

## دوائر كهربائية – ٢

### دوائر التيار المتردد ثلاثي الأطوار

**الجدارة:** معرفة الخطوات المستعملة لتحليل دوائر التيار المتردد البسيطة.

**الأهداف:**

- بعد دراسة هذه الوحدة يكون المتدرب قادراً على:
- الإلمام بكيفية توليد الجهود ثلاثية الأوجه.
- الإلمام بالعلاقة بين قيم الخط وقيم الوجه للتيار والجهود في حالتي التوصيل نجمة ودلتا.
- الإلمام بكيفية حساب القدرة في الأحمال ثلاثية الأوجه.
- الإلمام بكيفية استخدام جهاز واطميتر لقياس القدرة في الأحمال ثلاثية الأوجه.

**مستوى الأداء المطلوب:** أن يصل المتدرب إلى إتقان هذه الوحدة بنسبة ٩٠٪.

**الوقت المتوقع للتدريب:** 22 ساعة.

## دوائر التيار المتردد ثلاثي الأطوار

### الفصل الأول : وصف نظام التيار المتردد ثلاثي الأطوار وتحليل دوائره

#### ٢- ١ وصف للنظام

التيار المتردد الذي درسناه إلى الآن يعرف بالتيار أحادي الطور (أو أحادي الوجه). ويتكون النظام المتعدد الأطوار من جهدين متساويين أو أكثر بينهما زوايا طور ثابتة. في النظام ذي الطور الثلاثي هناك جهدان متساويان يختلفان في الطور بزاوية مقدارها ٩٠ درجة، بينما في النظام ذي الأطوار الثلاثة " ثلاثي الأوجه " يوجد ثلاثة جهود متساوية في المقدار وزاوية فرق الطور بين كل جهدين 120°، أيضاً هناك أنظمة ذات أطوار متعددة تبلغ ستة أطوار أو أكثر وهذه الأنظمة غالباً ما تستخدم في أجهزة تقويم التيار وذلك للحصول على جهد قليل التشوه .

في الواقع معظم المولدات المستعملة في الشبكات تنتج التيار المتردد ثلاثي الأطوار (أو ثلاثي الأوجه)، وهو عبارة عن نظام ذي ثلاثة جهود ( أو تيارات ) مرتبطة ببعضها البعض. ومن بين أسباب تفضيل هذا النظام كونه يسبب مفاويز نحاس في خطوط النقل أقل من النظام أحادي الوجه وذلك لنفس القدرة المنقولة. ويكون النظام متماثلاً أو ( متزنًا ) عندما تتساوى فيه القيم الفعالة للجهود (والتيارات) الثلاثة وتتقدم زاوية جهد (وتيار) الطور الأول عن زاوية الثاني بـ 120° كما تتقدم هذه الأخيرة عن زاوية الثالث بنفس الزاوية 120°. والنظام المتماثل يؤدي إلى تشغيل مكونات الشبكة وأحمالها الثلاثية الأطوار بطريقة أحسن، ولهذا يتم تصميم الشبكات بحيث تكون في حالة قريبة من النظام المتماثل.

#### ٢- ٢ توليد الجهود ثلاثية الأطوار

يحتوي المولد ثلاثي الأوجه على ثلاث ملفات مثبتة على العضو الدوار بحيث يكون بين كل ملف و الآخر زاوية مقدارها ١٢٠ درجة كما هو موضح في الشكل ٢- ١. وهذه الملفات الثلاثة تدور في مجال مغناطيسي ثابت كما أنه يمكن أن تكون موصلة على شكل نجمة أو دلتا حسب الحاجة . و بما أن الملفات الثلاثة تحتوي على نفس عدد اللفات وتدور بنفس السرعة الزاوية فإن الجهود الناتجة عن طريق

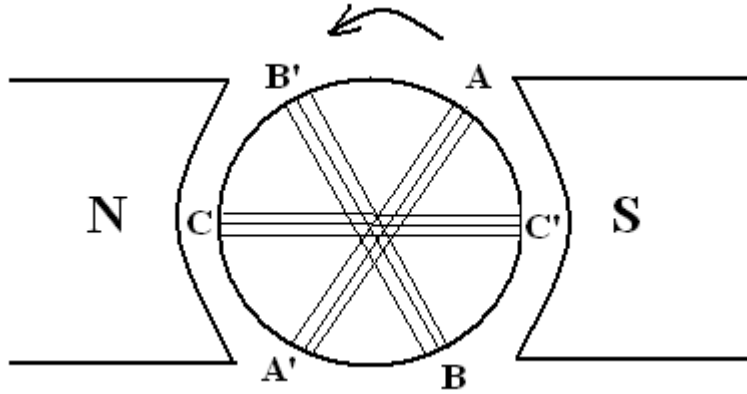
الحث المغناطيسي (حسب قانون فاراداي) لها نفس التردد ونفس القيمة العظمى، وتختلف زوايا أطوارها بـ 120°. وتعطى هذه الجهود بالمعادلات

$$v_{AA'} = V\sqrt{2} \sin \omega t$$

$$v_{BB'} = V\sqrt{2} \sin (\omega t - 120^\circ)$$

2-1

$$v_{CC'} = V\sqrt{2} \sin (\omega t - 240^\circ)$$



الشكل ٢ - ١

حيث A و A' يمثلان طرفي الملف الأول (نفس الشيء بالنسبة لـ B و B' و C و C')، و V هي القيمة الفعالة للجهود والتي تتساوى في الملفات الثلاثة.

## ٢ - ٣ تمثيل الجهود وتتابعها

يبين الشكل ٢ - ٢ موجات الجهود، ثلاثية الأطوار المستحثة أما الشكل ٢ - ٣ فيبين الجهود المطاورة والتي تعطى بالمعادلات

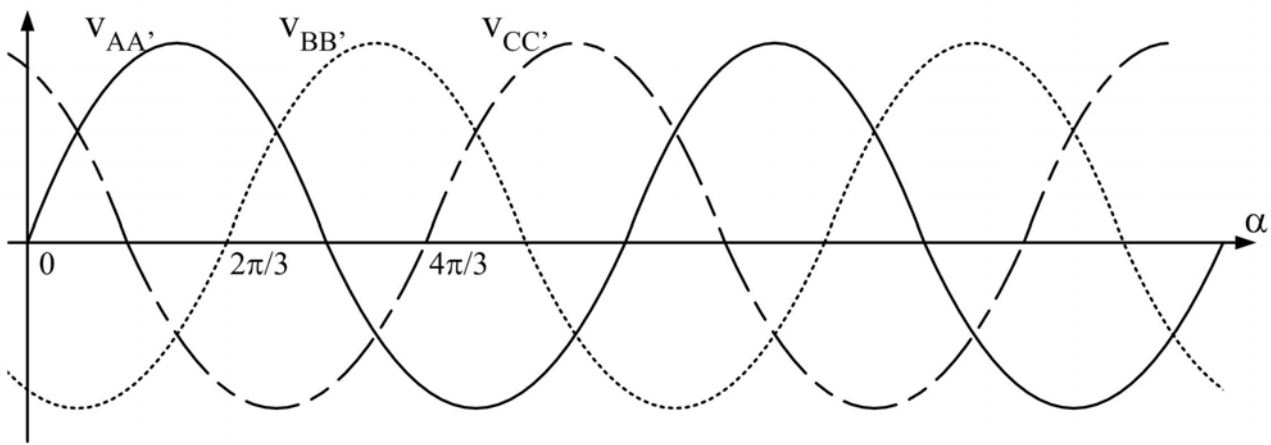
$$V_{AA'} = V \angle 0^\circ$$

$$V_{BB'} = V \angle -120^\circ$$

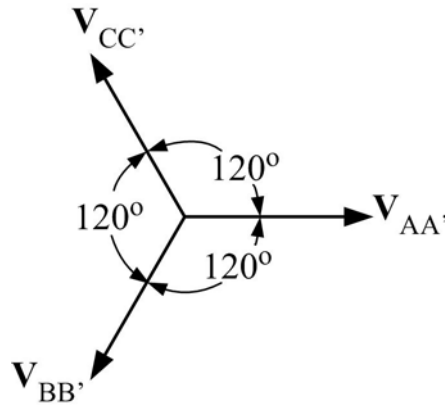
2-2

$$V_{CC'} = V \angle -240^\circ = V \angle 120^\circ$$

والأحمال المغذاة من طرف المولدات ثلاثية الأطوار تحتوي على ثلاثة فروع وتكون متزنة إذا تساوت معاوقات فروعها الثلاثة.



الشكل ٢-٢ : موجات جهود نظام ثلاثي الأطوار



الشكل ٢-٣ : الجهود المطاورة لنظام ثلاثي الأطوار

وكما هو ملاحظ فإن الجهود تتابع (A ثم B ثم C) وذلك لأن الجهد في الملف AA' يمر بقيمته العظمى قبل الملف BB' والجهد في هذا الأخير يمر بقيمته العظمى قبل الملف CC'، ونستطيع تغيير

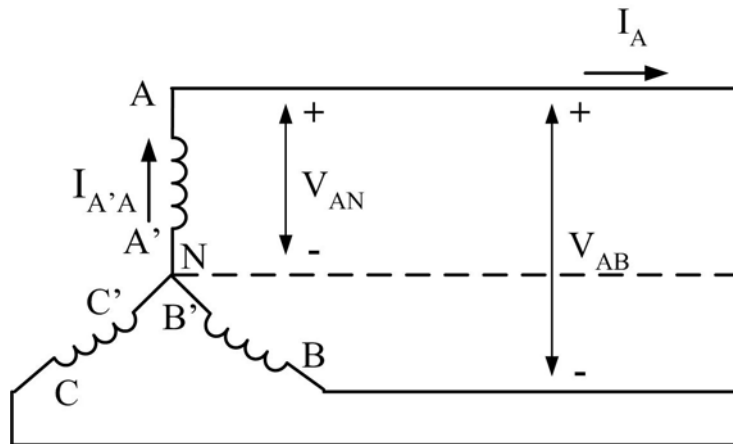
تتابع الجهود بتغيير اتجاه دوران العضو الدوار. وكما هو معلوم فإن معرفة تتابع الجهود له أهمية قصوى في حالة ربط المولدات مع شبكة النقل والتوزيع.

## ٢- ٤ التوصيل علي شكل نجمة ودلتا والعلاقة بين قيم الخط و قيم الوجه للتيار والجهود

هناك طريقتان لتوصيل أطراف ملفات المولدات ببعضها البعض: توصيلة النجمة وتوصيلة الدلتا. وكلتا التوصيلتين تستعمل كذلك لربط الأحمال ثلاثية الأطوار. وفيما يلي ندرس تفاصيل التوصيلتين في حالة الاتزان.

### مولد موصول بتوصيلة النجمة

في هذا النوع من التوصيلة نربط أطراف ملفات المولد  $A'$  و  $B'$  و  $C'$  مع بعضها البعض، وتسمى النقطة الناتجة بالطرف المحايد أو المتعادل ويرمز لها بالرمز  $N$  (الشكل ٢- ٤)، أما الأطراف  $A$  و  $B$  و  $C$  فإنها توصل بالأحمال بموصلات تسمى الخطوط. ونسمي الجهد بين أي خط من الخطوط الثلاثة والحياضي بجهد الطور (مثلاً الجهد  $V_{AN}$  بين الطور  $A$  والحياضي والذي يساوي  $V_{AA'}$  المعطى في المعادلة 2-54)، أما الجهد بين أي خطين فيعرف بجهد الخط (مثلاً الجهد  $V_{AB}$  بين الطرف  $A$  والطرف  $B$ ). ويسمى التيار المار في أحد ملفات المولد (مثلاً  $I_{A'A}$  المار في الملف  $AA'$ ) تيار الطور، كما يعرف التيار المار في أحد الخطوط (مثلاً  $I_A$  المار في الخط الخارج من الطرف  $A$ ) بتيار الخط. وهذه الجهود والتيارات مبينة في الشكل ٢- ٤، حيث لم نبين كل التيارات والجهود وذلك لتوضيح الشكل.



الشكل ٢- ٤ : توصيلة النجمة في المولدات

وكما نرى فإن تيارات الأطوار تتساوى مع تيارات الخطوط، أما العلاقة بين جهود الأطوار وجهود الخطوط فنستنتجها كما يلي:

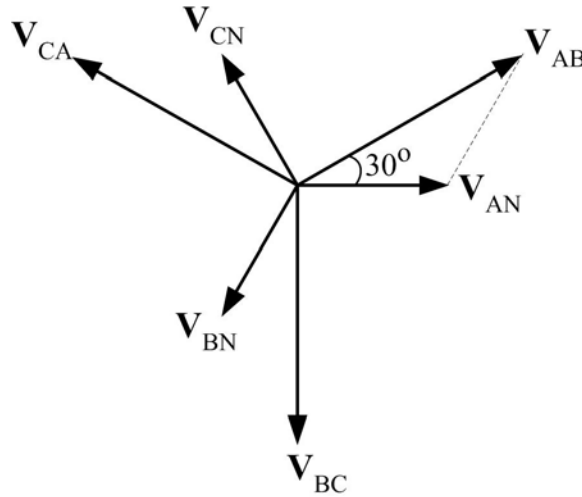
باستعمال المعادلات ٢-٢ نجد جهد الخط  $V_{AB}$

$$\begin{aligned} V_{AB} &= V_{AN} - V_{BN} \\ &= V \angle 0^\circ - V \angle -120^\circ \\ &= V\sqrt{3} \angle 30^\circ \end{aligned} \quad 2-3$$

وكما نلاحظ فإن القيمة الفعالة لجهد الخط  $V_L$  في توصيلة النجمة تساوي  $\sqrt{3}$  مرة القيمة الفعالة لجهد الطور، أي

$$V_L = V\sqrt{3} \quad 2-4$$

ويبين الشكل ٢-٥ الشكل المطاور لجهود الأطوار والخطوط، ونلاحظ أن زاوية أي من جهود الخط تختلف عن زاوية أي من جهود الطور. كما نلاحظ أن مجموع جهود الخط يساوي الصفر وكذلك مجموع جهود الطور.



الشكل ٢-٥ : الشكل المطاور لجهود الأطوار والخطوط

مولد موصول بتوصيلة الدلتا

كما هو موضح في الشكل ٢-٦ ، عند ربط أطراف ملفات المولد A مع C' و B مع A' و C مع B' ، وربط الخطوط الخارجة بالأطراف A و B و C ، نحصل على توصيلة الدلتا. وعلى العكس من توصيلة النجمة ، فإنه في هذا النوع من التوصيلة لا يوجد طرف محايد كما أنه يتساوى جهد الطور مع جهد الخط.

ولإيجاد العلاقة بين تيارات الأطوار وتيارات الخطوط نفترض ما يلي:

$$I_{AB} = I \angle 0^\circ$$

$$I_{BC} = I \angle -120^\circ$$

$$I_{CA} = I \angle -240^\circ = I \angle 120^\circ$$

2-5

حيث I هي القيمة الفعالة لتيار الطور. وباستعمال قانون كيرشوف نحصل على المعادلة

$$I_B = I_{AB} - I_{BC}$$

$$= I \angle 0^\circ - I \angle -120^\circ$$

2-6

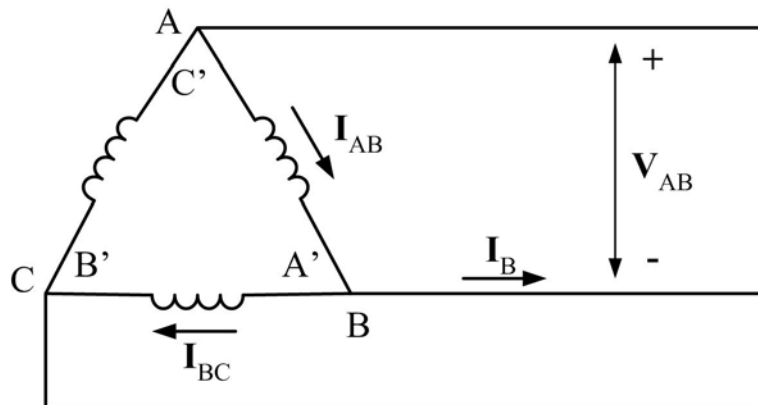
$$= I\sqrt{3} \angle 30^\circ$$

وكما نلاحظ فإن القيمة الفعالة لتيار الخط  $I_L$  تساوي  $\sqrt{3}$  مرة القيمة الفعالة لتيار الطور، أي

$$I_L = I\sqrt{3}$$

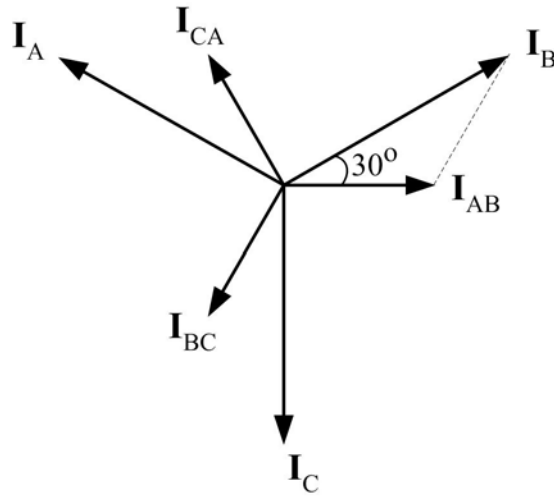
2-7

وبين الشكل ٢-٧ الشكل المطاور لتيارات الأطوار والخطوط، وهنا كذلك نلاحظ أن زاوية أي من تيارات الخط تختلف عن زاوية أي من تيارات الطور. كما نلاحظ أن مجموع تيارات الخط يساوي الصفر وكذلك مجموع تيارات الطور.



الشكل ٢-٦ : توصيلة الدلتا في المولدات





الشكل ٢- ٧ : الشكل المطاور لتيارات الأطوار والخطوط

### توصيلات الأحمال

نستطيع توصيل العناصر الثلاثة الممثلة للحمل على هيئة النجمة أو الدلتا. ولتحقيق الاتزان يجب أن تكون معاوقات الفروع الثلاثة متساوية. وفي توصيلة النجمة فإن التيار المار في الحيادي يكون معدوماً في حالة الاتزان لأنه يساوي مجموع تيارات الخطوط، وهذه التيارات متساوية في القيمة الفعالة وتختلف زوايا أطوارها ب120°، أي

$$I_N = I_A + I_B + I_C = 0 \quad 2-8$$

وبذلك يمكن إزالة الموصل الحيادي دون أي تأثير على النظام، وستؤدي هذه الإزالة إلى كوابلات تحتوي على ثلاثة أسلاك عوضاً عن أربعة. وفي الواقع فإن كثيراً من الأحمال ليست متزنة وتبقى الحاجة إلى الموصل الحيادي قائمة.

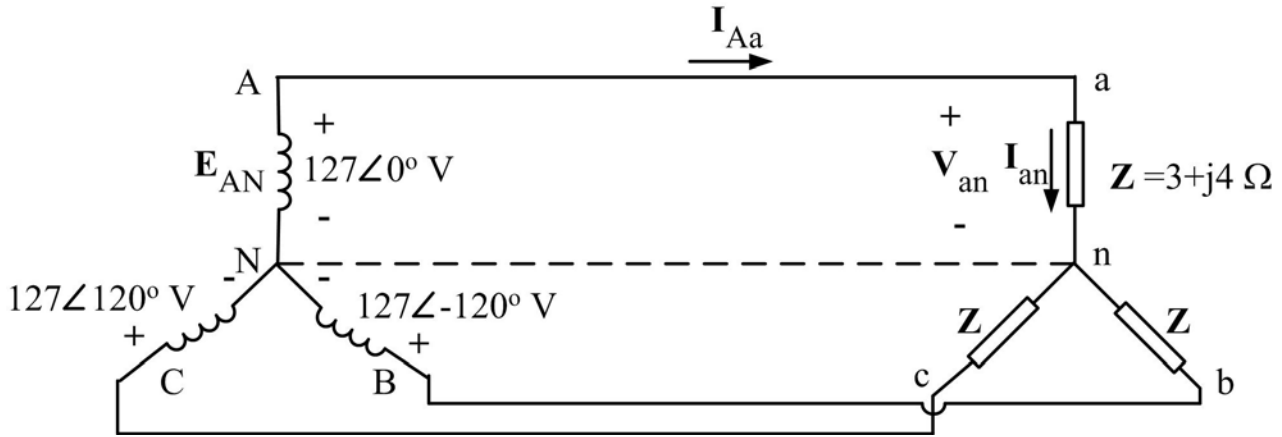
مثال ٢- ١ - ١: يغذي مولد حمل حيث أن كلاً من المولد والحمل ثلاثي الأطوار موصول بتوصيلة نجمة كما هو موضح في الشكل ٢- ٨. احسب القيمة الفعالة لجهد الخط وتيارات الخطوط المطاورة، وبين أن التيار الحيادي معدوم.

الحل :

$$V_L = \sqrt{3} V = \sqrt{3} \times 127 = 220 V$$

القيمة الفعالة لجهد الخط :

تيارات الأطوار :



الشكل ٢ - ٨

$$I_{an} = \frac{V_{an}}{Z} = \frac{E_{AN}}{Z} = \frac{127 \angle 0^\circ}{3 + j4} = \frac{127 \angle 0^\circ}{5 \angle 53.1^\circ} = 25.4 \angle -53.1^\circ \text{ A}$$

$$I_{bn} = \frac{V_{bn}}{Z} = \frac{E_{BN}}{Z} = \frac{127 \angle -120^\circ}{5 \angle 53.1^\circ} = 25.4 \angle -173.1^\circ \text{ A}$$

$$I_{cn} = \frac{V_{cn}}{Z} = \frac{E_{CN}}{Z} = \frac{127 \angle 120^\circ}{5 \angle 53.1^\circ} = 25.4 \angle 66.9^\circ \text{ A}$$

وبما أن التوصيلة نجمة فإن تيارات الخط تساوي تيارات الطور:

$$I_{Aa} = I_{an} = 25.4 \angle -53.1^\circ \text{ A}$$

$$I_{Bb} = I_{bn} = 25.4 \angle -173.1^\circ \text{ A}$$

$$I_{Cc} = I_{cn} = 25.4 \angle 66.9^\circ \text{ A}$$

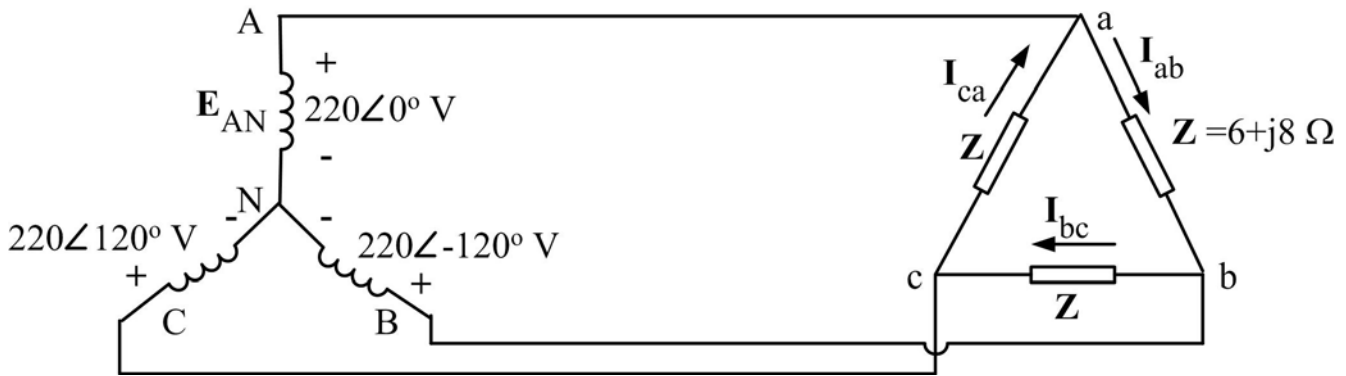
التيار في الحيادي:

$$\begin{aligned} I_N &= I_{Aa} + I_{Bb} + I_{Cc} \\ &= 25.4 \angle -53.1^\circ + 25.4 \angle -173.1^\circ + 25.4 \angle 66.9^\circ \\ &= (15.25 - j20.31) + (-25.22 - j3.05) + (9.97 + j23.36) = 0 \end{aligned}$$

وهذا طبيعي لأن الحمل متزن.

مثال ٢ - ١ - ٢: وصل حمل ثلاثي الأطوار توصيلة دلتا بمولد ذي توصيلة نجمة كما هو مبين في الشكل

٢ - ٩. احسب تيار كل طور من الحمل وكذلك القيمة الفعالة لتيار الخط.



الشكل ٢ - ٩

الحل :

تيارات الاطوار :

$$\begin{aligned} I_{ab} &= \frac{V_{ab}}{Z} = \frac{V_{AB}}{Z} = \frac{V_{AN} - V_{BN}}{Z} \\ &= \frac{220 \angle 0^\circ - 220 \angle -120^\circ}{6 + j8} = \frac{380 \angle 30^\circ}{10 \angle 53.1^\circ} = 38 \angle -23.1^\circ \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{bc} &= \frac{V_{bc}}{Z} = \frac{V_{BC}}{Z} = \frac{V_{BN} - V_{CN}}{Z} \\ &= \frac{220 \angle -120^\circ - 220 \angle 120^\circ}{6 + j8} = \frac{380 \angle -90^\circ}{10 \angle 53.1^\circ} = 38 \angle -143.1^\circ \text{ A} \end{aligned}$$

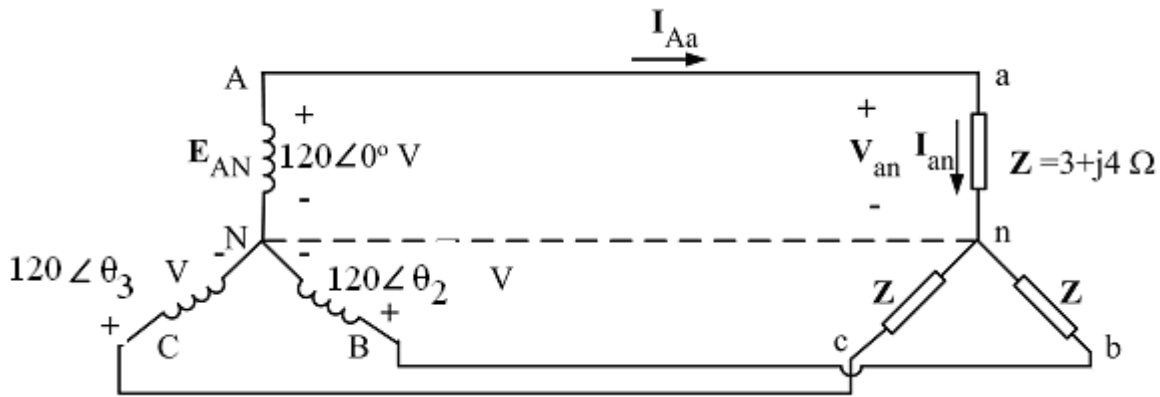
$$\begin{aligned} I_{ca} &= \frac{V_{ca}}{Z} = \frac{V_{CA}}{Z} = \frac{V_{CN} - V_{AN}}{Z} \\ &= \frac{220 \angle 120^\circ - 220 \angle 0^\circ}{6 + j8} = \frac{380 \angle 150^\circ}{10 \angle 53.1^\circ} = 38 \angle 96.9^\circ \text{ A} \end{aligned}$$

$$I_L = \sqrt{3} I = \sqrt{3} \times 38 = 65.8 \text{ A}$$

القيمة الفعالة لتيار الخط :

مثال ٢- ١- ٣: تتابع الأطوار للمولد الموصل على شكل نجمة في الشكل ٢- ١٠ هو ABC والمطلوب ما يلي:

- أوجد زوايا الطور  $\theta_2, \theta_3$
- أوجد مقدار جهود الخطوط
- أوجد تيارات الخطوط
- أثبت أنه عندما تكون الأحمال متزنة فإن التيار الحيادي معدوم



شكل ٢- ١٠

الحل :

بما أن تتابع الأطوار هو ABC فإن

$$\theta_2 = -120^\circ \quad \theta_2 = -240^\circ = 120^\circ$$

القيمة الفعالة لجهود الخطوط

$$V_{AB} = V_{BC} = V_{CA} = \sqrt{3} \times 120 = 208 \text{ V}$$

تيارات الخطوط

$$I_{Aa} = I_{an} = \frac{V_{an}}{Z} = \frac{120 \angle 0^\circ}{3 + j4} = \frac{120 \angle 0^\circ}{5 \angle 53.1^\circ} = 24 \angle -53.1^\circ \text{ A} = 14.4 - j19.2 \text{ A}$$

$$I_{Bb} = I_{bn} = \frac{V_{bn}}{Z} = \frac{120 \angle -120^\circ}{3 + j4} = \frac{120 \angle -120^\circ}{5 \angle 53.1^\circ} = 24 \angle -173.1^\circ \text{ A} = -23.8 - j2.9 \text{ A}$$

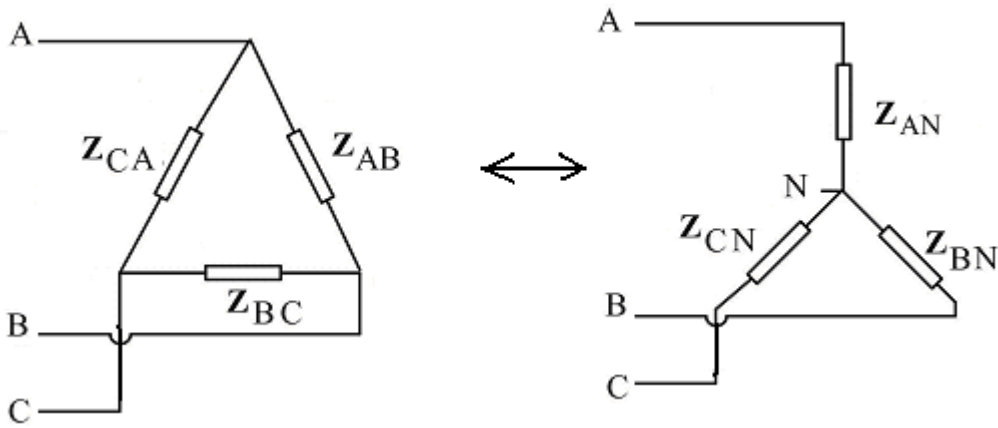
$$I_{Cc} = I_{cn} = \frac{V_{cn}}{Z} = \frac{120 \angle 120^\circ}{3 + j4} = \frac{120 \angle 120^\circ}{5 \angle 53.1^\circ} = 24 \angle 66.9^\circ \text{ A} = 9.4 + j22.1 \text{ A}$$

بتطبيق قانون كيرشوف للتيار

$$I_N = I_{Aa} + I_{Bb} + I_{Cc} = 14.4 - j19.2 - 23.8 - j2.9 + 9.4 + j22.1 = 0$$

٢- ٤ التحول من أحمال موصلة نجمة إلى دلتا والعكس

في كثير من الحالات نحتاج إلى تحويل توصيلة النجمة للأحمال إلى توصيلة دلتا مكافئة والعكس وذلك لتسهيل الحسابات، ويوضح الشكل ٢- ١١ كيفية التحويلين



الشكل ٢- ١١

التحول من توصيلة نجمة إلى توصيلة دلتا مكافئة

في هذه الحالة تكون معاوقات النجمة معلومة ونحاول حساب معاوقات الدلتا المكافئة بدلالة معاوقات النجمة، ونحصل على العلاقات التالية:

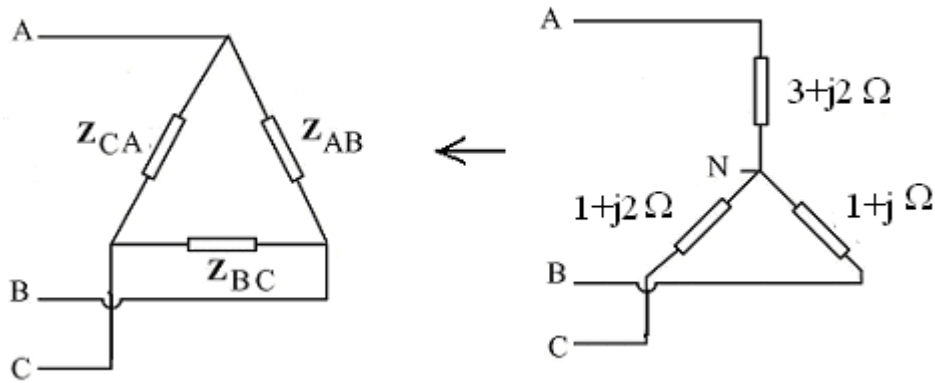
$$Z_{AB} = \frac{Z_{AN}Z_{BN} + Z_{BN}Z_{CN} + Z_{CN}Z_{AN}}{Z_{CN}}$$

2-9

$$Z_{BC} = \frac{Z_{AN}Z_{BN} + Z_{BN}Z_{CN} + Z_{CN}Z_{AN}}{Z_{AN}}$$

$$Z_{CA} = \frac{Z_{AN}Z_{BN} + Z_{BN}Z_{CN} + Z_{CN}Z_{AN}}{Z_{BN}}$$

مثال ٢- ١ - ٤: ارسم دائرة النجمة المكافئة لدائرة الدلتا الموضحة في الشكل ٢- ١٢



شكل ٢ - ١٢

الحل ::

بتطبيق القوانين ٢ - ١٠ نحصل على

$$Z_{AB} = \frac{(3 + j2)(1 + j2) + (1 + j2)(1 + j) + (1 + j)(3 + j2)}{(1 + j2)} = 6.2 + j3.6 \Omega$$

$$Z_{BC} = \frac{(3 + j2)(1 + j2) + (1 + j2)(1 + j) + (1 + j)(3 + j2)}{(3 + j2)} = 2.2 + j3.8 \Omega$$

$$Z_{CA} = \frac{(3 + j2)(1 + j2) + (1 + j2)(1 + j) + (1 + j)(3 + j2)}{(1 + j)} = 7.5 + j8.5 \Omega$$

التحول من توصيلة دلتا إلى توصيلة نجمة مكافئة

أما في هذه الحالة فتكون معاوقات الدلتا معلومة ونحاول حساب معاوقات النجمة المكافئة بدلالة

معاوقات، الدلتا ونحصل على العلاقات التالية:

$$Z_{AN} = \frac{Z_{AB} Z_{CA}}{Z_{AB} + Z_{BC} + Z_{CA}}$$

2-10

$$Z_{BN} = \frac{Z_{AB} Z_{BC}}{Z_{AB} + Z_{BC} + Z_{CA}}$$

$$Z_{CN} = \frac{Z_{BC} Z_{CA}}{Z_{AB} + Z_{BC} + Z_{CA}}$$

وإذا كانت الأحمال متزنة أي

$$Z_{AN} = Z_{BN} = Z_{CN} = Z_Y$$

فستكون

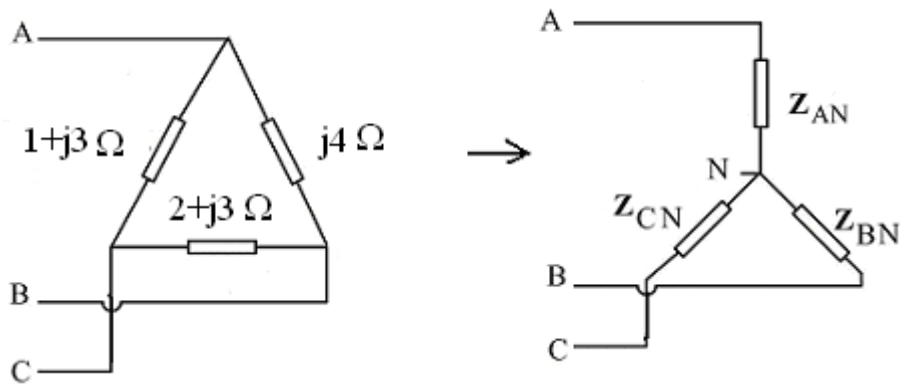
$$Z_{AB} = Z_{BC} = Z_{CA} = Z_{\Delta}$$

مع

$$Z_{\Delta} = \frac{Z_Y}{3}$$

2-11

مثال ٢- ١- ٥: ارسم دائرة الدلتا المكافئة لدائرة النجمة الموضحة في الشكل ٢- ١٣



شكل ٢- ١٣

الحل::

بتطبيق القوانين ٢- ١٠ نحصل على

$$Z_{AN} = \frac{(1+j3)(j4)}{(1+j3)+(j4)+(2+j3)} = 0.04 + j1.10 \Omega$$

$$Z_{BN} = \frac{(2+j3)(j4)}{(1+j3)+(j4)+(2+j3)} = 0.4 + j1.3 \Omega$$

$$Z_{CN} = \frac{(1+j3)(2+j3)}{(1+j3)+(j4)+(2+j3)} = 0.6 + j0.9 \Omega$$

## الفصل الثاني القدرة في دوائر التيار المتردد ثلاثي الأطوار في حالة التحميل المتماثل

### ٢- ٤ حسابات القدرة

كما في دوائر التيار المتردد أحادي الطور، نقسم القدرة إلى فعالة ومفاعلة وظاهرية. والقدرة الفعالة الكلية التي يستهلكها الحمل ثلاثي الأطوار هي مجموع القدرات الفعالة التي يستهلكها كل طور (نفس الشيء بالنسبة للقدرة المفاعلة والقدرة الظاهرية)، وإذا كان الحمل متزناً فإن هذه القدرة الكلية هي ثلاثة أضعاف قدرة كل طور. وفيما يلي نحسب هذه القدرات في توصيلتي النجمة والدلتا في حالة الاتزان وبدلالة كميات الخط (تيار الخط وجهد الخط) لأنها أكثر استعمالاً من كميات الطور. تعطى القدرة الفعالة التي يستهلكها طور واحد بالمعادلة:

$$P = V I \cos \theta$$

حيث  $\theta$  هي الزاوية بين تيار الطور  $I$  وجهد الطور  $V$ . والقدرة الفعالة الكلية للحمل هي

$$P_T = 3 P$$

وفي كلتا التوصيلتين (النجمة والدلتا) نستنتج

$$P_T = \sqrt{3} V_L I_L \cos \theta \quad 2-12$$

وبنفس الطريقة نحصل على القدرة غير الفعالة الكلية للحمل

$$Q_T = \sqrt{3} V_L I_L \sin \theta \quad 2-13$$

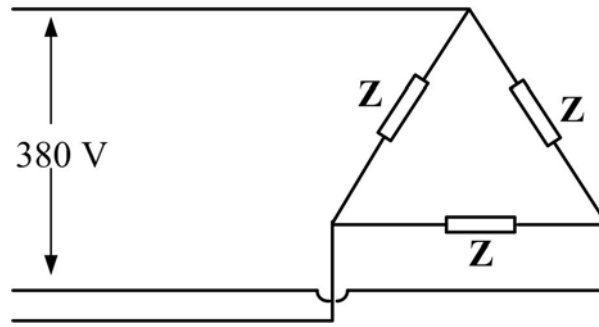
أما القدرة الظاهرية الكلية فهي

$$S_T = \sqrt{3} V_L I_L \quad 2-14$$

مثال ٢- ٢ - ١: احسب القدرات الفعالة والمفاعلة والظاهرية التي يستهلكها الحمل الموضح في الشكل

٢- ١٤ علماً أن النظام متزن وأن  $Z = 6 - j 8 \Omega$





الشكل ٢ -

الحل:

$$Z = 6 - j8 \, \Omega = 10 \angle -53.1^\circ \, \Omega$$

$$I = \frac{V_L}{Z} = \frac{380}{10} = 38 \, A$$

$$I_L = \sqrt{3} I = \sqrt{3} \times 38 = 65.8 \, A$$

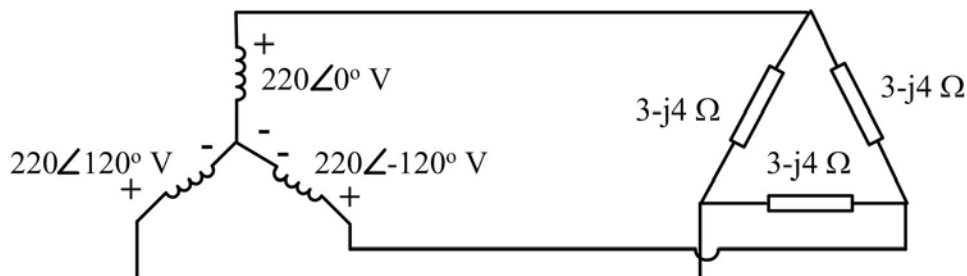
$$P_T = \sqrt{3} V_L I_L \cos \theta = \sqrt{3} \times 380 \times 65.8 \times \cos(-53.1^\circ) = 26 \, kW$$

$$Q_T = \sqrt{3} V_L I_L \sin \theta = \sqrt{3} \times 380 \times 65.8 \times \sin(-53.1^\circ) = -34.6 \, kVAR$$

$$S_T = \sqrt{3} V_L I_L = \sqrt{3} \times 380 \times 65.8 = 43.3 \, kVA$$

مثال ٢ - ٢ - ٢: احسب القدرة الفعالة والقدرة غير الفعالة المستهلكة من طرف الحمل. المبين في الشكل

١٥ - ٢



الشكل ٢ - ١٥

الحل:

$$Z = 3 - j4 \Omega = 5 \angle -53.1^\circ \Omega$$

$$I = \frac{V_L}{Z} = \frac{380}{5} = 76 A$$

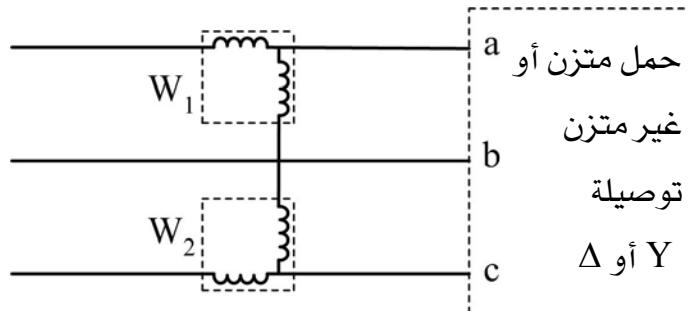
$$I_L = \sqrt{3} I = \sqrt{3} \times 76 = 131.6 A$$

$$P_T = \sqrt{3} V_L I_L \cos \theta = \sqrt{3} \times 380 \times 131.6 \times \cos(-53.1^\circ) = 25 kW$$

$$Q_T = \sqrt{3} V_L I_L \sin \theta = \sqrt{3} \times 380 \times 131.6 \times \sin(-53.1^\circ) = -69 kVAR$$

## ٢- ٤ قياس القدرة في دوائر التيار المتردد ثلاثي الأطوار

نستطيع قياس القدرة التي يستهلكها حمل ثلاثي الأطوار باستعمال ثلاثة واطميترات، ولكن في نظام ذي ثلاثة الأسلاك، نستعمل غالباً طريقة الواطميتين الموضحة في الشكل ٢- ١٥ والتي تصلح سواء كان الحمل بتوصيلة نجمة أو دلتا وسواء أكان متزناً أم غير متزن. في هذه الطريقة نوصل ملف تيار الواطميتير  $W_1$  على التوالي مع الطور a وملف تيار الواطميتير  $W_2$  على التوالي مع الطور c، أما ملفي الجهد للجهازين فإنها تقيس جهدي الخط  $V_{ac}$  و  $V_{cb}$ .



الشكل ٢- ١٥: طريقة الواطميتين

وتساوي القدرة المستهلكة من طرف الحمل  $P$  مجموع قراءتي الواطميتين  $W_1$  و  $W_2$ .

ولكن إذا كان الحمل متزنًا فإن القدرة المستهلكة من طرف الحمل ترتبط بقراءتي الجهازين حسب معامل قدرة الحمل كما يلي:

- إذا كان معامل القدرة أكبر من 0.5 (سواء أكان مادياً - حثياً أو مادياً - سعوياً) فإن :  $P = W_1 + W_2$  وإذا كان الحمل مادياً نقياً فإن  $W_1 = W_2$ .

- إذا كان معامل القدرة أصغر من 0.5 (سواء أكان مادياً - حثياً أو مادياً - سعوياً) فإن أحد الجهازين (مثلاً  $W_2$ ) سيعطي قراءة سالبة وسيحاول مؤشره الدوران إلى الخلف، وللحصول على قراءة في هذا الجهاز يجب عكس التيار المار في أحد ملفيه. وهنا فإن  $P = W_1 - W_2$ .
- إذا كان معامل القدرة 0.5 (سواء أكان مادياً - حثياً أو مادياً - سعوياً) تكون قراءة أحد الجهازين صفراً وتعطى القدرة المستهلكة من طرف الحمل بقراءة الواطميتر الآخر.

مثال ٢-٢ - 3 : عند قياس القدرة المستهلكة من طرف حمل ثلاثي الأطوار باستعمال طريقة الواطمترين، كانت قراءة أحد الجهازين 6kW، بينما كانت قراءة الآخر بعد عكس توصيل ملف تياره 2kW. احسب القدرة المستهلكة.

الحل:

معامل قدرة الحمل أقل من 0.5 لأن أحد الواطمترين أعطى قراءة سالبة. أما القدرة المستهلكة فهي:

$$P = W_1 - W_2 = 6 - 2 = 4 \text{ kW}$$