضح أنه مثله في حالة مادة من النوع n تكون منها عدد e أكبر من n_i نتيجة الشوائب ويتبع ذلك أنه لا تنقص عدد p_i حتى يصل الحاصل ثابت (n_i^2) .

17-6 - ناقلية نصفناقل:

فد نصف الناقل النقي تعطى العلاقة التالية :
 $n = p = n_i$
 $\sigma = e n_i (\mu_n + \mu_p)$
 ومنه تكتب الناقلية كمايلي:
 حيث: σ الناقلية.

μ_p حركة الفجوات
 μ_n " الإلكترونات

تعطى الحركة بالعلاقة: $\mu = v/E$

حيث: v السرعة و E المجال الكهربائي.

بما n_i فتعطى بالعلاقة: $n_i = A T^{3/2} \exp(-w_a / 2kT)$

حيث: k ثابت بولتزمان.

A " عيار نصف الناقل.

w_a الطاقة التنشيطية ($E_g = w_a = E_c - E_v$)

وحاصل التيار نادى:

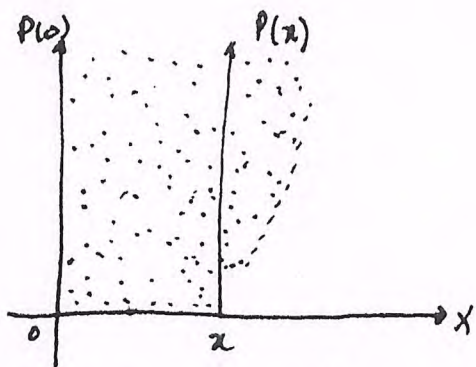
$$J = \sigma E \Rightarrow J = e n_i E (\mu_n + \mu_p)$$

لنصف ناقل النقي:

$$J = \sigma E \Rightarrow J = (n \mu_n + p \mu_p) e E$$

" " النوي:

17-7: ظاهرة الإنتشار:



زيادة عدد كثافة التيار المتولدة عند حركة
 الإلكترونات والفجوات صناع كثافة
 تيار أخرى ناتجة عن ظاهرة الإنتشار
 ولتوضيح ذلك نأخذ الشكل (13-14)

الذي يوضح توزيع التقوب في N/N
 من النوي P بدلالة المسافة x ونلاحظ

أن التوزيع غير منتظم وحادث له تدرج

$$dP/dx$$

$$J_{pD} = -e D_p \frac{dP}{dx}$$

ومنه يعطى:

حيث D_p معامل الإنتشار للفجوات أما الإلكترونات

كما أن D_n و D_p مرتبطين بالبرمج $J_{nD} = e D_n \frac{dn}{dx}$ علاقة أنتشارين

$$D_p / \mu_p = D_n / \mu_n = V_T$$

$$V_T = kT/e$$

ومنه تكون كثافة التيار الكلية هي:

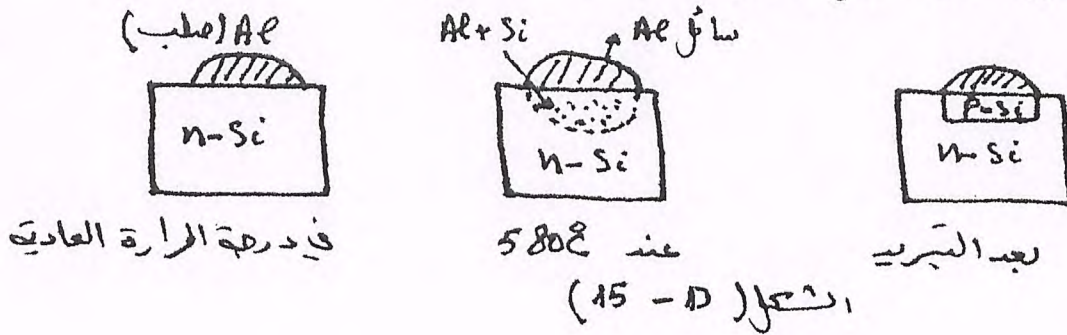
$$J_p = e \mu_p p E - e D_p \frac{dp}{dx}$$

$$J_n = e \mu_n n E + e D_n \frac{dn}{dx}$$

17 - 8 - 1 : تعريف الوصلة PN :

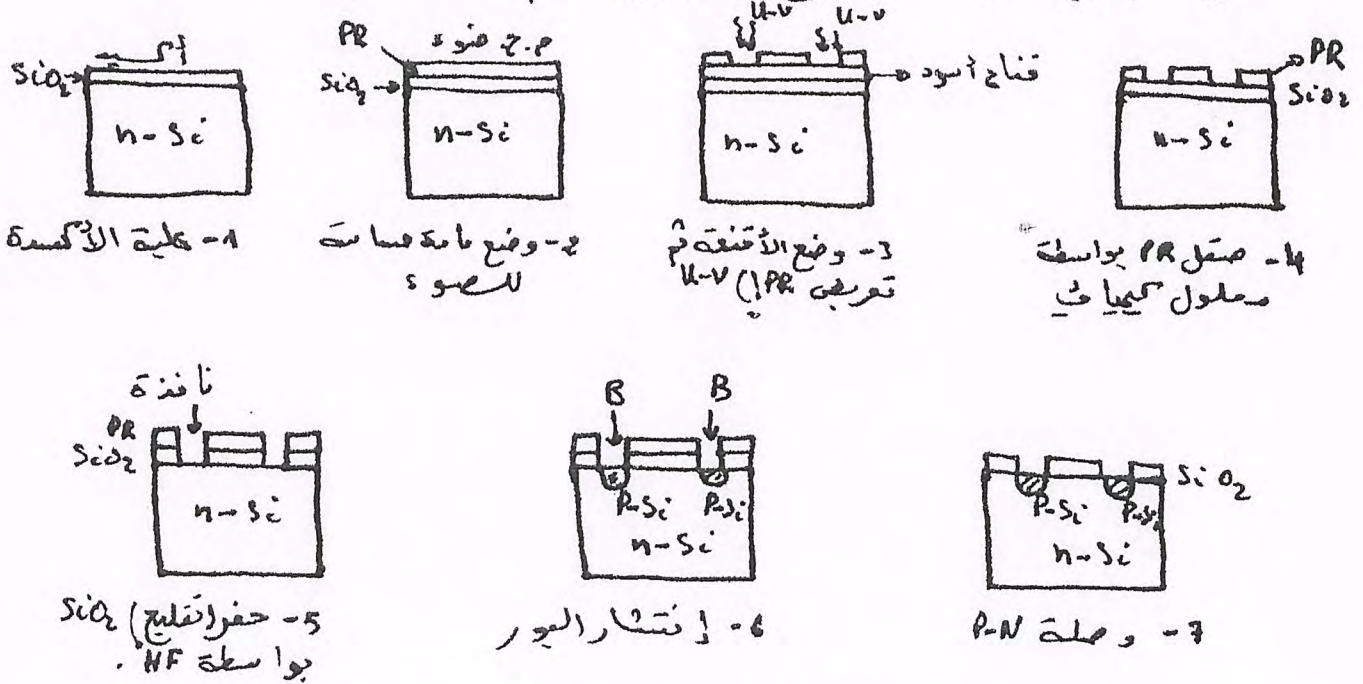
هي عبارة عن إلتقاء أو إرتصال نصف ناقلين من نوعين مختلفين P و N وتُغلبها على بياضة على شكل مادتين ملتصقتين ملتصقتين (P-N) ، كما في الواقع فقد تم العملية بالإرتصال وإنما هي عملية معقدة جدا نذكر منها :
(P) طريقة الخليط (التغلغل) :

وتتم بوضع معدن نوره شريفة من نصف ناقل من نوع P و N ، ثم نقوص بتسخينه حتى درجة إنصها للمعدن ، بعد ما تنتشر ذرات المعدن داخل نصف الناقل وعند عملية التبريد تتبلور المنطقة المنتشرة فيها ذرات المعدن وتتطعم بذرات التي تكون سواء من النوع N أو P حسب الحاجة .



ب) طريقة الإنتشار المسطح :

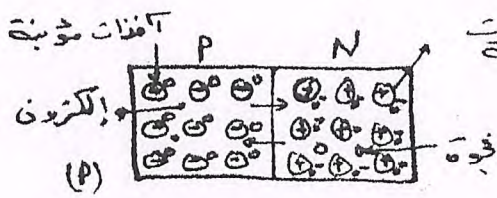
تعرف بطريقة الإستنساخ الضوئي وتتم وخه الخطوات التالية :



الشكل (16 - 13)

ما سببه تكون الوصلة PN من غرس طبقة رقيقة من شوائب الذرات العالفة لتكون طبقة من النوع n في سبب الوصل الغير النقي من النوع p ولهذا الوصلة خاصية تقوم التيار، أي لها مقاومة صغيرة عند الإمرار للتيار في اتجاه معين ومقاومته عالية في الاتجاه المضاد.

ولتوضيح ذلك نأخذ وصلة P-N بدون تطعيمه بعد خارجي، نرى أن عيز للمادة P عيون على الفجوات كحاملات سحنة ايجابية (P) وتلبي من الإلكترونات كحاملات سحنة اقلية (np) في حين عيون المادة n على الإلكترونات كحاملات سحنة ايجابية (nn) والفجوات كحاملات سحنة اقلية (pn) والشكل التالي



يوضح ذلك. ونتيجة للفرق في التركيز لكل من الإلكترونات والفجوات الموجبة من

على جانبي الوصلة يحدث انتشار للفجوات الموجبة من P إلى N والإلكترونات من N إلى P

عند عبور الإلكترونات إلى المادة P فإنها تترك

ذرات موجبة (الذرات اللاصقة) مرتبطة بالسبب البلورية

وغير قادرة على الهامه بالإلكترونات العابرة، ونفس

الشيء يحدث بالنسبة للفجوات المنقولة من المادة P

فإنها تترك ورأها ذرات سالبة (ذرات آفدة)

من عيز للمادة n وعلى هذا الأساس تكون طبقة

مز درجة الشحنات عند الوصلة بين القطبين

x_p و x_n هذه الطبقة تسبب توليد مجال كهربائي

داخلي (E_i) يتولد عنه حاجز جهد عبر الوصلة

وتكون إتياء هذا المجال بحيث يعيقه استمرار عملية

الانتشار ويباعد على انتقال حالات الشحنة الأقلية. كما أن عملية الانتشار

تستمر إلى أن تتساوى قوة المجال الناتج عن المنطقة مز درجة السحنة بالقوة

الفعالة نتيجة اختلاف التركيز والمسببة في حدوث الانتشار، وهذه

المنطقة تعرف باسم منطقة سحنات الفضاء لعدم إمتوا الثام على حاملات

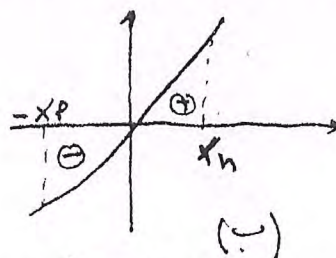
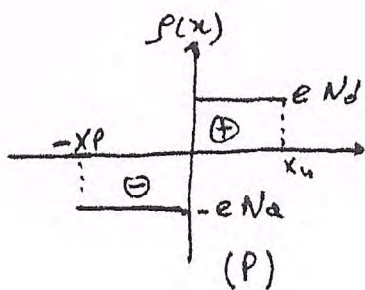
سحنة حرة، ستمثلها بحل بالمسافة x_p و x_n وهو مسد في المدى الذي تتغير خلاله

كثافة السحنة، ويصل إلى $10^{16} m^{-3}$. هذه المسافة صغيرة مقارنة بطول

الوصلة.

فيما يخص الدوائيم المرونة لها هي: الوصلة المفاجئة والمدرجة (الخطية).

كما يوضحها الشكل (13-18) أ و ب) مع التوالي :



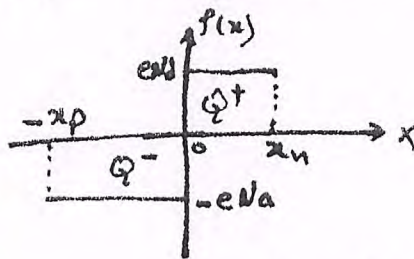
الشكل (13 - 18)

نظرا لوجود أيونات سالبة في المنطقة L من الوصلة وأيونات موجبة في المنطقة N مع خلو الوصلة من الشحنة الحرة لذلك نقول حدود هذه الوصلة حيث تعادل في الشحنات بينما داخل الوصلة حيث الشحنات الأيونية لذلك نبدأ مجال كهربائي يعاكس حركة الشحنات وتلك التغيير منه هذا المجال جهد يسمى حاجز الجهد V ولهذا الغرض نعتبر وصلة PN مفاجئة كثافة الذرات الأيونية N_A ذرة/م³ والمخافة N_D ذرة/م³ ولنبقى عن سدة المجال وحاجز الجهد مع حدود الوصلة، باستخدام قانون بواسون

$$\Delta V + \frac{\rho}{\epsilon} = 0$$

$$\Rightarrow \frac{\rho(x)}{\epsilon} = - \frac{d^2 V(x)}{dx^2} = \frac{dE(x)}{dx}$$

حيث $\rho(x)$ كثافة الشحنات الأيونية و ϵ سماحية البلورة، نلاحظ بالسيء لوصلة مفاجئة توزيع الشحنات كما هو موضح في الشكل (١٣-١٩)



الشكل (١٣ - ١٩)

① المنطقة المحصورة بين x_p و 0 :

من الشكل السابق في هذه المنطقة $\rho(x) = -eN_A$ و $E(x \leq -x_p) = 0$

و $V(x \leq -x_p) = V_p$

نظرا للتبادل الكهربائي خارج منطقة شععات الفضاء، ومنه:

$$\frac{dE(x)}{dx} = \frac{\rho(x)}{\epsilon} = \frac{-eN_A}{\epsilon} \Rightarrow dE(x) = \frac{-eN_A}{\epsilon} dx$$

$$\Rightarrow E(x) = - \frac{eN_A}{\epsilon} x + c$$

عند $x = -x_p$ نجد:

$$E(-x_p) = \frac{eN_A}{\epsilon} x_p + c = 0 \Rightarrow c = - \frac{eN_A}{\epsilon} x_p$$

$$\therefore E(x) = - \frac{eN_A}{\epsilon} (x + x_p) \rightarrow \text{①}$$

وحساب $V(x)$ نتبع الخطوات التالية:

$$V(x) = - \int E(x) dx = - \int - \frac{eN_A}{\epsilon} (x + x_p) dx = \frac{eN_A}{\epsilon} \left(\frac{x^2}{2} + x x_p \right) + c$$

عند الحدود

$$V(-x_p) = \frac{eN_A}{\epsilon} \left(\frac{x_p^2}{2} - x_p^2 \right) + c \Rightarrow \frac{eN_A}{\epsilon} \left(- \frac{x_p^2}{2} \right) + c = V_p$$

$$\Rightarrow c = V_p + \left(\frac{eN_A}{\epsilon} \right) \frac{x_p^2}{2}$$

$$\therefore V(x) = \frac{eN_A}{\epsilon} \left(\frac{x^2}{2} + x x_p \right) + V_p \rightarrow \text{②}$$

نظرا للتبادل الكهربائي على حدود الوصلة نكتب:

$f(x) = eNd$ و $E(x \geq x_n) = 0$ و $V(x \geq x_n) = V_n$

$\Rightarrow \frac{dE(x)}{dx} = \frac{f(x)}{\epsilon} = \frac{eNd}{\epsilon} \Rightarrow E(x) = \frac{eNd}{\epsilon} \int dx = \frac{eNd}{\epsilon} x + C$
عندما $x = x_n$ نجد:

$E(x_n) = C + \frac{eNd}{\epsilon} x_n = 0 \Rightarrow C = -\frac{eNd}{\epsilon} x_n$

$\Rightarrow E(x) = \frac{eNd}{\epsilon} (x - x_n)$ → (3)

و لحاب $V(x)$ نكتب:

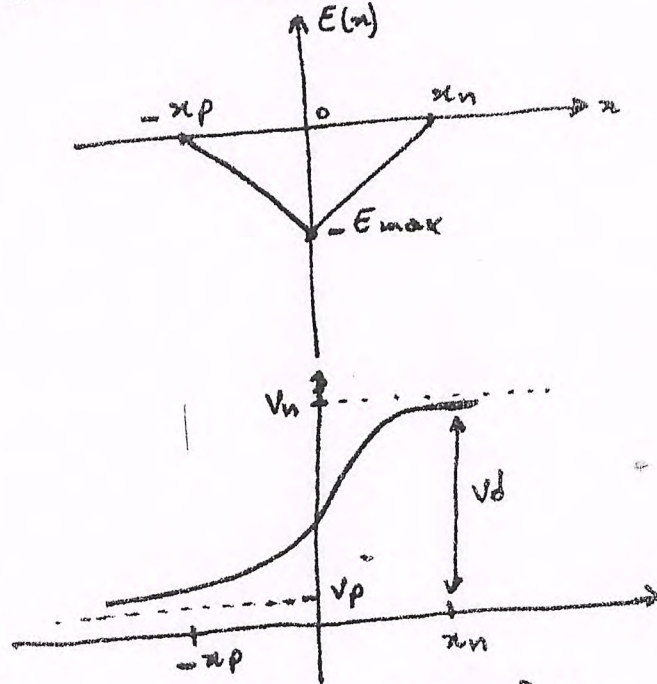
$V(x) = - \int E(x) dx = -\frac{eNd}{\epsilon} \int (x - x_n) dx = -\frac{eNd}{\epsilon} (\frac{x^2}{2} - x x_n) + C$

لما $x = x_n$ نجد:

$V(x_n) = -\frac{eNd}{\epsilon} (\frac{x_n^2}{2} - x_n^2) + C = V_n$
 $\Rightarrow C = -\frac{eNd}{2\epsilon} x_n^2$

$\Rightarrow V_n(x) = V_n - \frac{eNd}{2\epsilon} (x - x_n)^2$ → (4)

العلاقات (1) و (2) و (3) و (4) متصلة جميعا في الشكل (13-20).



الشكل (13-20)

لما أن عند مساحة الفصل بين P و N ($x=0$) المجال والمجهود مستمران فإن:

$E(0) = -\frac{eN_n}{\epsilon} x_p = -\frac{eNd}{\epsilon} x_n \Rightarrow E(0) = -E_{max} \rightarrow (5)$

$N_n x_p = Nd x_n \rightarrow (6)$

من العلاقة الأخيرة نجد أن عرض منطقة الفضاء يتغير بالتطعيم. مثله إذا كان التطعيم $N_n \gg Nd \Rightarrow x_p \ll x_n$ فإن منطقة سعات الفضاء تقع في المنطقة N.

أما إذا كان $N_a \ll N_d$ $x_n \ll x_p$ أي أن منطقة شحنات الفضاء تقع في المنطقة P.

ومن إستراتيجية $V(x)$ عند $V(0)$ نجد:

$$V(0) = V_p + \frac{e N_a}{2\epsilon} x_p^2 = V_n - \frac{e N_d}{2\epsilon} x_n^2$$

وبما أن حاجز الجهد عم طرفي منطقة الفضاء معرف بالعلاقة

$$V_d = V_n - V_p \Rightarrow V_d = V_n - V_p = \frac{e}{2\epsilon} (N_a x_p^2 + N_d x_n^2)$$

وباستخدام العلاقة (6) نجد:

$$V_d = \frac{e N_a}{2\epsilon} x_p (x_p + x_n)$$

وبما أن $w = x_n + x_p$ عرض المنطقة نجد:

$$V_d = \frac{e N_a}{2\epsilon} x_p w = \frac{1}{2} w E_{max} \rightarrow (7)$$

ومن (5) نجد:

$$x_n = \frac{\epsilon}{e N_d} E_{max}$$

$$x_p = (\epsilon / e N_a) E_{max}$$

وبالتعويض في (7) نجد:

$$V_d = \left(\frac{\epsilon}{2e}\right) E_{max}^2 \left(\frac{1}{N_a} + \frac{1}{N_d}\right) \rightarrow (8)$$

وبحساب العلاقة (7) و(8) فكتب:

$$w = \left(\frac{\epsilon}{2e}\right) E_{max} \left(\frac{1}{N_a} + \frac{1}{N_d}\right) = \sqrt{\frac{2\epsilon V_d}{e} \frac{N_a + N_d}{N_a N_d}} \rightarrow (9)$$

بمضي الطريقة وباستخدام العلاقات (5) و(7) نجد:

$$\left. \begin{aligned} x_n &= \frac{\epsilon}{e N_d} \left(\frac{2V_d}{w}\right) \\ x_p &= \frac{\epsilon}{e N_a} \left(\frac{2V_d}{w}\right) \end{aligned} \right\} \Rightarrow \begin{cases} x_n = \sqrt{\frac{2\epsilon V_d}{e} \frac{N_a}{N_d(N_a + N_d)}} \\ x_p = \sqrt{\frac{2\epsilon V_d}{e} \frac{N_d}{N_a(N_a + N_d)}} \end{cases}$$

ما ب سعة الوصلة:

بما أن الشحنة لكل وحدة مساحة في منطقة شحنات الفضاء تعطى بالعلاقة:

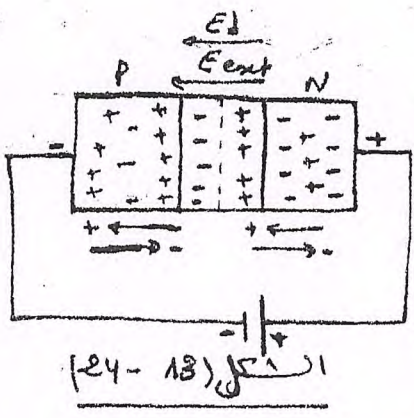
$$|Q^-| = |Q^+| = Q = e N_a x_p = e N_d x_n$$

وبتعويض قيمتي x_n و x_p نجد:

$$Q = \sqrt{2\epsilon e N_d \frac{N_d N_a}{N_a + N_d}} \Rightarrow C = \left| \frac{dQ}{dV} \right| = \sqrt{\frac{e\epsilon}{2} \frac{N_a N_d}{N_a + N_d} \frac{1}{V_d}}$$

حيث dQ تغيرات الشحنة لوحدة المساحة.
 V_d تغيرات الجهد بين طرفي منطقة الفضاء.

في التوصل العكسي :



في هذا النوع من التوصل يتم إرجاع الطرف n بالقطب الموجب والطرف p بالقطب السالب فلنلاحظ مرور تيار صغير في الدائرة في الإقياه الموضعي في الشكل (13-24) وهذا يرجع فقط لحاملات الشحنة الأقلية، حيث حاملات الشحنة الأخرية لا تمر نتيجة كون المجال المطبقه ومجال الانتشار في نفس الإقياه أي $V_D = V_b + V_p$.

وتبدلك تيار الوصلة كما لو كانت دائرة مفتوحة، وعموما مقاومة مرور التيار عالي جدا. كما أن تيارات التيار موضعة في الشكل (13-23) وتطو بالعدالة :

$$I_c = I_s [1 - \exp(-eV_p/kT)]$$

ومن هاتين المعادلتين نلاحظ أن الوصلة تمرر التيار في إقياه ولا تمرر في إقياه آخر أي يحدث لها تعريف بحليلة السقويم. ونستطيع أن نطوهر عليها راجع الموصل (م) مقاومة الوصلة الحقيقية :

قبل التطرف إلى الوصلة الحقيقية نسير إلى أن المقاومة في حالة التوصل الأمامي للوصلة المثالية ($r_d = 0$) أما للتوصل العكسي ($r_i = \infty$).

أما فيما يخص الوصلة الحقيقية فإن r_d و r_i لهما قيم معددة، حيث أن المنعني المميز $I(V)$ ليس خط مستقيم ومنه المقاومة اللحظية تعرف على أنها النسبة بين الجهد والتيار وتطو بالعدالة :

$$r_p = V_p / I_p$$

وتعرف بالمقاومة المباشرة وحسب من الشكل مباشرة.

أما المقاومة التفاضلية فتطو بالعدالة : $r_p = \frac{dV_p}{dI_p}$ وبيان :

$$I_p = I_s (\exp(eV_p/kT) - 1) \Rightarrow \frac{dI_p}{dV_p} = I_s \frac{e}{kT} e^{eV_p/kT}$$

$$\Rightarrow r_p = \frac{dV_p}{dI_p} = \frac{I_s e}{kT} (e^{eV_p/kT} - 1 + 1) = \frac{e}{kT} I_p + \frac{I_s e}{kT} = \frac{e}{kT} I_p$$

$$\frac{dI_p}{dV_p} = \frac{e}{kT} I_p \quad \text{اذن} \quad V_p \gg kT$$

$$r_p = \frac{kT}{e} \frac{1}{I_p}$$

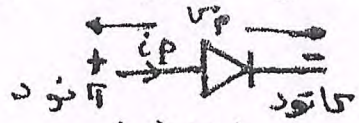
اذن

نرفع دائما إلى المنعني لحاب التيار والجهد لإختلاف المنعنيات المميزة للموصلات.

13-9: الموحد كعنصر غير خطي:

17-9-9: تعريف:

الموحد عبارة عن ثنائي قطب غير خطي كما توضح علاقة التيار بالجهد في التوصيل الأمامي والخلفي، لذلك لا يستخدم قانون أوم في حساب التيار وإنما نستخدم منحنيات مميزة ورسم تخطيطي يبين رسم خط الحمل لكل نصفه المسائل. وتوجد لعدة أنواع منها: الموحد المقترن والموحد الغازي والموحد ثنائي الوصلة $P-N$. استعمالاً تكبيراً تدمج منها: دوائر المقوم أي تحويل القدرة ac إلى قدرة dc ودوائر الكاشف وتستخدم لفصل إشارات الترددات الفدياعية (RF) والسعة في أجهزة الاستقبال كما أنها تستخدم لتنظيم الجهد وحماية الأجهزة الحساسة. بقي أن نشير إلى أن الرسم التخطيطي في الدارات الكهربائية يعطى كما يلي:

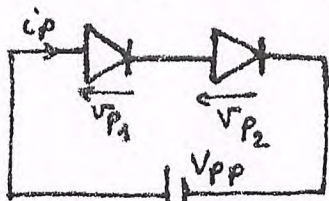


أخياراً ما هي:

الشكل (13-25)

17-9-9: توصيل الموحدات على التوالي:

لتعتبر موحدين كما بالشكل (13-26) موصولين على التوالي بحيث:



الشكل (13-26)

$$V_{PP} = V_{P1} + V_{P2}$$

$$I_{P1} = I_{S1} (e^{eV_{P1}/kT} - 1)$$

$$I_{P2} = I_{S2} (e^{eV_{P2}/kT} - 1)$$

ولما أن التيار الذي يسري في العروة محفوظ

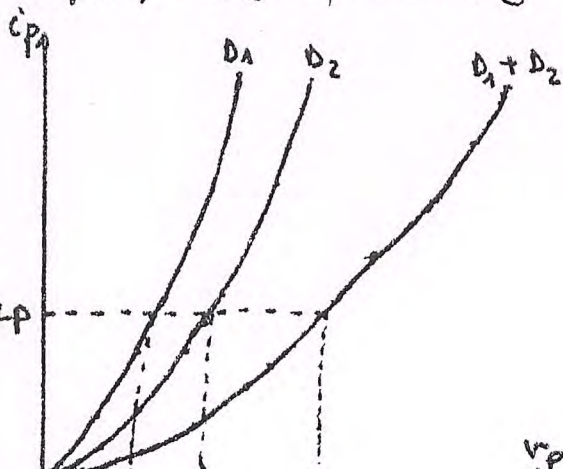
$$I_{P1} = I_{P2}$$

$$I_{S1} (e^{eV_{P1}/kT} - 1) = I_{S2} (e^{eV_{P2}/kT} - 1)$$

إذن:

$$\Rightarrow 1 - \frac{I_{S1}}{I_{S2}} = \exp(eV_{P2}/kT) - \frac{I_{S1}}{I_{S2}} \exp(eV_{P1}/kT)$$

ونلاحظ مدى تعقيد هذه العبارة لذلك يفضل الحل باستخدام مميزات I_P و V_P .



منه نتعلم بأن عند قيمة I_P ونتنتج قيمة V_{P1} و V_{P2} بعد ذلك

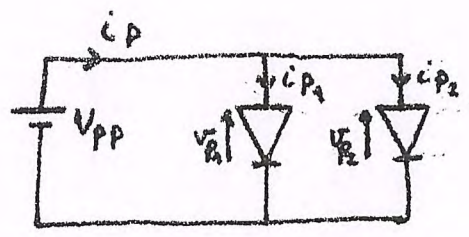
نرسم V_{PP} المقابلة التي نادر

$$V_{PP} = V_{P1} + V_{P2}$$

وبذلك نعيد العلية حتى نتحصل على

المنحنى المميز

$$D_1 + D_2$$



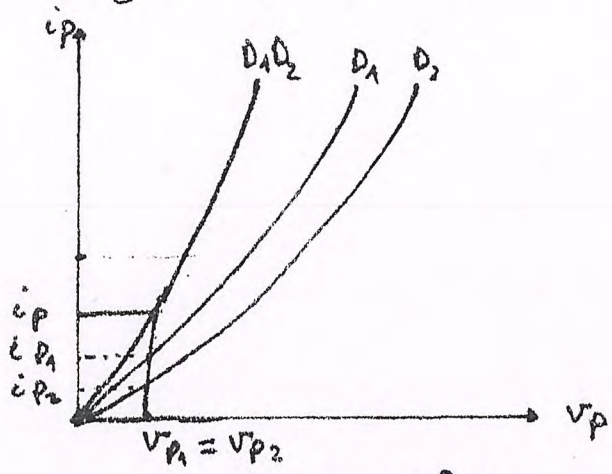
الشكل (28 - 13)

لنعتبر موصلاين مربوطين على التوازي
 كما بالشكل (13-28) في هذه الحالة
 نستنتج أن:

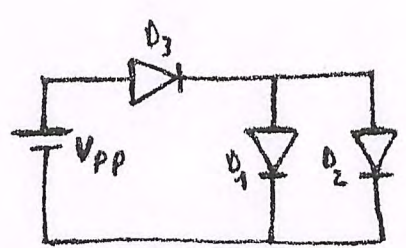
$$V_{PP} = V_{P1} = V_{P2}$$

$$i_P = i_{P1} + i_{P2}$$

و
 بالإضافة فمع تيار كل موصلا عند كل قيمة للجهد V_{PP} فنصل مع المنحنى الخاص للموصلا الثاني

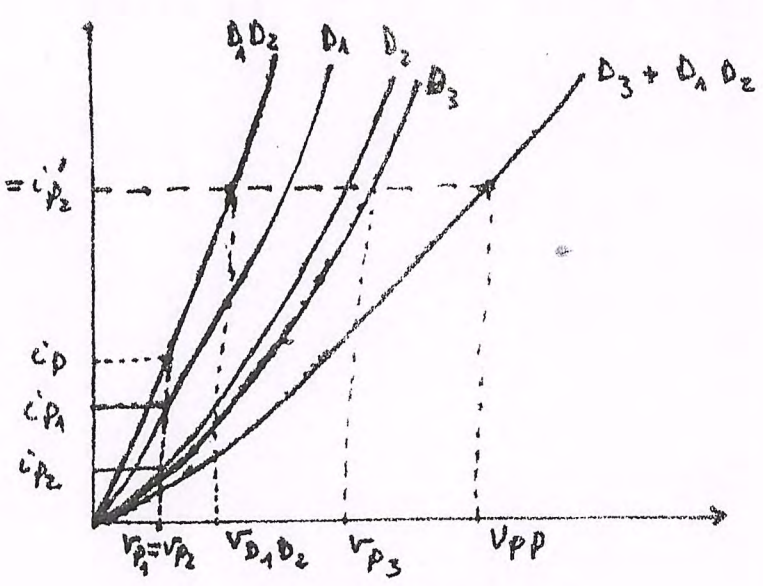


الشكل (29 - 13)



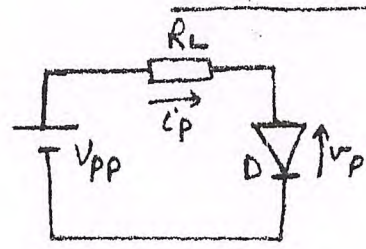
الشكل (30 - 13)

باستخدام نتائج الفترتين السابقين
 نستطيع رسم المنحنيات المميزة لهذه الدارة



الشكل (31 - 13)

07 - 9 - 9 : موهمة تأثير مصدر جهد ثابت (طريقة خط الحمل)



الشكل (13 - 32)

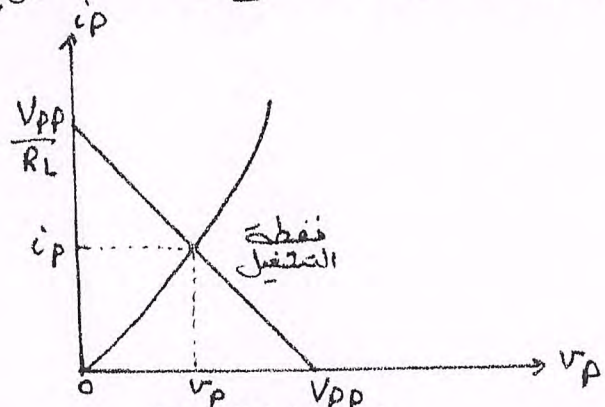
طريقة خط الحمل هي طريقة بسيطة تستخدم لتحليل الدارات الكهربائية المكونة من عنصرين إحداهما خطي والثاني غير خطي. لتعتبر الدارة الموضحة في الشكل (13 - 32) وبتطبيق قانون كيرشوف نجد:

$$-V_{pp} + R_L i_p + v_p = 0$$

$$\Rightarrow R_L i_p + v_p = V_{pp}$$

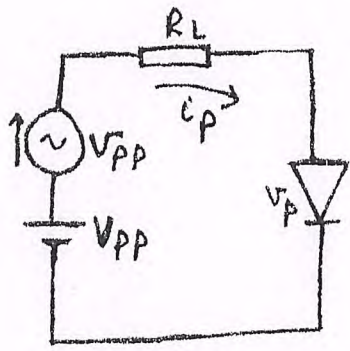
$$\Rightarrow \left(\frac{R_L}{V_{pp}}\right) i_p + \left(\frac{1}{V_{pp}}\right) v_p = 1$$

هذه عبارة عن معادلة مستقيم، هذا المستقيم يقطع محور v_p عند القيمة V_{pp} ويقطع أيضا محور i_p عند القيمة $\frac{V_{pp}}{R_L}$ ، هذا المستقيم يدعى خط الحمل لأنه يتعلق بالمقاومة R_L في نقطة التقاطع (نقطة التشغيل) بين المنحنى المميز للموهمة وخط الحمل نستطيع من خلاله تعيين التيار i_p الذي يسري في الدارة والجهد v_p كما هو موضح في الشكل (13 - 33)



الشكل (13 - 33)

13 - 9 - 9 : دارة موهمة تأثير جهد ثابت وأخر متردد:

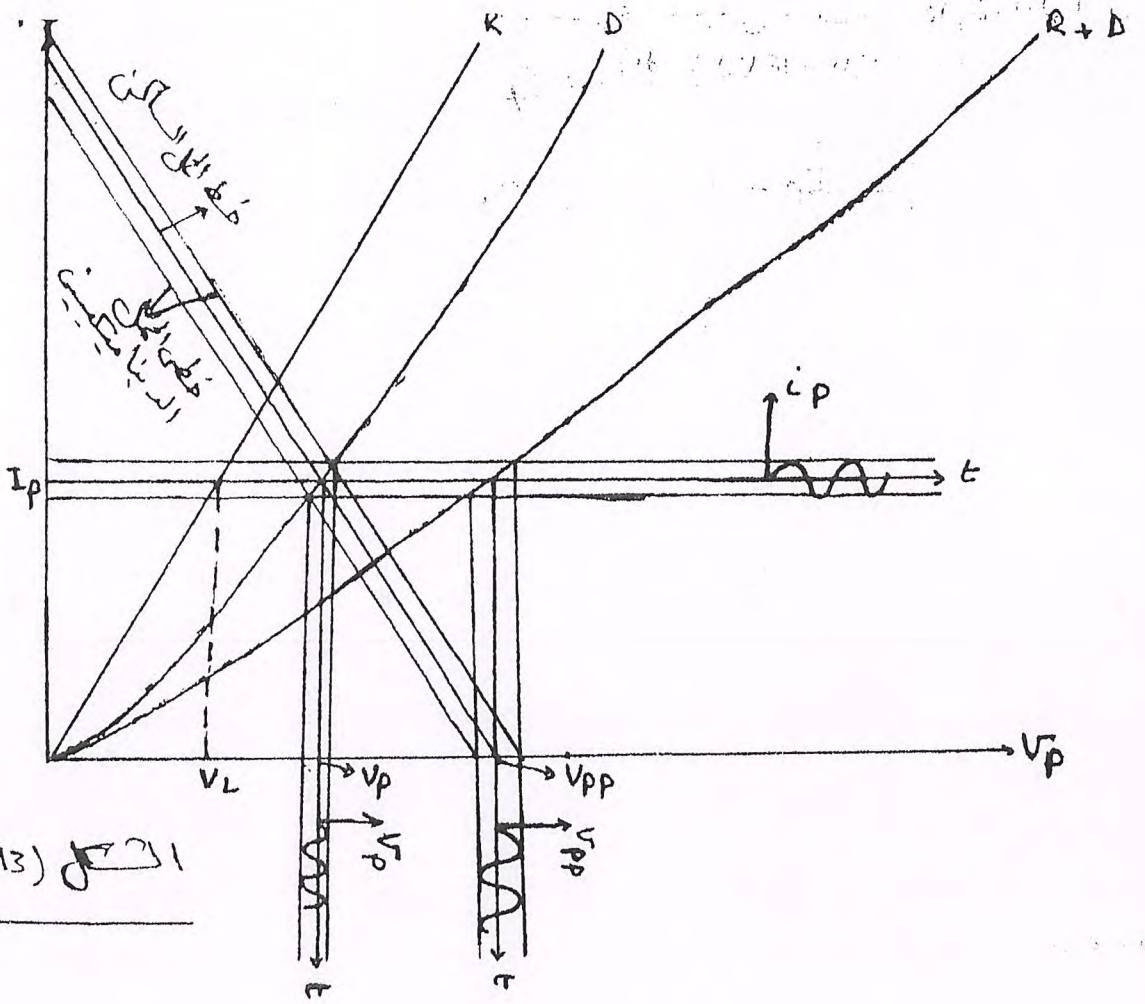


الشكل (13 - 34)

إعتبر الدارة الموضحة في الشكل (13 - 34) حيث تكوننا من عنصر خطي عبارة عن مقاومة (R_L) وعنصر غير خطي عبارة عن موهمة له جهد (v_p) . مغذيين بمصدرين للجهد إحداهما ثابت (V_{pp}) والأخر متردد جهد $v = V_m \sin \omega t$ وبتطبيق قانون كيرشوف نجد:

$$-V_{pp} - V_{pp} + R_L i_p + v_p = 0$$

هذه المعادلة غير خطية لكن حلها بيانيا وذلك يرسم المنحنى المميز للعنصرين R و D المترولين على التوالي كما هو موضح في الشكل (13 - 35) وهنا نعلم أن وجود مصدر الجهد الثابت V_{pp} يعطي تيار I_D ثابت بينما وجود V_{pp} يعطي تيار متردد نتيجة لإضافة V_{pp} .



المحل (13 - 35)

فلا حظ من الرسم كيفية استنتاج الجهود الثابتة والمتغيرة على كل من العنصرين المحل R_L والغير المحل D ، ولا حظ كذلك أن التيار المار فيهما يقسم بين رياردي التيار الكلي نظرا للتوصيل على التوالي (التسلسل).

كما أننا نلاحظ أن خط المحل يتغير بين قيمته إحداهما عظمى والأخرى صغرى تبعاً مع التوالي: $V_{pp} + V_{ppmax}$ و $V_{pp} - V_{ppmax}$.

أما نقطة التشغيل فيمكن إيجادها بحساب I_p و V_p كما يأتي: تقاطع خط V_{pp} مع منحنى $(D+R_L)$ يعطي التيار I_p (الثابت) وتقاطع I_p مع منحنى D يعطي V_p (قيمة متوسطة). أما القيمة اللحظية i_p يمكن حسابها بعرفة القيمة العظمى والصغرى لـ V_{pp} .

13-9-ي: الدوائر المكافئة:

بغداد لطريقة أخرى لحل الدوائر المصنوعة من عناصر غير خطية وجهد استرداد باستخدام الدوائر المكافئة، حيث نعتبر أن التيار دالة فقط في الجهد أي:

$$i_p = f(V_p)$$

باستخدام نشر طاليلور حول نقطة التشغيل (0) نجد:

$$i_p = f(V_p) + (V_p - V_p) \frac{di_p}{dV_p} + \frac{(V_p - V_p)^2}{2!} \frac{d^2 i_p}{dV_p^2} + \dots$$

وإذا كان الاشتقاق i_p بالنسبة لـ V_p للدرجات e وما أكثر تاردي الصغر فإن العلاقة تكون في معيار خطي أي:

$$i_p = f(V_p) + (V_p - V_p) \frac{di_p}{dV_p} \rightarrow (1)$$

(18) ومنه يكون البيان المميز للموضع عبارة عن مستقيم في مجال وجود العمل لما نعلم ان
 $f(v_p) = I_p$ و $\frac{d i_p}{d v_p} = g_p$ (الناتجة التفاضلية)
 نعوض في (1) نجد:

$$i_p = I_p + (v_p - v_p) g_p \rightarrow (2)$$

وبما ان السَّغْل يتم في جزء خطي فان:

$$\frac{d i_p}{d v_p^2} = \frac{d g_p}{d v_p} = 0 \Rightarrow g_p = \text{const}$$

و بذلك نستطيع تطبيق نظرية التراكب اي:

$$v_p = v_p + v_p \text{ و } i_p = I_p + i_p \rightarrow (3)$$

اي: القيمة اللحظية للمركبة المتغيرة + القيمة المتوسطة = القيمة اللحظية.
 ويعوض في (3) في (2) نستخرج ان:

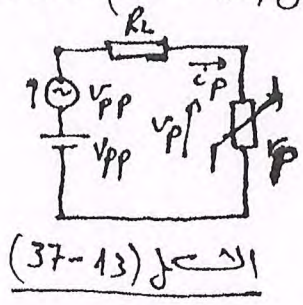
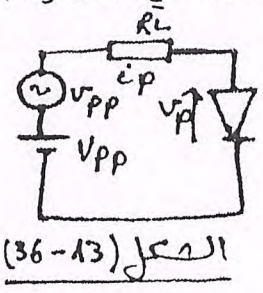
$$g_p = \frac{i_p}{v_p} \Rightarrow r_p = v_p / i_p$$

هذه العلاقة تسمح لنا بتعويض الموضع كما يلي:

(1) باعتبار المركبة الثابتة (المتوسطة) فقط نصل الموضع كقاومة ثابتة R_p (المقاومة الساكنة) وقتن ايجادها بيانيا.

(2) باعتبار المركبة المتغيرة فقط نصل الموضع كقاومته r_p (المقاومة التفاضلية) وقيمتها توجه ارضا بيانيا.

اعتبر الدارة الموضحة في الشكل (13-36) هذه الدارة تكافئ الدارة الموضحة في الشكل (13-37)



منه عوض الموضع (القيم اللظية) بمقاومته غير خطية تعرف بالمقاومة اللحظية للموضع وليا ايجاد r_p نكتب المعادلة (2) مع الشكل

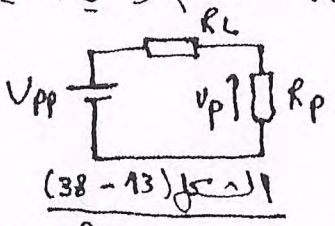
$$i_p = I_p + g_p v_p - g_p v_p$$

$$\Rightarrow v_p = \frac{1}{g_p} (i_p - I_p) + v_p = r_p i_p - r_p I_p + v_p$$

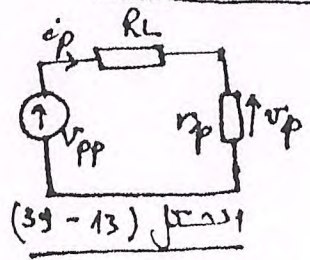
وبالتعريف.

$$r_p = \frac{v_p}{i_p} = r_p - \frac{1}{i_p} (r_p I_p - v_p)$$

- الدارة المكافئة بدلالة القيم المتوسطة يعطى بالشكل (13-38) وهي احيانا



تسمى الدارة المكافئة للتيار الثابت. كما ان R_p نحس من القيم v_p و I_p اللتان تعينان بيانيا اي من ميل المستقيم الذي يصل نقطة البدا (0) بنقطة السَّغْل



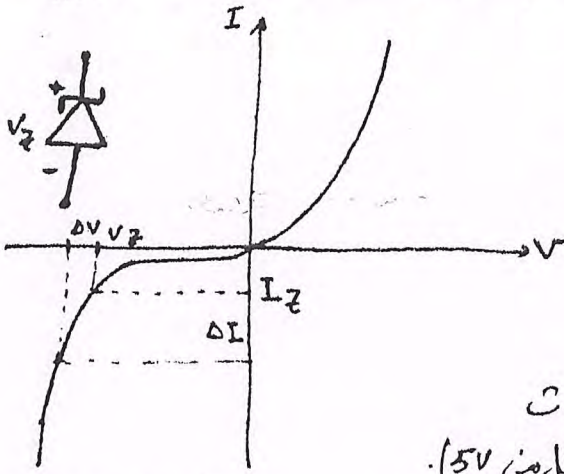
- الدائرة المركبة المكافئة باعتبار المركبة المتغيرة فقط موضحة بالشكل (13-39) وهذه الدارة هي المستخدمة غالبا في الدوائر الإلكترونية حيث يهنا فقط تلك المسائل التي تسهل فيها اشارات مترددة وهي احيانا تسمى الدارة المكافئة للتيار المتناوب.

ملاحظة:

قيمة المقاومته r_p توجد بيانيا وذلك برسم خط مماسي للمعنى المميز عند نقطة السَّغْل، بعد ما نقوم بحساب الميل في مجال واسع من الموضع، التيار.

بعضها عدة أنواع للموصلات منها: موصلي زينر والموصلي النفقي والموصلي الضوئي والموصلات الباعثة للضوء وموصلي الليزر
 1) موصلي زينر المسبب للجهود:

رأينا في الوصل العكسي للموصلات (الوصلات) أن التيار يكون صغيرا ولا يتأثر بالجهود المطبوعه، لكن عند جهد حرج V_c (V_z) نلاحظ أن التيار يتزايد بسرعة كبيرة مع الجهود المطبوعه، هذا الجهد يعرف بجهد انهيار الوصلة كما هو موضح في الشكل (13 - 40).



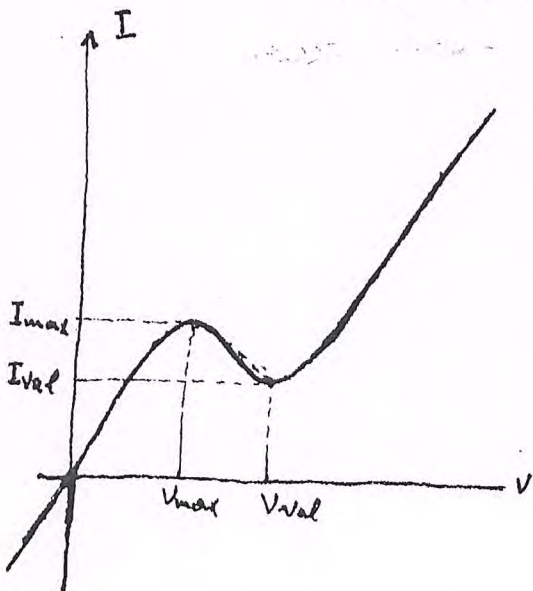
الشكل (13 - 40)

هذا الجهد لا غير هدام لأننا نستطيع ربط مقاومته مع التسلسل مع الموصلي وذلك لضبط التيار بداخله. كما أن انهيار الموصلي يرجع أساسا إلى ظاهرتين مختلفتين تتعلقان بالمعال الكهربائي العرج داخل منطقة شحنات الفضاء.

الظاهرة الأولى تعرف بأثر زينر وتحدث عند جهود استقطاب عكسية ضعيفة (أقل من 5V).
 والظاهرة الثانية تعرف بأثر الإهيار (Avalanche) وتحدث عند جهود استقطاب عكسية مرتفعة من 7V إلى عدة آلاف من الفولت.

نشيرا أن أثر زينر يحدث عند الموصلات المستقطبة عكسيا والمطعمة بجره حيث ينتج معال كهربي في فعال عند منطقة الفضاء $[1.10^{17} \text{ cm}^{-3}]$ (عند $V_c = 6V$)
 فعند V_c يستطيع المعال الكهربائي من تكسير الروابط وتسريع الإلكترونات فوالجهة N مما يساعده في رفع التيار من $N \rightarrow P$.

2) الموصلي النفقي:

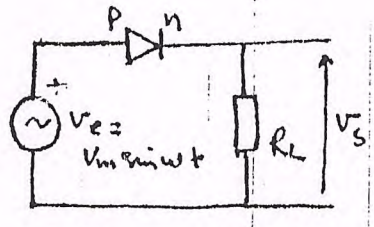


الشكل (13 - 41)

في هذا النوع من الموصلات تكون تركيز الشواحي مرتفع جدا من الجانبين مما يؤدي إلى إكتمال منطقة شحنات الفضاء وبذلك تحدث ظاهرة النفق التي إفتراق الإلكترونات لها جز الجهود، وهذا النوع من الموصلات مهم في الإلكترونيات لأنه لأننا نتحصل مع حضا $I(V)$ مع مقاومته سالبة تستخدم في عمل المضربيات والكبير وتوليد إشارات متناوبة من إشارات ثابتة. وهذا موضح في الشكل (13 - 41)

13 - 10 - 9 : استخدام الموصل في تقويم التيار المتردد:

1) التقويم النصف الموجبي:

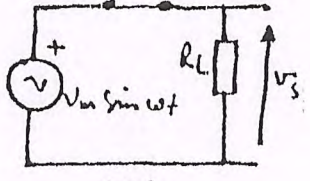


الشكل (13-42)

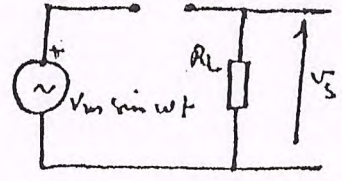
لتنى الدارة الموضحة في الشكل (13-42). وبفرض أن مقاومة المصدر الداخلية صغيرة جداً بالمقارنة بـ R_L وبتطبيقه قانون كيرشوف نجد:

$$\rightarrow v_m \sin \omega t - v_p + i_p R_L = 0 \quad (1)$$

ربما أن المقوم عنصر غير خطي فالمعادلة (1) أيضاً غير خطية وكل بالرسم. ومع ذلك فقد تكون الدارة تكون أن سيعاين عنها بدائياً خطيتين أحدهما عندما يكون الموصل في حالة التوصيل الأمامي والأخرى حالة التوصيل العكسي (الشكل (13-43) 9 و ب).



(أ)

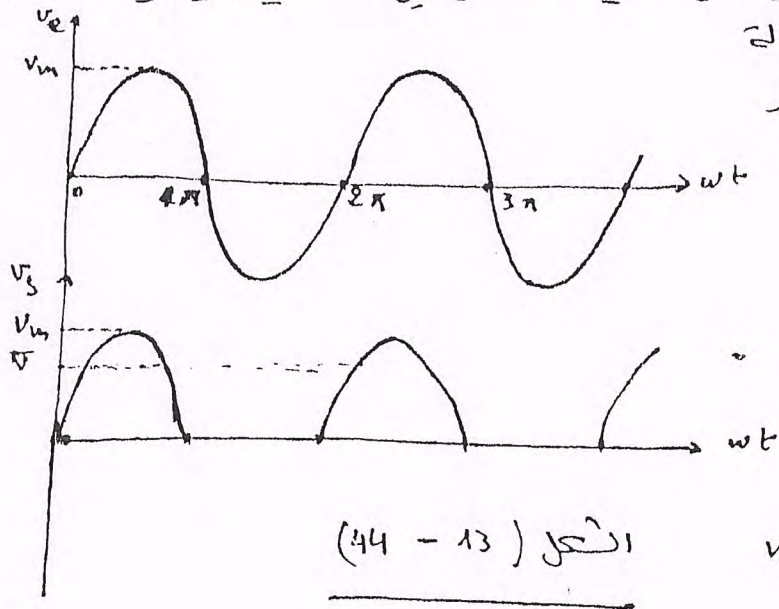


(ب)

الشكل (13-43)

و سنل جهد المخرج موضع أيضاً بالرسم (13-44) وهو سائل جهد الدخل إذا كان الموصل في حالة التوصيل الأمامي حيث لا يكون فعالة مقاومته سوى R_L . وعندما يصبح جهد المصدر سالبا تكون الموصل في حالة التوصيل العكسي ويظهر كما لو كان

مقاومة لأنها لينة (∞) في حالة الموصلات المثالية. وتكون التيار في R_L ياريد صفراً. وتكون قيمة الجهد الثابت المحتواة داخل جهد المخرج أن المتوسطة خلال الزمن الدوري هي:



الشكل (13-44)

$$V_{avg} = \bar{V} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} v_s dt$$

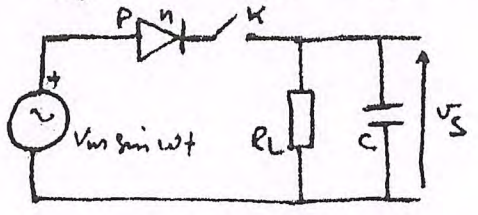
$$V_{avg} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} V_m \sin \omega t dt$$

$$= \frac{V_m}{\pi} \int_0^{\pi/2} \sin \omega t dt$$

$$V_{avg} = \frac{V_m}{\pi} [-\cos \omega t]_0^{\pi/2} = \frac{V_m}{\pi} \Rightarrow \boxed{\bar{V} = \frac{V_m}{\pi}}$$

و باستخدام قليل توريبي. فلهذا أن جهد المخرج هذا الحيوي مع جهد ثابت $\bar{V} = \frac{V_m}{\pi}$ ومجموعة من الموجبات التوافقية.

ولما أن العرف من التوقيت هو الوصول على جهد ثابت فإننا نستخدم مكثف عال القيمة ليحل محل ثبات الجهد الخارج في نصف الدورة التي لا يمر فيها التيار وذلك عن طريق تفريغ سعة المكثف والدارة المستخدمة هي كما موضحة في الشكل (13-45)



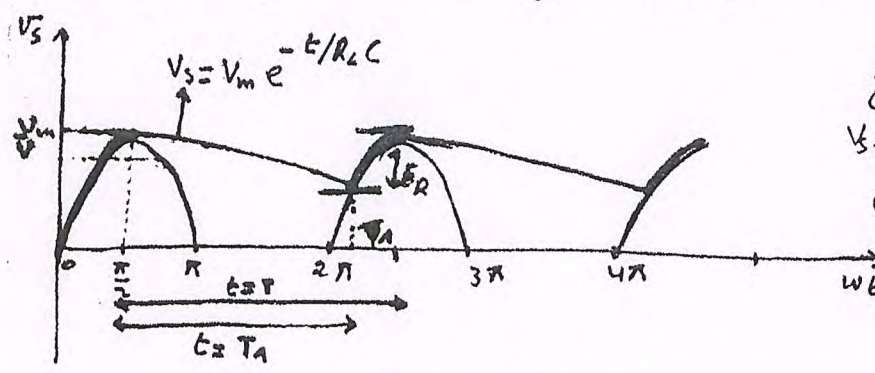
الشكل (13-45)

حيث يغلغ المفتاح K عند $t=0$ ويصبح الموصل في حالة التوصيل الأمامي وباعتبار أن الموصل مثالياً فيكون جهد المكثف تقريباً مساوياً لجهد المصدر.

- عند $t = \frac{\pi}{\omega}$ يكون جهد المكثف v_c

$$v_c = v_s = v_m$$

- وبزيادة ωt بعد $\frac{\pi}{2}$ يبدأ جهد المصدر في النقصان عن جهد المكثف وعندئذ يبدأ المكثف في تفريغ سعته. ويوضح الشكل (13-46) الشكل النهائي لجهد المخرج v_s .



الشكل (13-46)

وما سبق نعرف أن عملية تفريغ المكثف توصف بالعلاقة $v_c = v_m e^{-t/R_L C}$ وتستمر عملية التفريغ إلى أن يصل جهد المكثف إلى v_1 عند الزمن T_1 إن T_1 وباعتبار $T_2 = T_1$

$$v_1 = v_m e^{-T_1/\tau} \quad | \quad t = T_1$$

وتما يوضح الشكل أن جهد المخرج أصبح له قيمة متوسطة \bar{v} ولكن ما يزال هناك تماوج لمركبة مترددة حول هذه القيمة المتوسطة ونسى جهد التآرجح أو التماوج E_R . وقيمة هذا الجهد المتماوج عند $t = T_1$ هي

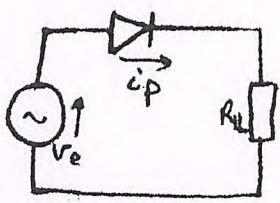
$$E_R = v_m - v_1 = v_m - v_m e^{-T_1/\tau} = v_m \left(1 - e^{-T_1/\tau} \right) = \frac{v_m T_1}{\tau}$$

$$\Rightarrow \boxed{E_R = v_m T_1 / \tau}$$

ومن يكون التوقيت السقف الموجي جيداً يجب أن يكون له معامل تآرجح صغير ويعرف بمعامل التآرجح:

$$\boxed{F_R = \frac{E_R}{v_m} = T_1 / \tau}$$

- التيار والقدرة الخارجة من المقوم النصف الموجي:



الشكل (13-47)

بتطبيق قانوني كيرسوف على الدارة الموضحة في الشكل نجد:

$$v_e = i_p (r_p + R_L)$$

وإذا كان الجهد المطبق جيداً

$$v_m \sin \omega t = i_p (r_p + R_L)$$

وعندما تكون $0 < \omega t < \pi$ ونعوض في الموجة الأولى

$$\Rightarrow i_p = v_m / (r_p + R_L)$$

وفي نصف الموجة الثاني $\pi < \omega t < 2\pi$ فإن $i_p = 0$

لو فرضنا أننا وصلنا جهازاً مبدئي أسمى في دائرة المقوم النصف الموجي فيستقر الجهدان القيمة المتوسطة للتيار ونرى كما أثبتنا $\frac{1}{\pi}$ من القيمة العظمى مع الرغم من التآرجح المسموح للتيار الخارج.

$$i_{pm} = \frac{V_m}{r_p + R_L}$$

و يمكن كتابتها بالقيمة العظمى للتيار i_{pm} والقيمة المتوسطة:

$$I_{dc} = V_m / (r_p + R_L) \pi$$

وتكون قدرة (المتطاعة) التيار المستمر في مقاومة الحمل:

$$P_{dc} = (I_{dc})^2 R_L \Rightarrow P_{dc} = \frac{V_m^2 R_L}{(r_p + R_L)^2 \pi^2}$$

والآن يمكننا كتابة القيمة الفعالة للتيار الجيبى:

$$I_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2} (r_p + R_L)}$$

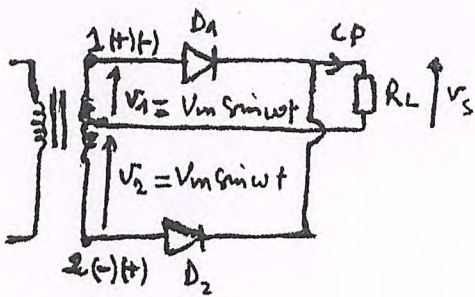
وتكون قدرة التيار المتردد في الدارة هي:

$$P_{ac} = \frac{V_m^2}{2 (r_p + R_L)^2} \times (r_p + R_L) \Rightarrow P_{ac} = \frac{V_m^2}{2 (r_p + R_L)}$$

وتعرف كفاءة تحويل القدرة أو كفاءة التحويل:

$$\epsilon_R = \frac{P_{dc}}{P_{ac}} = \frac{R_L}{r_p + R_L} \cdot \frac{2}{\pi^2}$$

② التحويل الموجي الكامل:



فصل مع دائرة التحويل الموجي الكامل باستخدام مودين D_1 و D_2 ويتضح من الشكل أنه يعمل في اللحظة التي يتوقف فيها D_1 عن العمل، حيث يعطي المقومان موجة كاملة بنصفها

الشكل (13 - 48)

الموجبين. وتخرج غلبة التحويل الموجي الكامل كما الآتي:

باعتقاد معول كما الموضع بالرسم فيه الملف الثانوي له

قطعة فول في منتصفه أي أن v_1 و v_2 لهما نفس القيم ولكن هناك فرق في الطور بينهما بزاوية 180° بحيث تكون نقطة التعويل 0. فإذا أخذنا نصف الموجة الموجب التي تكون فيها القطبية مع طرفي الملف الثانوي هي (+) مع الطرف العلوي و (-) مع الطرف السفلي ففي هذه اللحظة يتوصل D_1 بتوصيل التيار مما يسبب مروره خلال مقاومته الحمل R_L بالإتجاه الموضع، ومرور هذا التيار يعني إيجاب من جهة مع R_L مساو ويجهد النصف الأول للموجة. أما D_2 فتكون متوقف لأنه في حالة التوصيل العكسي.

وفي النصف الثاني للموجة تكون قطبية الملف الثانوي كما يوضح الرسم عندئذ تكون D_2 في حالة توصيل عكسي ولذلك يتوقف عن العمل ويبدأ D_3 في العمل لأنه في حالة التوصيل الأمامي ولذلك يكون D_2 هو المسؤول عن توصيل النصف الثاني للموجة بإتجاه التيار ويعطى نفس الإتجاه في حالة التوصيل D_1 له.

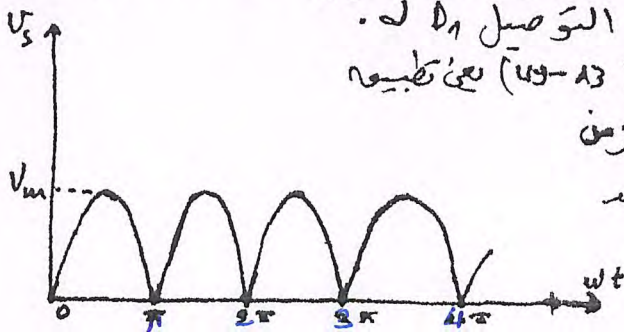
إذا التحويل الموجي الكامل الموضع في الشكل (13 - 48) يعنى تطبيقه

نصف موجة الجهد مع الحمل في مقاومة الحمل خلال زمن

دوري كامل $(T = 2\pi)$ في هذه الحالة الجهد

المستمر الخارج يكون مصحوب بترسبات

متناوبة أو متماوجة.

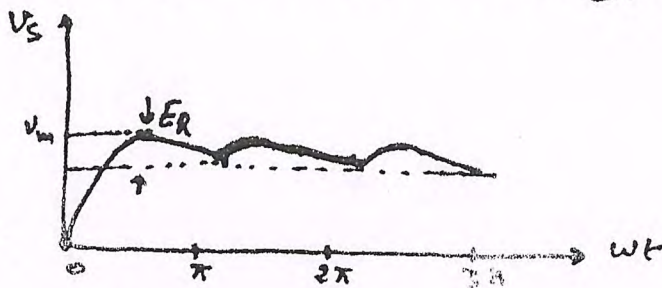
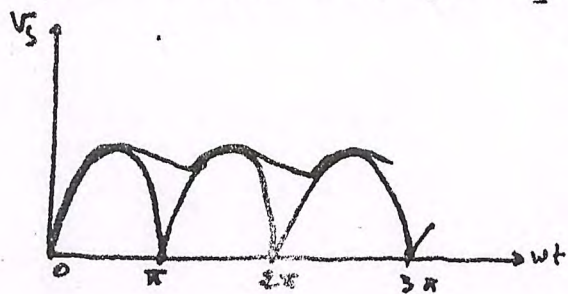


أما القيمة المتوسطة أو الجهد الثابت لهذا المعرج فهي كما يلي:

$$V_{avg} = \bar{V} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} V_m \sin \theta d\theta = \frac{1}{2\pi} \times V_m \int_0^{\pi/2} \sin \theta d\theta = \frac{2V_m}{\pi} \cos \theta \Big|_0^{\pi/2}$$

$$\Rightarrow \boxed{\bar{V} = \frac{2V_m}{\pi}}$$

ويليه من أنه ضعف الجهد في حالة التقويم المصنف الموجب. ولتثبيت هذا الجهد أكثر نستخدم مكثف أيضاً ولكن C فيقوم بنفس الوظيفة في الحالة السابقة أي بالتقريب كلما أفضى الجهد عند القيمة العظمى التي تناظر القبة العظمى للثغرة عليه.



الشكل (13 - 44)

وفي هذه الحالة تكون:

$$E_R = V_m - V_m e^{-t/\tau} \Big|_{t=0}^{t=T/2} = V_m (1 - e^{-T/2\tau})$$

حيث: $\frac{T}{2} \gg \tau$

$$\Rightarrow \boxed{E_R = V_m T / 2\tau}$$

وهي ثابتة ونصف القيمة بالنسبة للحالة السابقة - التيار والقدرة الخارجة من دائرة التقويم الموجب الكامل:

في هذه الحالة وبالتالي الخطوات الموجودة في الفقرة السابقة تكون:

$$I_{dc} = \frac{I_{pm}}{\pi} \cdot 2$$

حيث I_{pm} القيمة العظمى للتيار أما قدرة التيار المستخرج:

$$P_{dc} = (I_{dc})^2 \cdot R_L$$

$$\Rightarrow \boxed{P_{dc} = \frac{4}{\pi^2} I_{pm}^2 R_L}$$

القيمة الفعالة للتيار المصدر هي:

$$I_{eff} = I_{pm} / \sqrt{2}$$

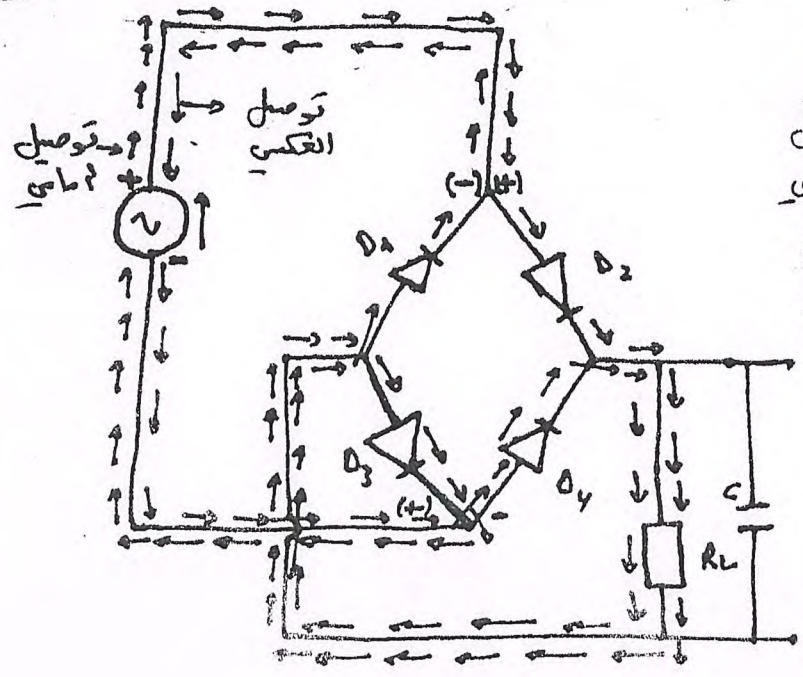
ومن تكون قدرة التيار المتردد هي:

$$\boxed{P_{ac} = \left(\frac{I_{pm}}{\sqrt{2}} \right)^2 (r_p + R_L) \cdot 2}$$

ومنه تكون كفاءة التقويم الموجب الكامل هي:

$$\boxed{\eta_R = \frac{P_{dc}}{P_{ac}} = \frac{4}{\pi^2} (R_L / (R_L + r_p))}$$

وهي ضعف الكفاءة في حالة التقويم المصنف الموجب.



الشكل (١٣ - ١٥)

لقد استعمل المعول ذو مركز التحويل مع المقوم الموجب الكامل وهو أمر ضروري إلا أنه يمكن الاستغناء عن هذا النوع من المعولات في دائرة المقوم الجسري والتي فتوى على أربعة موصلات سما بالشكل.

تطبيع الجهد E_a على ركنين متقابلين بينما يؤخذ جهد الخرج على طرفي الدائرة الأخرى ثم إلى طرفي مقاومة الحمل حيث حصل على جهد الخرج. إن المقوم الجسري هو مقوم موجبي كامل وذلك لعدم صفى موجبة الإشارة

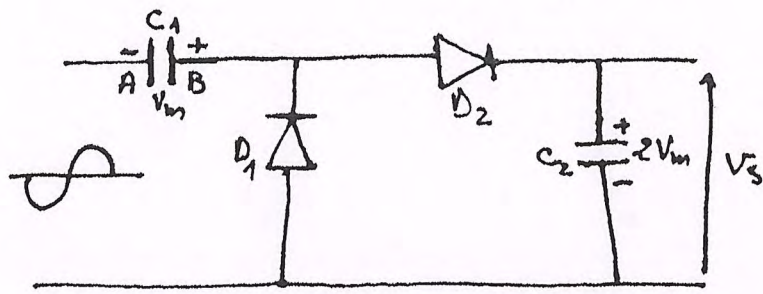
الداخلية خلال موصلي متقابلين حيث يعمل نظاما ممان في كل نصف دورة. لنفرض أنه في لحظة معينة تمان الطرف a لأعلى موجبا لذلك يجري التيار خلال تطبيع النصف الأول للجهد الأول المتردد مع دائرة التوالي المتكونة من المقومين D_1 و D_2 ومقاومة الحمل، وإقباة التيار موضع بالأسهم المنطلقة من الإشارة (+) للمصدر، وتلا ذلك أنه في هذه الحالة الموصلين ④ و ⑤ لا يمان في توصيل التيار نظر لكونهما في حالة توصيل عكسي. وعند تطبيع النصف الثاني لجهد المصدر المتردد يصبح الموصدان ④ و ⑤ في حالة توصيل أمامي بينما ③ و ⑥ في حالة توصيل عكسي وإقباة التيار موضع بالاسهم الداخل للإشارة (+) من مصدر الجهد.

نتخلص أن للمقوم الجسري فائدة وهي أن الجهد الخارج المستمر يكون ناتج عن تطبيع الجهد المتردد من ثانوي المعول على المقومات بحيث كل نصف من الموجة الخارجة ناتج عن توصيل مقومين في نفس الوقت. أما الصعوبة الوحيدة لدائرة المقوم الجسري هو حاجتنا إلى أربع مقومات (موصلات).

17-40-5: استخدام الموحد في مضاعفة الجهد:

تستخدم خاصية التقويم للموحد في تكوين دوائر خاصة، بحيث تكون جهد التيار المستمر عبارة عن مضاعفات للقيمة العظمى V_m .

في الدارة للوضحة في الشكل (43 - 46). أثناء الدورة السالبة



الشكل (43 - 46)

تنحاز D_1 إلى الأمام و D_2 إلى الخلف . ومعنى هذا أن الوصلة D_1 تسمح بمرور التيار بحيث يعنى المكثف C_1 وتكون الطرف B_{C1} موجب بينما A_{C1} سالب وتكون فرق الجهد بين طرفي المكثف مساوياً إلى V_m أو أثناء النصف الثاني الموجب تنحاز الوصلة D_1 للخلف وتبدو مفتوحة بينما D_2 تنحاز إلى الأمام وتبدو مغلقة وتعرض الدارة لفرق جهد هو مجموع فرق جهد موجبة الدخول (V_m) و فرق الجهد بين طرفي المكثفة C_1 ، وبذلك تكون فرق الجهد بين طرفي C_2 هو $2V_m$ وبالقطبية الموضحة في الشكل .

وبنفس الطريقة يمكن تصميم الصخرة باستخدام عدد أكبر من الموحدات والمكثفات لمضاعفة أكبر للجهد .