

أثر المولدات الريحية ذات التغذية المضاعفة في نظام القدرة الكهربائية في حالة الأعطال المتوازنة في شبكة النقل*

د. جمال الناصير***

م. أحمد عادل السقطي**

د. حسان السويدان****

الملخص

أخذ التوليد الموزع المنتشر عالمياً دوراً مهماً في تشغيل أنظمة توزيع القدرة الكهربائية. وعلى أية حالة، فإن وجود التوليد الموزع له تأثيرات في موضوعات مختلفة مثل تيارات الأعطال والحمايات من الأعطال ومخططات عمل نظم الحماية. في حال وجود قصر كهربائي في النظام، فإن وجود منبع توليد موزع أو أكثر يمكن أن يؤثر في سوية تيارات القصر، وفي مراقبة التوترات والتيارات في المحطات الفرعية. إن منبع التوليد الرئيسي ليس عليه أن يحقن استطاعة إضافية في الخط بسبب منبع التوليد الموزع، وبناء على ذلك ستكون التيارات والتوترات في المحطات الفرعية مختلفة عن تلك المقيسة دون وجود التوليد الموزع.

أجري في هذا البحث دراسة تحليلية لشبكة مكونة من 9 عقد، تحوي ثلاث مولدات كهربائية تُرفعُ توتراتها باستخدام محولات إلى التوتر 230 kV، فضلاً عن مجموعة من الأحمال المربوطة إلى هذه الشبكة.

تتضمن هذه الدراسة تمثيل الشبكة باستخدام برنامج ETAP، ودراسة حالة التشغيل النظامية (جريان الحمولة)، بالإضافة إلى نمذجة بعض حالات الأعطال الحاصلة، ودراسة تغير معطيات الشبكة نتيجة حدوث هذه الاعطال، وإضافة مزرعة ريحية إلى أحد قضبان التجميع، ودراسة تغير تيار العطل نتيجة إضافة هذا المولد.

كذلك يبين البحث الفوائد التي يمكن أن نحصل عليها نتيجة إضافة هذا المولد من خلال تحسن توترات الشبكة الرئيسية في أثناء حدوث العطل. كما درس تأثير تغير استطاعة المولد ونقطة ربطه في محددات الشبكة المدروسة.

الكلمات المفتاحية: الكلمات المفتاحية: تحليل الأعطال، تيار العطل، شبكة النقل، التوليد الموزع، برنامج ETAP.

* أعد البحث في سياق رسالة الماجستير للطالب أحمد عادل السقطي بإشراف الدكتور المهندس جمال الناصير ومشاركة الدكتور المهندس حسان السويدان.

** قسم هندسة قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق.

*** قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق.

**** قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق.

1- مقدمة :

للنظام، مما يعود بالنفع على مجموعة كبيرة من مستخدمي أنظمة الطاقة الكهربائية: كالمستهلكين وشركات الكهرباء ومزودي الخدمة الكهربائية ومسوقي الطاقة.

فضلاً عن بعض الميزات الأخرى نذكر منها [6]:

- 1- تحقيق التنوع في مصادر الطاقة المستخدمة.
 - 2- الاستخدام الملائم لبعض مصادر الطاقة المتجددة، بسبب إمكانية إنشاء التوليد المتجدد قرب الأحمال.
 - 3- تخفيض التكاليف الإنشائية، إذ تنتفي أو تتأخر الحاجة إلى بناء محطات توليد مركزية جديدة أو خطوط نقل وتوزيع جديدة أو تحديث الخطوط القائمة.
 - 4- تخفيض تكاليف النقل لأن المولدات الموزعة أقرب إلى الحمل.
 - 5- تخفيض مدة الإنشاء والكلفة التأسيسية بسبب كون المولدات أصغر.
 - 6- تخفيض الطلب على الطاقة من المحطات المركزية خلال أوقات الذروة.
- مساوى التوليد الموزع:
- مع الفوائد التي توفرها أنظمة التوليد الموزع لمستخدمي أنظمة الطاقة الكهربائية، إلا أنها تواجه حواجز تعيق ارتباطها بالمنظومة، كالعوائق التقنية والقانونية والتنظيمية، كما أن التوليد الموزع يؤدي إلى بعض المشكلات التي نوردتها فيما يأتي [6]:

1- التوليد الموزع المتجدد تابع للتغيرات المناخية؛ مما يجعل استطاعة خرجه متقطعة ومن الصعوبة بمكان التنبؤ بها.

2- ربما يحتاج التوليد الموزع إلى احتياطي من الشبكة أو من توليد مستقل تقليدي.

تطورت الأنظمة الكهربائية الحديثة خلال المدة الماضية، ومع هذا الامتداد فقد حافظت على فلسفة واحدة لهيكلية منظومة القدرة التي تتسم بجريان الاستطاعة باتجاه رئيسي واحد يبدأ من محطات الطاقة الكهربائية ذات المولدات المركزية الكبيرة عابراً "محولات المولدات إلى شبكة النقل عالية التوتر التي تسلم القدرة الكهربائية إلى نظام التوزيع عن طريق محولات الشبكة و محولات التوزيع حتى تصل إلى المستهلكين. غير أنه في السنوات الأخيرة ظهر تطور مواز اتسم بتوصيل وحدات توليد صغيرة الاستطاعة مباشرة بشبكات التوزيع، وأطلق عليها اسم التوليد الموزع (Distributed DG Generation).

إن التوسع المتزايد في تقنية التوليد الموزع في شبكات التوزيع الكهربائية أدى إلى خلق تأثيرات فنية متعددة في الشبكة المضيفة فيما يتعلق بالتوتر وجريان الاستطاعة وسويات العطل والحماية والاستقرار والجودة الكهربائية. وهذه التأثيرات في الشبكات قد تكون إيجابية أو سلبية أو حيادية تبعاً لهيكلية الشبكة المدروسة ووضعها التشغيلي وتقنيات المولدات الموزعة المتنوعة [6]. يشمل التوليد الموزع أية تقنية توليد كهرباء صغيرة الاستطاعة التي تزود الشبكة بالطاقة الكهربائية في المناطق القريبة من المستهلكين. تراوح استطاعة التوليد الموزع من بضعة كيلو واط إلى مئات الميغا واط، وتربط وحدات التوليد الموزع، التي تكون متفرقة في أنحاء نظام التوزيع كله، إلى المستهلك مباشرة أو إلى نظام التوزيع [9].

2- ميزات التوليد الموزع ومساوئه:

- ميزات التوليد الموزع:

تتمتع تقنيات التوليد الموزع بفوائد كثيرة فهي تؤمن الطاقة الكهربائية بتكلفة أقل، وجودة عالية، وأداء محسن

كما ينتج عن إضافة عناصر التوليد الموزع إلى حالة تغير تنسيق الحماية في الشبكات الكهربائية، وتغير وصول حاكمات الحماية، وحدوث ما يسمى بالفصل الخاطئ لهذه الحماية [4].

3- مصادر التوليد الموزع المتنوعة:

يعدُّ التوليد الموزع من موارد الطاقة المركزة في أماكن كثيرة ومتعددة، وتعتمد على كثير من المصادر؛ وهي موارد طاقة موزعة وصغيرة نسبياً تربط على شبكات التوزيع بالاعتماد على مجموعة من التقنيات كالخلايا الوقودية والعنفات الريحية والخلايا الشمسية والعنفات الميكروية ومحركات الاحتراق الداخلي.

وتراوح الاستطاعة المنتجة من رتبة الكيلو واط إلى الميغا واط، إذ يتم التزود باستطاعة محلية موثوق بها ورفع كفاءة الاستخدام لمصادر الطاقة وخفض التلوث الناتج عن المحطات التقليدية إلى أخفض قيم ممكنة وخفض الضياعات الكهربائية وتحسين عامل الاستطاعة. يستخدم التوليد الموزع وسائل أصغر من الأجهزة المستخدمة في التوليد المركزي حيث تولد القدرة في الأماكن القريبة من الاستهلاك أو ضمن مرافق توزيع محلية وترتبط مباشرة مع شبكة التوزيع المحلية. تتضمن تقنيات التوليد الموزع أنظمة الخلايا الضوئية Photo-Voltaic ومحركات الغاز الطبيعي والخلايا الوقودية والتوربينات الصناعية والعنفات الميكروية والعنفات الريحية وأنظمة تخزين القدرة الكهربائية، وهذه التقنيات يمكن أن تشكل محطات أو شبكات صغيرة يمكن أن يستفيد منها المستهلك بشكل مباشر [5].

وتستخدم التقنية المركبة (Combined Heat and Power) في توليد الكهرباء والحرارة، فقد استخدمت في بعض المحطات في تحويل ثلث الطاقة المستخدمة إلى

كهرباء والباقي إلى حرارة.

وبنتيجة استخدام مثل هذه الأنظمة المتكاملة رفعت كفاءة النظام من 40% إلى نحو 70%، وولدت الطاقة النظيفة بكفاءة عالية وبكف اقتصادي معقولة.

4- تقنية حساب تيار القصر المستخدمة في برنامج ETAP:

تعتمد طريقة حساب تيار القصر المستخدمة في هذا البرنامج على المواصفات القياسية IEEE، IEC، ANSI، إذ تستخدم طريقة منبع الجهد المكافئ الذي يوضع في مكان العطل ويعطى كقيمة واحدة، وتقصر بقية منابع في الدارة، وسنقوم بعرض الخوارزمية المستخدمة لحساب تيار العطل في برنامج ETAP

حسب المواصفات IEC-60909-0

IEC-60909-1 [7] :

تمثل الآلات الكهربائية (مولدات - محركات) في أثناء العطل بممانعتها الداخلية، وتهمل ساعات الخطوط والأحمال غير الفعالة، كما تهمل مقاومة العطل في أثناء الحساب؛ وذلك بوصفه عطلاً مباشراً. تعدُّ ممانعات النظام متوازنة وتستخدم طريقة المركبات المتناظرة لحساب الأعطال غير المتناظرة.

وتوصي المواصفات المستخدمة في البرنامج بضرورة معرفة قيم R,X لحساب النسبة R/X، وتُحسب هذه النسبة لكل قضيب تجميع في حالة العطل، وتستخدم بعد ذلك لحساب المركبات المستمرة والمتناوبة لتيار القصر.

1- حساب الممانعة المكافئة المنظورة من نقطة العطل العلاقة (1):

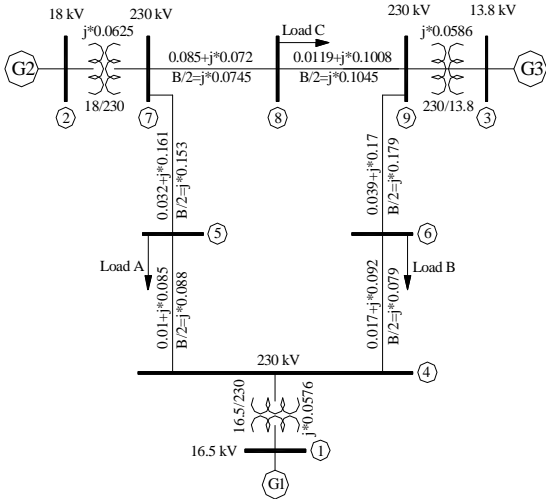
$$Z_k = k_G * (R + X''_d) \dots\dots\dots (1)$$

إذ:

5- دراسة شبكة كهربائية مكونة من 9 عقد باستخدام

برنامج ETAP:

سنقوم الآن بدراسة الشبكة الكهربائية المبينة بالشكل (1) والمكونة من تسع عقد وثلاث مولدات ومحولات وخطوط نقل بتوتر 230 kV، ومجموعة من الأحمال.



الشكل (1): شبكة مكونة من تسع عقد [1].

يبين الجدول (1) معطيات المولدات الكهربائية منسوبة إلى الاستطاعة 100 MVA، كما يبين الشكل (1) معطيات خطوط النقل الممانعات التسلسلية (المقاومات والمفاعلات) والسماحيات التفرعية.

الجدول (1) معطيات المولدات للشبكة الكهربائية [2].

Generation	1	2	3
MVA	247.5	192	128
kV	16.5	18	13.8
P. f.	1	0.85	0.85
Type	hydor	steam	steam
Speed	180 r/min	3600 r/min	3600 r/min
x_d	0.1406	0.8958	1.312
x_d'	0.060	0.119	0.181
x_d''	0.05	0.1	0.15
x_q	0.096	0.864	1.257
x_q'	0.096	0.196	0.25
Xl	0.033	0.052	0.074
Td'0	8.96	6	5.89
Tq'0	0	0.535	0.6
H	23.64	6.4	3.01

تنسب معطيات المولدات والمحولات إلى الاستطاعة الاسمية للمولدات والمحولات إذ يبين الجدول (2)

X''_d : المفاعلة تحت العابرة للآلة التزامنية.

k_G : ثابت يعطى بالعلاقة (2).

$$k_G = \frac{KVn * C \max}{KVr * (1 + X''_d * \sin(j))} \dots \dots \dots (2)$$

إذ:

KVr, KVn : التوترات الاسمية على أطراف قضبان

التجميع، وعلى أطراف المحركات على التوالي.

C_{max} : ثابت تحدد قيمته اعتماداً على التوتر الاسمي للآلة.

2- نقوم بحساب قيمة تيار القصر المتناظر كما يأتي:

يحسب التيار I''_k (تيار القصر الابتدائي المتناظر) من

العلاقة (3):

$$I''_k = \frac{U_n}{\sqrt{3} * Z_k} \dots \dots \dots (3)$$

إذ:

Z_k : الممانعة المكافئة عند نقطة العطل.

أما القيمة العظمى لتيار القصر فتحسب من العلاقة (4):

$$i_p = \sqrt{2} * k * I''_k \dots \dots \dots (4)$$

إذ:

I''_k : القيمة الابتدائية لتيار القصر المتناظر.

k : عامل تتحدد قيمته بأخذ أصغر نسبة لقيمة R/X لكل

فروع الشبكة.

3- حساب المركبة المستمرة لتيار القصر:

تُحسب المركبة المستمرة لتيار القصر بالاعتماد على تيار

القصر الابتدائي المتناظر، وقيمة النسبة R/X للنظام من

أجل زمن تأخير أصغري لتجهيزات الحماية الاحتياطية،

العلاقة (5):

$$i_{dc} = I''_k * \sqrt{2} * \exp\left(-\frac{2pf * t_{min}}{X / R}\right) \dots \dots \dots (5)$$

إذ:

f : تردد النظام.

t_{min} : زمن التأخير الأصغري لتجهيزات الحماية

الاحتياطية.

نقوم بدراسة الشبكة السابقة باستخدام برنامج ETAP إذ يبين الشكل (2) الشبكة المدروسة في الحالة النظامية.

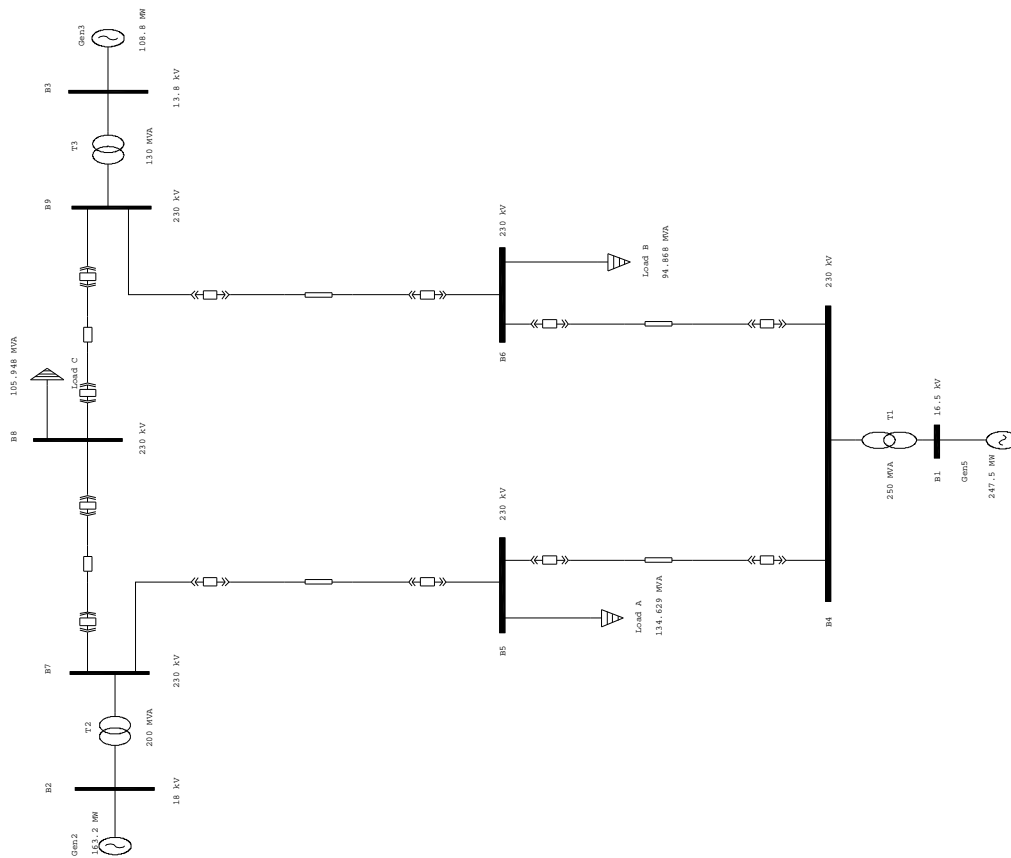
نقوم بدراسة جريان الحمل لهذه الشبكة بواسطة برنامج ETAP ومراقبة التوترات والاستطاعات المنقولة على قضبان التجميع، ويبين الشكل (3) نتائج جريان الحمل لهذه الشبكة.

لنفرض الآن حدوث عطل صلب متوازن على قضيب التجميع 5، وسنقوم بنمذجة العطل باستخدام برنامج ETAP، ويظهر الشكل (4) تيار العطل وتوترات القضبان في الشبكة.

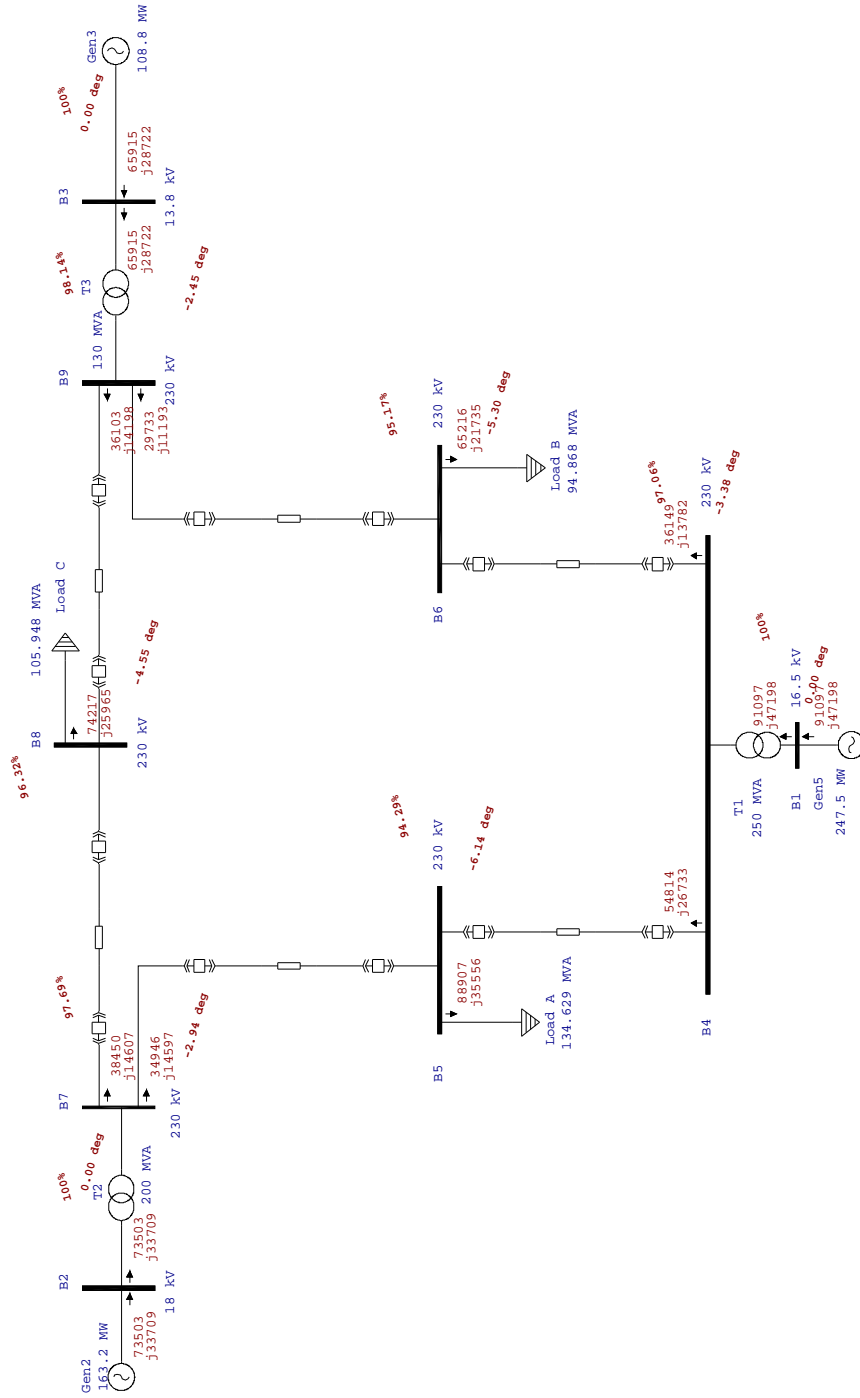
معطيات المولدات الكهربائية والمحولات منسوبة إلى الاستطاعة الاسمية.

الجدول (2) معطيات المولدات والمحولات منسوبة إلى الاستطاعة الاسمية.

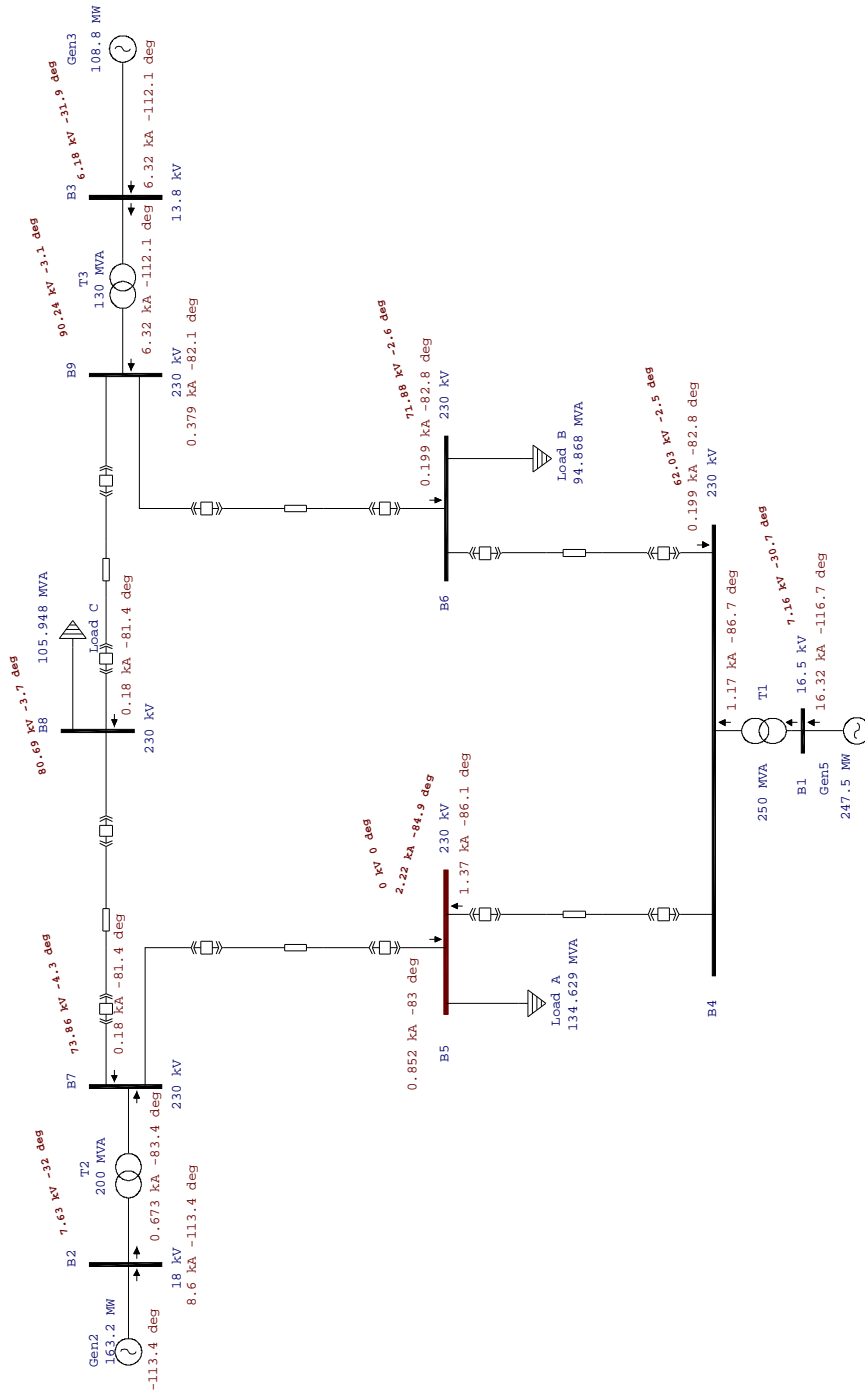
Generation	1	2	3
MVA	247.5	192	128
kV	16.5	18	13.8
P. f.	1	0.85	0.85
X_d	0.3613	1.7199	1.68
X_d'	0.1504	0.23	0.23
X_d''	0.1237	0.192	0.19
X_q	0.2398	1.659	1.61
X_q'	0.2398	0.378	0.32
XI	0.083	0.1	0.09
Tr.	1	2	3
MVA	250	200	130
XT	0.144	0.125	0.076



الشكل (2): تمثيل الشبكة باستخدام برنامج ETAP.



الشكل 3 : جريان الحمولة للشبكة المدروسة.



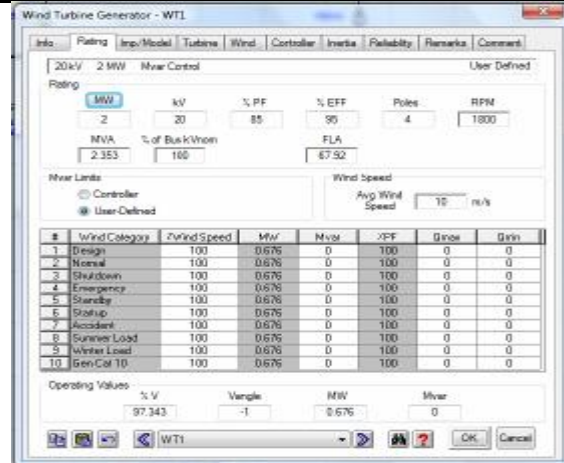
الشكل 4: تيار العطل وتوترات قضبان التجميع للشبكة السابقة.

المولد الريحي، وهو من النوع مولد تحريضي مضاعف التغذية (DFIG) Doubly Fed Induction Generator.

نقوم بربط خمس عنفات ريفية على قضيب التجميع 4 باستطاعة 2[MW] لكل عنفة وبيّن الشكل (5) بيانات

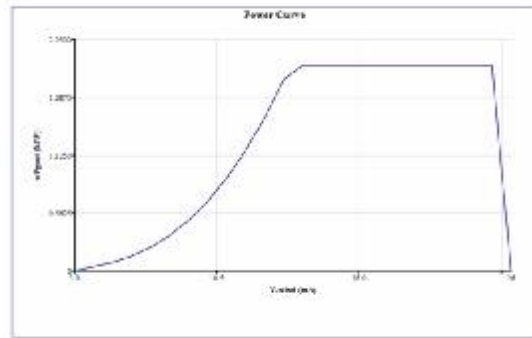
أثر المولدات الريحية ذات التغذية المضاعفة في نظام القدرة الكهربائية في حالة الأعطال المتوازنة في شبكة النقل

يبين الشكل (7) تمثيل الشبكة بعد إضافة المولد الموزع باستخدام برنامج ETAP، كما يبين الشكل (8) تيار العطل على قضيب التجميع 5 بعد إضافة المولد الموزع وتوترات القضبان في أثناء حدوث العطل.



الشكل (5): بيانات المولد الريحي [8].

يبين الشكل (6) تغير استطاعة خرج العنفة مقدره بـ MW كتابع لسرعة الرياح الذي تم الحصول عليه عن طريق برنامج ETAP.



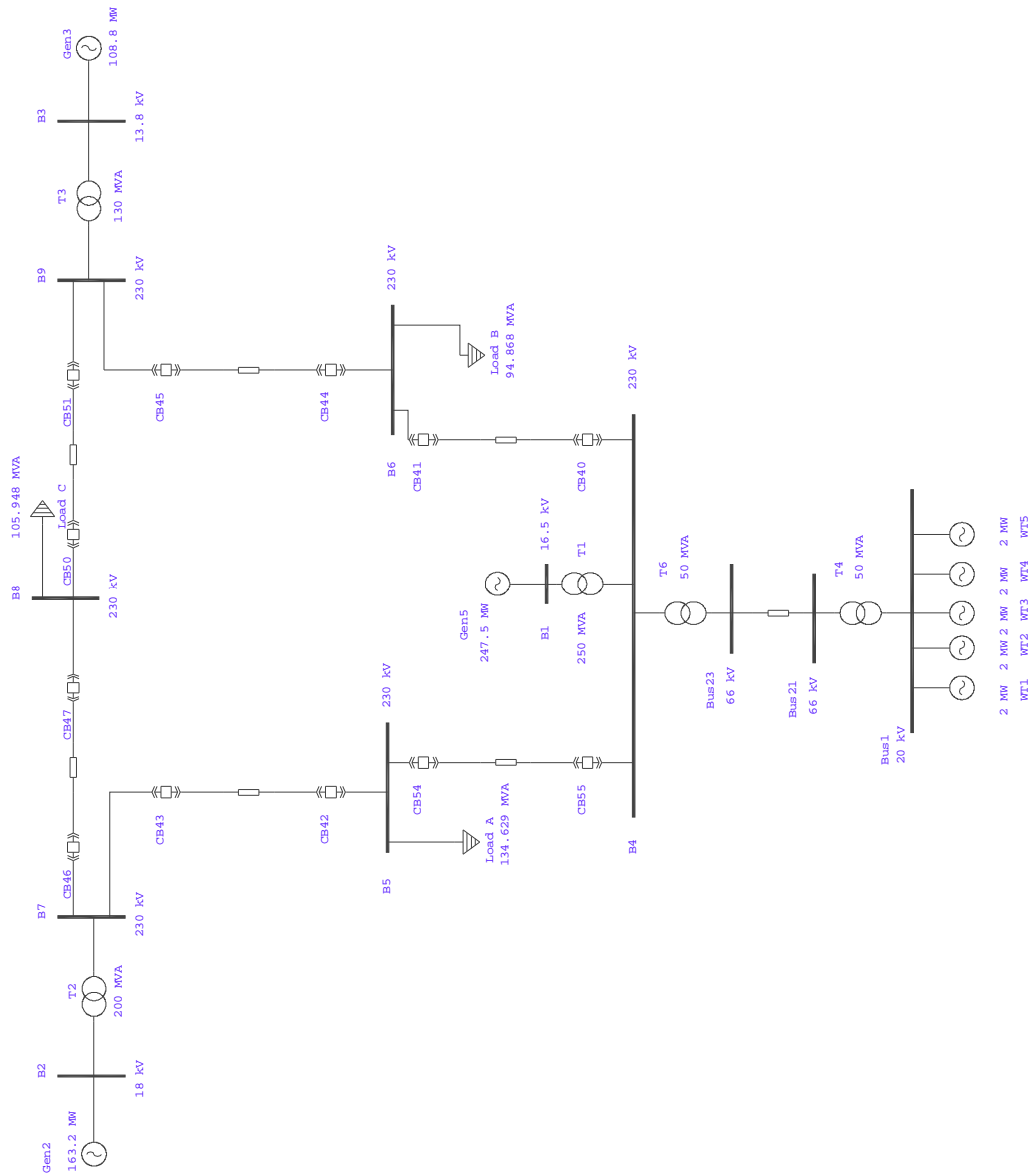
الشكل (6): تغير استطاعة خرج العنفة كتابع لسرعة الرياح.

يتم الربط عن طريق خط نقل بطول 10 كيلو متر ومجموعة من المحولات لرفع التوتر إلى توتر النقل [kV]230.

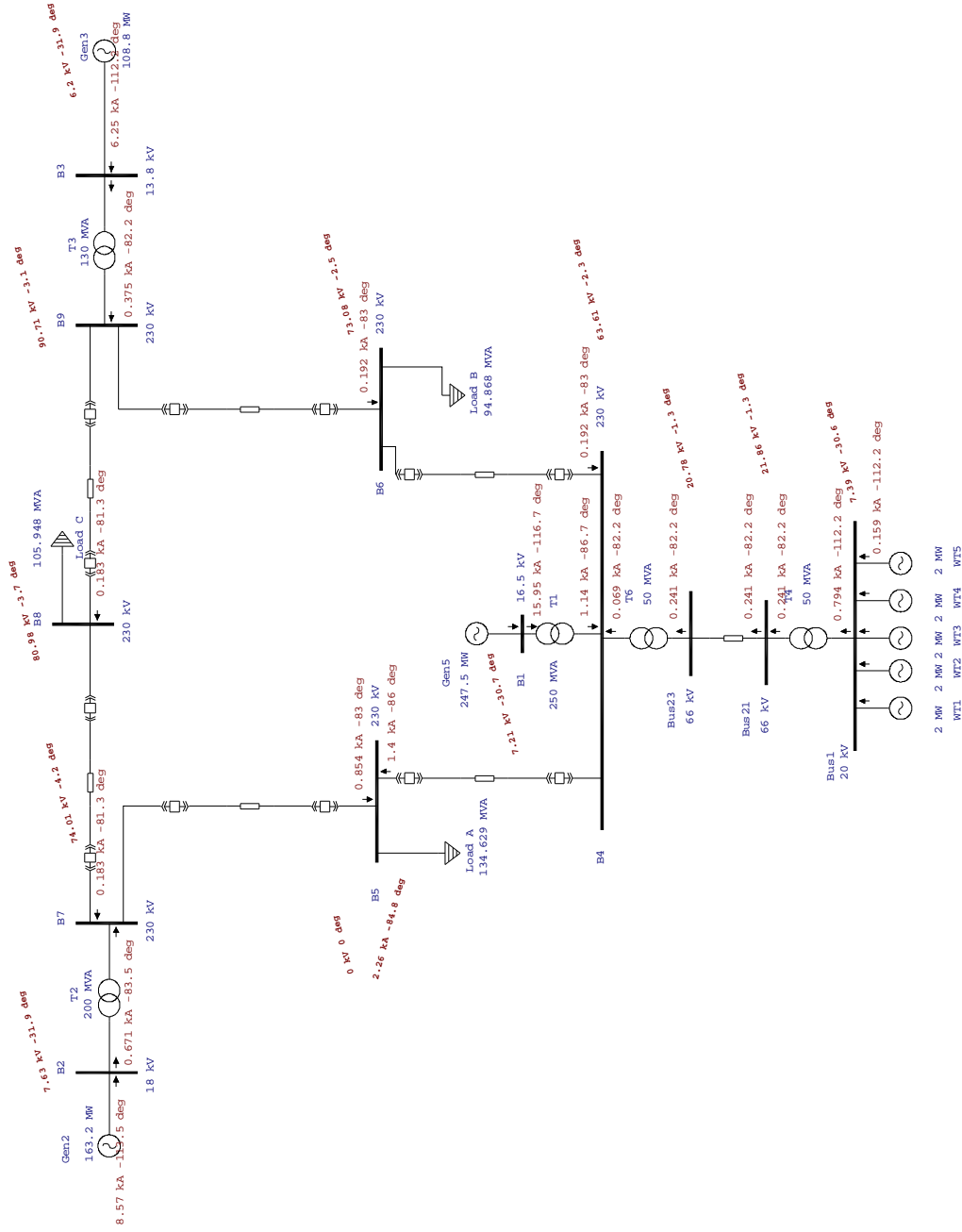
مواصفات خط النقل:

استُخدمَ خط نقل بطول 10 كيلو متر، من النوع ألومنيوم- فولاذ بمقطع $40/240^2$ مم

التوتر 66kV، إذ نقوم باختيار نوع الخط المطلوب وطوله ويقوم البرنامج بشكل تلقائي باختيار بارامترات الخط المناسبة (مفاعلة الخط وسماحيته).



الشكل (7): الشبكة المدروسة بعد ضم العنقات الريحية.



- 6- دراسة تأثير التوليد الموزع لنظام مكون من 9 عقد في سويات العطل في حالة الأعطال المتوازنة: سنقوم الآن بدراسة تأثير إضافة المزرعة الريحية إلى الشبكة الكهربائية المضيفة في حالات الأعطال وفقاً لما يأتي:
- 1- حدوث أعطال متوازنة في كل قُضيب التجميع من قُضبان الشبكة (قبل إضافة المولد الموزع):

$$FLRI \% = \frac{FL_{+DG} - FL_{-DG}}{FL_{-DG}} * 100 \dots\dots\dots (6)$$

إذ:

FLRI%: مؤشر تزايد تيار العطل على قضيب تجميع ما من الشبكة.

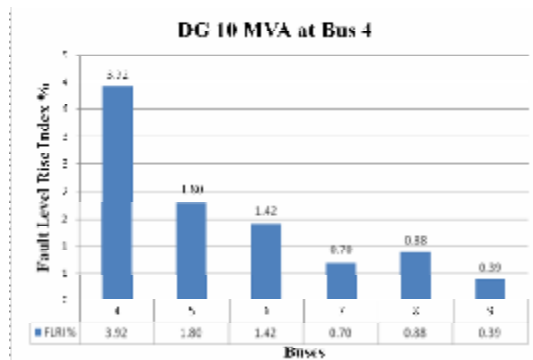
FL_{+DG}%: تيار العطل على قضيب التجميع بعد إضافة التوليد الموزع.

FL_{-DG}%: تيار العطل على قضيب التجميع قبل إضافة التوليد الموزع.

سنقوم بحساب مؤشر تزايد تيار العطل على قضيب التجميع 5 من العلاقة (6) نتيجة إضافة المولد الموزع:

$$FLRI \% = \frac{2260 - 2221}{2221} * 100 = 1.8\%$$

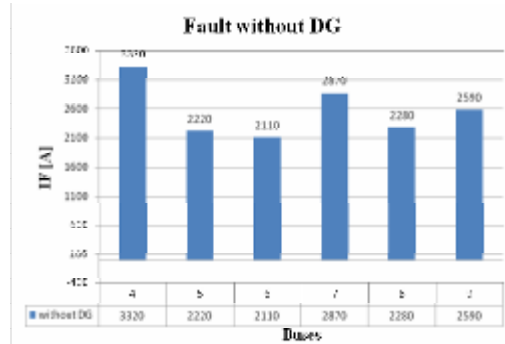
نلاحظ أن إضافة مجموعة العنفات الريحية باستطاعة 10[MW] على قضيب التجميع 4 أدت إلى زيادة تيار العطل على القضيب المعطل بقيمة 1.8%، وبالطريقة نفسها نقوم بنمذجة مجموعة من الأعطال على بقية قضبان الشبكة و حساب مؤشر تزايد تيار العطل باستخدام العلاقة (6) لكل قضيب، ويبين الشكل (11) النتائج التي حصلنا عليها من هذه الدراسة.



الشكل (11): مؤشر تزايد سوية العطل لنظام 9 عقد.

نلاحظ زيادة في قيمة تيار العطل، وهذه الزيادة متوقعة مسبقاً، وتعدُّ هذه أحد مساوئ التوليد الموزع التي تظهر

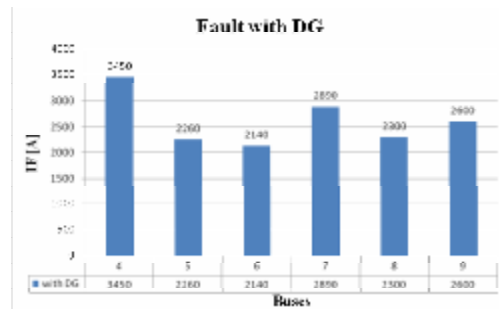
تُحسب تيارات العطل لقضبان التجميع كلها باستخدام برنامج ETAP، ويبين الشكل (9) نتائج حساب سويات العطل المتوازن بيانياً.



الشكل (9): تيارات العطل المتوازنة لنظام 9 عقد دون توليد موزع.

2- نوصّل إلى قضيب التجميع 4 خمس عنفات ريحية باستطاعة 2 MW لكل عنفة:

نحسب تيارات العطل لقضبان الشبكة السابقة بوجود التوليد الموزع، ويبين الشكل (10) نتائج حساب سويات العطل المتوازن بيانياً.

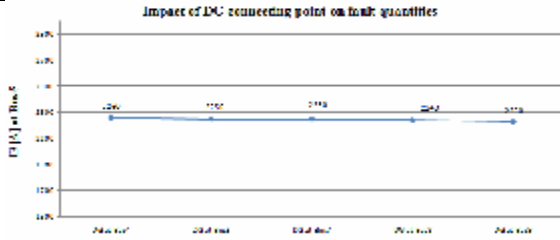


الشكل (10): تيارات العطل المتوازنة لنظام 9 عقد بعد إضافة التوليد الموزع.

3- دراسة تأثير إضافة التوليد الموزع في تيارات الأعطال في الشبكة المدروسة [3]:

تدرسُ هذه الحالة عن طريق حساب مؤشر تزايد تيار العطل إلى أحد قضبان الشبكة من العلاقة (6):

أثر المولدات الريحية ذات التغذية المضاعفة في نظام القدرة الكهربائية في حالة الأعطال المتوازنة في شبكة النقل



الشكل (13): تأثير نقطة ربط المولد الريحي على تيار العطل المتوازن.

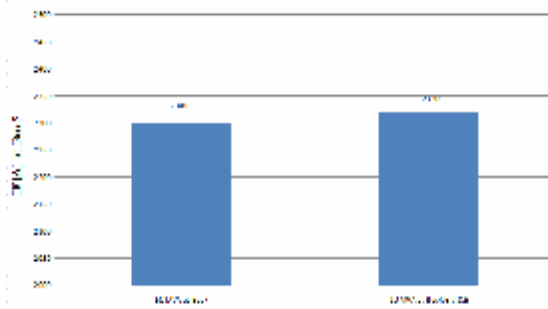
نلاحظ من الشكل (13) أن تأثير تغيير نقطة ربط المولد الموزع ضعيف في تيار العطل.

6- تأثير تبعثر التوليد الموزع في كميات العطل إذ نقارن حالتين:

- ربط المزرعة الريحية على قضيب التجميع 5 باستطاعة 50MVA.

- ربط 5 مزارع ريحية على القضبان 4,6,7,8,9 باستطاعة 10MVA لكل منها.

نقوم بإجراء عطل على قضيب التجميع 5 ونحسب سوية العطل لهذا القضيب في الحالتين السابقتين الشكل (14).



الشكل (14): تأثير تبعثر التوليد الموزع في سوية العطل لقضيب التجميع 5.

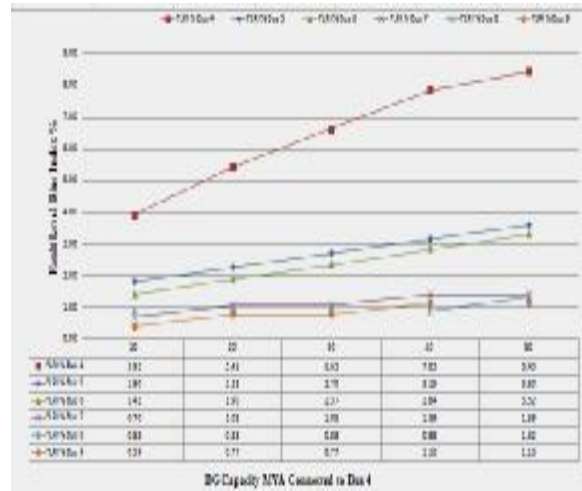
نلاحظ من الشكل (14) أن تيار العطل يزداد مع ازدياد التبعثر بنسبة 0.9%.

7- دراسة تأثير العطل في توترات قضبان الشبكة المدروسة: عند حدوث العطل في أي نقطة من الشبكة فإن توتر قضيب التجميع المعطل يهبط إلى الصفر أو إلى قيمة قريبة من الصفر حسب ممانعة نقطة العطل، أمّا

في أثناء الأعطال.

4- تأثير تغيير استطاعة العنقات الريحية في سوية العطل:

نوصل العنقات الريحية الخمس السابقة على قضيب التجميع 4 ونغير الاستطاعة الكلية لهذه العنقات كما يأتي: 10، 20، 30، 40، 50 MVA، ونحسب مؤشر تزايد تيار العطل لكل قضيب من قضبان الشبكة فنحصل على النتائج المبينة في الشكل (12).



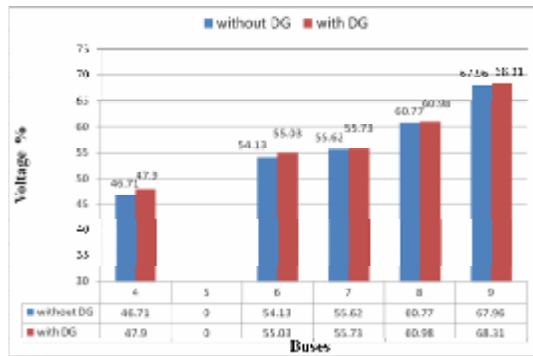
الشكل (12): تغيير تيار العطل كتابع لاستطاعة المزرعة الريحية الموصلة على قضيب التجميع 4.

نلاحظ من الشكل (12) أن تيار العطل يزداد بزيادة استطاعة المولد الموزع المضاف إلى الشبكة، ونلاحظ أن التزايد الحاصل هو تزايد خطي تقريباً.

5- تأثير نقطة ربط المولد الموزع في سوية العطل المتوازن: نوصل المزرعة الريحية باستطاعة 10MVA (مع محولات الرفع وخط النقل 10 كيلو متر) على القضبان 4,5,6,7,8,9، ونقوم بافتراض عطل متوازن على قضيب التجميع 5، ونحسب تيار العطل على هذا القضيب، ونلخص النتائج بيانياً كما هو مبين في الشكل (13).

8- دراسة تأثير التوليد الموزع على توترات قضبان الشبكة عند حدوث العطل:

يبين الشكل (16) الفوائد التي نحصل عليها عند إضافة التوليد الموزع إلى الشبكة المدروسة حيث ازدادت التوترات على قضبان التجميع السليمة جميعها في أثناء العطل بعد إضافة المولد الموزع.



الشكل(16): مقارنة التوترات في أثناء العطل قبل إضافة المولد الموزع وبعده.

نقوم بحساب مؤشر تحسن التوتر في أثناء العطل بوجود التوليد الموزع منسوباً للتوتر في أثناء العطل دون وجود التوليد الموزع، Voltage Improvement Index due DG من العلاقة (8) [6]:

$$VIII \% = \frac{V_{f,+DG} - V_{f,-DG}}{V_{f,-DG}} \times 100 \dots\dots(8)$$

نقوم بتطبيق العلاقة (8) لحساب مؤشر تحسن التوتر على قضيب التجميع 4 عند حدوث العطل على القضيب 5 بوجود التوليد الموزع:

$$VIII \% = \frac{0.479 - 0.467}{0.467} \times 100 = 2.5 \%$$

وبالطريقة نفسها نقوم بحساب مؤشر تحسن التوتر على قضبان الشبكة كلها عند حدوث العطل على قضيب

بقية قضبان التجميع فإن هبوط التوتر فيها يكون بنسب متفاوتة حسب بعد قضيب التجميع عن نقطة العطل، لذلك سنقوم بتعريف مؤشر هبوط التوتر على قضيب تجميع من الشبكة عند حدوث العطل على قضيب تجميع آخر Voltage Dip Index VDI % من خلال العلاقة (7) [6]:

$$VDI \% = \frac{V_{Bus,pre-fault} - V_{Bus,fault}}{V_{Bus,pre-fault}} \times 100 \dots\dots(7)$$

إذ:

VDI% : مؤشر هبوط التوتر على قضيب تجميع من الشبكة.

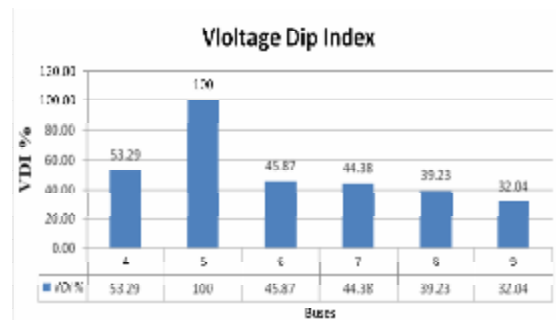
$V_{Bus,pre-fault} \%$: توتر قضيب التجميع قبل العطل.

$V_{Bus,fault} \%$: توتر قضيب التجميع بعد العطل.

نقوم بإجراء عطل على قضيب التجميع 5 ونقوم بدراسة توترات قضبان التجميع السليمة بعد حدوث العطل، وبالعودة إلى العلاقة (7) نحسب مؤشر هبوط التوتر على قضيب التجميع 4 في هذه الحالة:

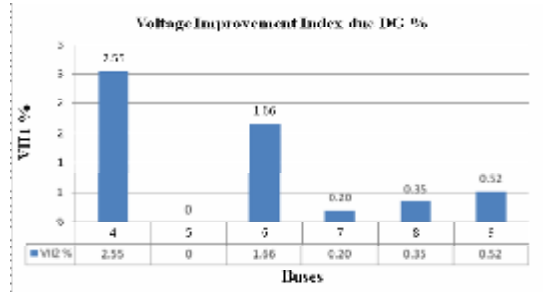
$$VDI \% = \frac{1 - 0.46}{1} \times 100 = 54\%$$

وبالطريقة نفسها نقوم بحساب مؤشر هبوط التوتر على بقية قضبان التجميع عند حدوث العطل السابق ونقوم بإظهار النتائج في الشكل(15).



الشكل(15): مؤشر هبوط التوتر في قضبان التجميع بسبب العطل.

التجميع 5 بوجود التوليد الموزع وإظهار النتائج على الشكل (17).



الشكل (17): مؤشر تحسن التوتر في أثناء العطل بوجود التوليد الموزع منسوباً للتوتر في أثناء العطل دون DG.

7- النتائج:

- 1- تظهر عند إضافة المولد الريحي المدروس في الفقرة 5، مجموعة من المساوئ عند حدوث العطل تتعلق بزيادة سويات الأعطال في الشبكة المضيقة؛ لذلك يجب الأخذ بالحسبان عند اختيار التيارات الاسمية للقواطع وسعة الفصل لها، الزيادة الحاصلة في التيار نتيجة إضافة هذا المولد الريحي.
- 2- يزداد تيار العطل بزيادة استطاعة المولد الريحي المضاف إلى الشبكة، وهذا التزايد يكون خطياً تقريباً، كما لاحظنا في هذه الشبكة.
- 3- يزداد تيار العطل في حالة تبعثر المولدات الريحية المضافة إلى الشبكة المدروسة.
- 4- ينخفض هبوط التوتر على قضبان التجميع السليمة في الشبكة عند حدوث الأعطال بعد إضافة المزرعة الريحية، وتعدُّ هذه من الميزات التي نحصل عليها نتيجة إضافة هذه المزرعة إلى الشبكة عند حدوث الأعطال.

المراجع

- 1- Kala Meah, Member, IEEE, and A.H.M. Sadrul Ula, Senior Member, IEEE " Simulation Study of the CIGRE HVDC Benchmark Model with the WSCC Nine-bus Power System Network ".
- 2- Alpay Özcan, Member, IEEE, and Heinz Schättler,"A Computational Method for the Calculation of the Feasibility Boundary and Clustering in Differential-Algebraic Systems", SEPTEMBER 2005.
- 3- Natthaphob Nimpitiwan, Student Member, IEEE, and Gerald T. Heydt, Fellow, IEEE Department of Electrical Engineering, Arizona State University: "Fault Current Issues for Market Driven Power Systems with Distributed Generation", June 2005.
- 4- Natthaphob Nimpitiwan Gerald Heydt : " Consequences of Fault Currents Contributed by Distributed Generation ", Power Systems Engineering Research Center , June 2006.
- 5- Ali Keyhani : " Integration of Green Energy in Distributed Generation Systems ", Professor of Electrical and computer Engineering Ohio State University, Columbus Ohio.
- 6- الدكتور علي حمزة، أستاذ في قسم هندسة الطاقة الكهربائية، جامعة دمشق، " تكامل التوليد الموزع في أنظمة التوزيع الكهربائية " 2010-2011.
- 7- تقنية حساب تيار العطل في برنامج ETAP (ملف المعطيات في البرنامج).
- 8- بيانات من المركز الوطني لبحوث الطاقة 2011.
- 9- الدكتور علي حمزة، الدكتور حسان السويدان، "نظم التنسيق والأتمتة في منظومات القدرة الكهربائية"، جامعة دمشق، 2008-2009.

تاريخ ورود البحث إلى مجلة جامعة دمشق 2011/3/2.