



الجمهورية العربية السورية

جامعة دمشق

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

قسم هندسة الطاقة الكهربائية

أنظمة الحماية الكهربائية الخاصة بأنظمة التوليد الموزع

دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في هندسة الطاقة الكهربائية

إعداد

المهندس وسيم بشير الصباغ

بإشراف

الدكتور المهندس خالد زيدان

العام الدراسي

٢٠١٢-٢٠١٣

العنوان	الصفحة
الفهرس	١
فهرس الأشكال	III
فهرس الجداول	VI
الرموز والمصطلحات:	VII
الفصل الأول: التعريف بنظم التوليد الموزع:	٣
١-١-١ تعاريف التوليد الموزع:	٣
١-١-٢ دواعي ظهور التوليد الموزع:	١٠
١-١-٣ الفوائد الممكنة للتوليد الموزع:	١٢
١-١-٤ المساوئ الممكنة للتوليد الموزع:	١٣
١-١-٥ حجم التوليد الموزع على المستوى العالمي:	١٤
الفصل الثاني: الدراسة المرجعية:	١٠
١-٢-١ دراسة مرجعية لأهم الأبحاث والمنشورات التي تتعلق بالتوليد الموزع:	١٧
١-٢-٢ دراسة مرجعية لأهم الأبحاث والمنشورات التي تتعلق بالتوليد الموزع:	١٧
١-١-٢-١ دراسة مرجعية في نمذجة الشبكات الكهربائية:	١٧
١-٢-٢-٢ دراسة مرجعية صادرة عن مركز البحوث الهندسية لنظم القدرة تبين مساهمة التوليد الموزع في تغير سويات العطل في الشبكات الكهربائية:	١٧
١-٢-٢-٣ دراسة حالة نظام توزيع شعاعي:	١٨
١-٢-٢-٤ دراسة مرجعية صادرة عن قسم هندسة الطاقة الكهربائية كلية الهندسة جامعة المنصورة في مصر تبين تأثير التوليد الموزع على تنسيق أجهزة الحماية:	٢١
١-٢-٢-٥ دراسة استراتيجية حماية مولد موزع مستضاف في شبكة توزيع:	٢٥
١-٢-٢-٦ دراسة مرجعية صادرة عن معهد هندسة الطاقة الكهربائية تبين دراسة تأثير التوليد الموزع على حماية الشبكة الكهربائية (دراسة حالة):	٢٧
٢-٢-٢-٢ تصنيف تقنيات التوليد الموزع:	٣٤
١-٢-٢-٢-١ محركات الاحتراق الداخلي أو المحركات الترددية أو المكبسية:	٣٤
١-٢-٢-٢-٢ العنفات الميكروية:	٣٦
١-٢-٢-٢-٣ النظم الكهروحرارية الشمسية المركزة:	٣٨
١-٢-٢-٢-٤ مولدات الطاقة الحرارية والكهربائية:	٤٤
١-٢-٢-٢-٥ طاقة الكتلة الحيوية:	٤٥
١-٢-٢-٢-٦ خلايا الوقود:	٤٩
١-٢-٢-٢-٧ الخلايا الكهروضوئية:	٥٣
١-٢-٢-٢-٨ تقنية العنفات الريحية:	٥٧
١-٢-٢-٣ تأثير التوليد الموزع على الشبكة الكهربائية العامة:	٥٩
١-٢-٢-٣-١ تأثير التوليد الموزع على جودة التغذية الكهربائية:	٥٩
١-٢-٢-٣-٢ آثار دمج التوليد الموزع على استقرار المنظومة الكهربائية:	٦٥
١-٢-٢-٣-٣ الأعطال في نظم التوزيع الكهربائية:	٦٩
الفصل الثالث: أنظمة الحماية والمراقبة الكهربائية الأساسية لنظم التوليد الموزع:	٧١
١-٢-٢-٣-١-١-٣ الحماية الكهربائية:	٧١
١-٢-٢-٣-١-١-٣-١ المبدأ العام:	٧١
١-٢-٢-٣-١-١-٣-٢ المتطلبات العامة لأجهزة الحماية:	٧٣
١-٢-٢-٣-١-٢-٣ حماية نظم التوزيع المتكاملة مع التوليد الموزع:	٧٤

٧٧	٣-٣- متطلبات نظام الحماية للشبكة المستضيفة للتوليد الموزع:
٧٨	٣-٤- مخططات الحماية لنظم التوليد الموزع:
٨٠	٣-٥- الحماية من انقطاع التغذية:
٨١	٣-٥-١ معدل تغير التردد الحماية :
٨٢	٣-٥-٢ انزياح الشعاع:
٨٤	الفصل الرابع: تمثيل أنظمة التوليد الموزع:
٨٤	٤-١- دراسة استراتيجية الطلب والتزويد الأمثل بالطاقة في سورية لغاية ٢٠٣٠.
٨٨	٤-٢- طاقة الرياح في سورية :
٩١	٤-٣- دراسة تفصيلية للموقع المحدد لتنفيذ محطة ريحية باستطاعة (٥٠) ميغا واط.
٩١	٤-٣-١ موقع المشروع.
٩٢	٤-٣-٢ التحليل الفني لموقع قطينة:
٩٤	٤-٣-٣ اتجاه الرياح في الموقع:
٩٦	٤-٤- تصميم مزرعة الرياح المقترحة:
٩٦	٤-٤-١ توزيع عنفات الرياح:
٩٧	٤-٤-٢ الإنتاج الإجمالي المتوقع من المزرعة:
٩٨	٤-٤-٣ النظام الكهربائي للمزرعة الريحية:
١٣١	٤-٥- دراسة تأثير المزرعة الريحية في قطينة على سويات العطل في حالة الأعطال المختلفة:
١٣٢	٤-٥-١ حدوث أعطال متوازنة على كل قضيب من قضبان الشبكة (قبل إضافة المزرعة الريحية):
١٣٣	٤-٥-٢ حدوث أعطال متوازنة على كل قضيب من قضبان الشبكة (بعد إضافة المزرعة الريحية):
١٣٣	٤-٥-٣ حدوث عطل طور مع الأرض على كل قضيب من قضبان الشبكة (بعد إضافة المزرعة الريحية):
١٣٤	٤-٥-٤ أثر إضافة التوليد الموزع على تيارات الأعطال في الشبكة المدروسة.
١٣٥	٤-٦- دراسة تأثير المزرعة الريحية في قطينة على أداء الحماية الكهربائية:
١٣٥	٤-٦-١ دراسة تأثير المزرعة الريحية في قطينة على أداء الحماية الكهربائية لزيادة شدة التيار الكهربائي:
١٤١	٤-٦-٢ دراسة تأثير المزرعة الريحية في قطينة على أداء الحماية المسافية:
١٤٦	الفصل الخامس: النتائج العامة والتوصيات.
١٤٨	المراجع العربية والأجنبية.

فهرس الأشكال

الأشكال	الصفحة
الشكل (١-١) نسبة مساهمة الطاقة المتجددة في ألمانيا من إجمالي الإنتاج المحلي للطاقة: ١١	١١
الشكل (٢-١) نسبة مساهمة الطاقات المتجددة من إجمالي الطلب الكلي على الطاقة الكهربائية في ألمانيا: ١٢	١٢
الشكل (٣-١) الفوائد الممكنة للتوليد الموزع: ١٣	١٣
الشكل (٤-١) المساوي الممكنة للتوليد الموزع: ١٤	١٤
الشكل (١-٢) مخطط الخط الواحد لنظام التوزيع مع التوليد الموزع: ١٨	١٨
الشكل (٢-٢) تيار العطل بدون التوليد الموزع: ١٩	١٩
الشكل (٣-٢) تيار العطل بعد إضافة عناصر التوليد الموزع: ١٩	١٩
الشكل (٤-٢) تيار العطل بدون التوليد الموزع على التوتر 132 KV: ٢٠	٢٠
الشكل (٥-٢) تيار العطل بعد إضافة عناصر التوليد الموزع على التوتر 132 KV: ٢٠	٢٠
الشكل (٦-٢) خط التوزيع الشعاعي: ٢٢	٢٢
الشكل (٧-٢) حماية المولد الموزع المستضاف في شبكة توتر متوسط: ٢٦	٢٦
الشكل (٨-٢) حماية المولد الموزع المستضاف في شبكة توتر عالي: ٢٧	٢٧
الشكل (٩-٢) مخطط الشبكة المدروسة: ٢٨	٢٨
الشكل (١٠-٢) مكان توضع الأعطال المدروسة: ٣١	٣١
الشكل (١١-٢) البنية الأساسية للمحركات الترددية: ٣٥	٣٥
الشكل (١٢-٢) البنية الأساسية للعنفات الميكروية: ٣٧	٣٧
الشكل (١٣-٢) مخطط محطة طاقة شمسية ذات القطوع المكافئة مع قنوات: ٤٠	٤٠
الشكل (١٤-٢) مخطط لمحطة برجية مع خزان طاقة حراري: ٤١	٤١
الشكل (١٥-٢) محطة الطاقة البرجية: ٤٢	٤٢
الشكل (١٦-٢) مخطط محطة طاقة شمسية ذات القطع المكافئ حسب مبدأ دش سترلينغ: ٤٣	٤٣
الشكل (١٧-٢) محطة طاقة شمسية دشية: ٤٣	٤٣
الشكل (١٨-٢) مقارنة بين استخدام محطات إنتاج الطاقة الكهربائية التقليدية ومولدات (CHP): ٤٤	٤٤
الشكل (١٩-٢) نسبة طاقة الكتلة الحيوية من احتياجات الطاقة في العالم: ٤٥	٤٥
الشكل (٢٠-٢) دورة الغاز الحيوي: ٤٨	٤٨
الشكل (٢١-٢) الاستطاعة المركبة في ألمانيا من محطات التوليد الموزع باستخدام الغاز الحيوي: ٤٨	٤٨
الشكل (٢٢-٢) منشأة لإنتاج الغاز الحيوي: ٤٩	٤٩
الشكل (٢٣-٢) بنية الخلايا الوقودية: ٥٠	٥٠
الشكل (٢٤-٢) مولدات الطاقة الحرارية والكهربائية CHP: ٥٣	٥٣
الشكل (٢٥-٢) مخطط الموقع العام لمحطة مختلطة (FC/GT): ٥٣	٥٣
الشكل (٢٦-٢) نمو سوق الخلايا الشمسية في العالم المتوقع حتى عام ٢٠٢٠: ٥٣	٥٣
الشكل (٢٧-٢) نظام كهروضوئي مربوط مع الشبكة الكهربائية: ٥٤	٥٤
الشكل (٢٨-٢) منحنى خصائص التيار والتوتر للوح الكهروضوئي: ٥٥	٥٥
الشكل (٢٩-٢) تناقص تكلفة الطاقة المنتجة بحسب سرعة الرياح: ٥٧	٥٧
الشكل (٣٠-٢) مكونات العنفة الريحية: ٥٨	٥٨
الشكل (٣١-٢) علاقة تيار القصر مع تغير التوتر: ٦٠	٦٠
الشكل (٣٢-٢) العلاقة بين زمن الفصل الحرج وثابت العطالة لمولدات مصادر التوليد المتنوع: ٦٧	٦٧
الشكل (١-٣) عناصر الحماية المباشرة: ٧٢	٧٢
الشكل (٢-٣) عناصر الحماية التي تستخدم بشكل غير مباشر: ٧٢	٧٢
الشكل (٣-٣) نظام قدرة كهربائي مع عناصر الحماية: ٧٥	٧٥

- الشكل (٤-٣) مخطط حماية لنظام توليد موزع (مولد أحادي الطور): ٧٨
- الشكل (٥-٣) مخطط حماية لنظام توليد موزع (مولد تحريضي): ٧٩
- الشكل (٦-٣) مخطط حماية لنظام توليد موزع (معرج أحادي الطور): ٨٠
- الشكل (٧-٣) التشغيل الطبيعي - زاوية الانزياح: ٨٢
- الشكل (٨-٣) فقدان التغذية الرئيسية - زاوية انزياح الدوار: ٨٣
- الشكل (٩-٣) انزياح شعاع التوتر: ٨٣
- الشكل (١-٤) تطور الطلب النهائي على الكهرباء: ٨٥
- الشكل (٢-٤) أطلس رياح سورية: ٨٩
- الشكل (٣-٤) توزيع محطات الرصد الريحية بالنسبة لأطلس الرياح السوري: ٩٠
- الشكل (٤-٤) صورة جوية لبحيرة قطينة: ٩٢
- الشكل (٥-٤) أطلس الرياح في محيط بحيرة قطينة: ٩٤
- الشكل (٦-٤) وردة الرياح: ٩٥
- الشكل (٧-٤) نوع العنفة: ٩٦
- الشكل (٨-٤) التوضع شبه النهائي المقترح لعنفات الرياح على محيط البحيرة: ٩٧
- الشكل (٩-٤) شكل المولد الريحي: ٩٩
- الشكل (١٠-٤) مخطط توزيع العنفات: ١٠١
- الشكل (١١-٤) مخطط (S.L.D) لتوصيل المحطة: ١٠٦
- الشكل (١٢-٤) الشبكة الكهربائية لمنطقة حمص 66KV: ١٠٩
- الشكل (١٣-٤) تمثيل الشبكة الكهربائية لمنطقة حمص باستخدام برنامج NEPLAN في الحالة النظامية: ١١٠
- الشكل (١٤-٤) شبكة شعاعية: ١١٢
- الشكل (١٥-٤) أزمنة تعيير الحماية: ١١٣
- الشكل (١٦-٤) تيار عمل الحاكمة وتيار الرجوع للحاكمة: ١١٤
- الشكل (١٧-٤) توضع قيمة تيار عمل الحاكمة: ١١٤
- الشكل (١٨-٤) شكل مميزة حاكمة التيار: ١١٥
- الشكل (١٩-٤) حمايات زيادة شدة التيار الكهربائي في جزء من الشبكة الكهربائية في الحالة النظامية: ١١٧
- الشكل (٢٠-٤) ميزة (التيار - الزمن): ١١٨
- الشكل (٢١-٤) مميزات حاكمة الممانعة مع عنصر اتجاهي: ١٢٠
- الشكل (٢٢-٤) مميزات حاكمة السماحية: ١٢١
- الشكل (٢٣-٤) مميزات حاكمة المفاعلة: ١٢٢
- الشكل (٢٤-٤) أثر المركبة الأومية على الممانعة المقاسة: ١٢٢
- الشكل (٢٥-٤) المميزات المضلعة للحاكمة المسافية: ١٢٣
- الشكل (٢٦-٤) مميزات الحاكمة ومناطق ممانعة العطل ومناطق ممانعة الحمل: ١٢٤
- الشكل (٢٧-٤) الحاكمة المسافية (ABB REL 316): ١٢٧
- الشكل (٢٨-٤) قيمة الممانعة وزاوية التعيير: ١٢٨
- الشكل (٢٩-٤) تعبيرات الزمن لمناطق الحماية المسافية: ١٢٩
- الشكل (٣٠-٤) المميزات المضلعة للحاكمة المسافية: ١٣٠
- الشكل (٣١-٤) جزء من الشبكة الكهربائية لمنطقة حمص مربوط عليها مزرعة ريحية: ١٣١
- الشكل (٣٢-٤) تيارات العطل المتوازنة للشبكة المدروسة قبل إضافة التوليد الموزع بيانياً: ١٣٢
- الشكل (٣٣-٤) تيارات العطل المتوازنة للشبكة المدروسة بعد إضافة التوليد الموزع بيانياً: ١٣٣
- الشكل (٣٤-٤) تيارات عطل الأحادي الطور للشبكة المدروسة بعد إضافة التوليد الموزع بيانياً: ١٣٤
- الشكل (٣٥-٤) مؤشر تزايد سوية العطل للشبكة المدروسة: ١٣٥
- الشكل (٣٦-٤) عطل على قضيب التجميع صافيتا: ١٣٦

- الشكل (٣٧-٤) منحنيات العمل لحمايات زيادة شدة التيار الكهربائي: ١٣٧
- الشكل (٣٨-٤) منحنيات العمل لحمايات زيادة شدة التيار الكهربائي: ١٣٨
- الشكل (٣٩-٤) أزمنة عمل الحواكم عند حدوث عطل متوازن بوجود مزرعة ريحية : ١٣٩
- الشكل (٤٠-٤) منحنيات العمل لحمايات زيادة شدة التيار الكهربائي: ١٤٠
- الشكل (٤١-٤) أزمنة عمل الحواكم عند حدوث عطل طور مع الأرض بوجود مزرعة ريحية : ١٤٠
- الشكل (٤٢-٤) عطل على قضيب التجميع الجديدة: ١٤٢
- الشكل (٤٣-٤) مناطق الحماية المسافية للحماية الموجودة على قضيب التجميع الجديدة: ١٤٢
- الشكل (٤٤-٤) مخطط تدرج مناطق الحماية الموجودة على الخط المعطل: ١٤٣
- الشكل (٤٥-٤) مناطق الحماية المسافية للحماية الموجودة على قضيب التجميع الجديدة: ١٤٤
- الشكل (٤٦-٤) مخطط تدرج مناطق الحماية الموجودة على الخط المعطل: ١٤٤

فهرس الجداول

الجدول	الصفحة
الجدول (١-١) استطاعات نظم التوليد الموزع	٦
الجدول (٢-١) انبعاثات الغازات الناتجة عن توليد الكهرباء	٨
الجدول (٣-١) الاستطاعات الكهروريحية المركبة في العالم	١٥
الجدول (٤-١) الاستطاعات الكهروضوئية المركبة في العالم	١٦
الجدول (١-٢) قيمة التيارات المارة في النظام عند ربط وحدة التوليد الموزع علنا لباسبار (L1)	٢٣
الجدول (٢-٢) قيمة التيارات المارة في النظام عند ربط وحدة التوليد الموزع على لباسبار (L2)	٢٣
الجدول (٣-٢) قيمة التيارات المارة في النظام عند ربط وحدة التوليد الموزع على لباسبار المحولة	٢٤
الجدول (٤-٢) المواصفات الفنية للتجهيزات المستخدمة	٢٩
الجدول (٥-٢) قيم معايرة حمايات الشبكة	٣٠
الجدول (٦-٢) قيم معايرة حمايات العنفات الريحية	٣٠
الجدول (٧-٢) قيم تيار العطل وزمن تشغيل الحواكم	٣١
الجدول (٨-٢) زمن عمل الحواكم الخاصة بالعنفات الريحية	٣٢
الجدول (٩-٢) زمن تشغيل الحواكم الخاصة بالعنفات الريحية	٣٢
الجدول (١٠-٢) محتوى الغاز الحيوي	٤٧
الجدول (١١-٢) تطور استطاعة خلايا الوقود	٥٠
الجدول (١٢-٢) مقارنة بين المحطات من حيث انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون	٥٢
الجدول (١٣-٢) الحدود المفروضة لقيمة تغير التوتر	٦٢
الجدول (١٤-٢) مستويات التشوه التوافقي لأنظمة التوتر	٦٣
الجدول (١٥-٢) حدود التيار لكل توافقية ولنظام توتر متوسط	٦٤
الجدول (١٦-٢) قيمة تيار التوافقية IH لوحدات التوليد الموزع والتي تيار الطور لها أقل من (16 A)	٦٥
الجدول (١-٣) أنواع الحماية المستخدمة في نظم التوليد الموزع	٧٧
الجدول (١-٤) الطلب على الكهرباء حسب قطاعات الاستهلاك	٨٥
الجدول (٢-٤) تطور حصة الفرد السنوية من الكهرباء و من الناتج المحلي الإجمالي	٨٦
الجدول (٣-٤) تطور معامل المرونة الداخلية للكهرباء	٨٧
الجدول (٤-٤) المتوسط الشهري لبيانات الرياح	٩٣
الجدول (٥-٤) الطاقة الكهربائية المنتجة من مزرعة الرياح	٩٨
الجدول (٦-٤) صافي الطاقة الكهربائية المنتجة	٩٨
الجدول (٧-٤) بيانات المولد الريحي	٩٩
الجدول (٨-٤) توزيع العنفات	١٠٠
الجدول (٩-٤) أطوال كابلات الـ ٢٠ ك.ف	١٠٢
الجدول (١٠-٤) مواصفات كابلات الـ ٢٠ ك.ف	١٠٣
الجدول (١١-٤) أطوال ومقاطع كابلات الـ ٢٠ ك.ف	١٠٣
الجدول (١٢-٤) مواصفات محولة الرفع	١٠٥
الجدول (١٣-٤) أحمال محطات التحويل في الشبكة المدروسة ليوم الذروة	١١١
الجدول (١٤-٤) تيار العطل لقضبان التجميع للشبكة المدروسة بدون توليد موزع	١٣٢
الجدول (١٥-٤) تيار العطل لقضبان التجميع للشبكة المدروسة بوجود توليد موزع	١٣٣
الجدول (١٦-٤) قيمة تيار العطل وأزمة عمل الحواكم في الحالات المدروسة	١٤١

الرموز والمصطلحات:

DG: Distributed Generation	التوليد الموزع
DER: Distributed Energy Resource	مصادر الطاقة الموزعة
RDG: Renewable Distributed Generation	مولدات الطاقة المتجددة الموزعة
GRI: Gas Research Institute	معهد أبحاث الغاز
EPRI: Electric Power Research Institute	معهد أبحاث الطاقة الكهربائية
CIGRE: International Council on Large Electric Systems	المجلس الدولي لأنظمة الطاقة الكهربائية
IEA: International Energy Agency	وكالة الطاقة الدولية
ICE: Internal Combustion Engines	محركات الاحتراق الداخلي
IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers	معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات
CSP: Concentrating Solar Power	مركزات الطاقة الشمسية
CHP: Combined Heat and Power	مولدات الطاقة الحرارية والكهربائية
FC: fuel cell	خلايا الوقود
PV: Photovoltaic	الخلايا الكهروضوئية
LV: Low Voltage	التوتر المنخفض
MV: Medium Voltage	التوتر المتوسط
HV: High Voltage	التوتر العالي
AC: Alternating Current	التيار المتناوب
DC: Direct Current	التيار المستمر
THD: Total Harmonic Distortion	التشوه التوافقي الكلي
IF: Fault Current	تيار العطل
Isc: Short circuit current	تيار قصر الدارة
In: Nominal current	التيار الإسمي
FLRI: Fault Level Rise Index	مؤشر تزايد سوية العطل
EPS: Electric power system	نظام الطاقة الكهربائية
APS: Adaptive Protection System	نظام الحماية المتكيف
LOC: Loss of Mains	فقدان منبع رئيسي
ROCOF: Rate of Change Of Frequency	معدل تغير التردد
VVS: Voltage Vector Shift	انزياح شعاع التوتر
LOG: Loss of Grid	فقدان الشبكة
AEP: Annual Energy production	الطاقة السنوية المنتجة
S.L.D: Single Line Diagram	مخطط الخط الواحد
NERC: National Energy Research Centre	المركز الوطني لبحوث الطاقة

الملخص:

بنيت شبكات التوزيع الحالية لنقل الطاقة الكهربائية من شبكات النقل ذات التوتر العالي والمتوسط إلى المستهلك النهائي عبر مراكز التحويل في مستوى التوتر المنخفض، في حين أن وجود نظم التوليد الموزع تتطلب شبكات توزيع أكثر فاعلية والتي تسمح بنقل الطاقة الكهربائية في الاتجاهين :

١- الاتجاه الأول: إلى مستخدمي الطاقة الكهربائية بغرض الاستهلاك.

٢- الاتجاه الثاني: إلى الشبكة وذلك عندما يصدر المستخدم استطاعة التوليد الفائضة.

ولكن هذا الواقع الجديد يفرض ظروفاً جديدة يمكن أن تعاني الشبكة الكهربائية المضيفة لنظم التوليد الموزع منها ممثلةً ببعض التأثيرات الفنية التي قد تكون إيجابية أو سلبية أو حيادية مثل جودة الطاقة الكهربائية، سويات العطل، الوثوقية، الاستقرار، الحماية، سلامة العاملين.

ورغم ذلك فإنه من المتوقع أن يكون لهذه التقنية دور فعال ومنتزاد في توليد الطاقة الكهربائية في المستقبل القريب. وخاصة تلك التقنيات التي تستخدم الطاقات المتجددة في توليد الطاقة الكهربائية.

لقد تم في هذا البحث إعطاء نظرة عامة على مولدات الطاقة الكهربائية الرئيسية المستخدمة في التوليد الموزع وعلى التأثيرات الفنية الرئيسية التي يربتها التوليد الموزع على نظام التوزيع فيما يتعلق بالجودة الكهربائية وسوية العطل والاستقرار.

بالإضافة إلى دراسة ربط مصادر التوليد الموزع مع الشبكات الكهربائية من وجهة نظر نظام الحماية. حيث يتم دراسة حماية خطوط النقل الكهربائية لجزء من شبكة منطقة حمص وذلك قبل وبعد اضافة مصدر توليد موزع (مزرعة ريحية باستطاعة ٥٠ ميغا واط) وتم إجراء نمذجة حاسوبية لهذه الشبكة باستخدام برنامج NEPLAN إضافةً إلى إجراء دراسة مفصلة لتأثير اضافة المزرعة الريحية على سويات العطل وتنسيق أجهزة الحماية خاصة الحماية المسافية، وحماية زيادة شدة التيار الكهربائي، وكذلك دراسة مدى مناسبة منظومة الحماية التقليدية للعمل في وجود وحدات توليد موزع.

المقدمة

مقدمة: introduction

مع زيادة نسبة اسهام التوليد الموزع فى الشبكات الكهربائية فقد نشأ العديد من المشاكل والتحديات أمام مهندسى التشغيل للنظم الكهربائية. لذا فقد أصبح من الضرورى بحث واستقصاء مجموعة من المفاهيم الجديدة الخاصة بربط مصادر التوليد الموزع مع الشبكة، وهذه المفاهيم تشمل مشاكل عدة خاصة تلك المتعلقة بتركيب وتشغيل واقتصاديات الشبكات بالإضافة إلى مجموعة القوانين الناظمة.

لقد حافظت منظومة القدرة الكهربائية وعلى امتداد أعوام كثيرة من التطور على هيكلية واحدة تتسم بجريان الاستطاعة باتجاه رئيسي واحد يبدأ من محطات الطاقة الكهربائية ذات المولدات المركزية الكبيرة عابرةً محولات القدرة إلى شبكة النقل عالية التوتر التي تسلم القدرة الكهربائية إلى نظام التوزيع عن طريق محولات الشبكة ومحولات التوزيع لتصل إلى الدارات النهائية حيث يتم توزيعها على المستهلكين غير أن إدخال تقنيات التوليد الموزع يؤدي إلى خلق حالات يكون فيها جريان القدرة باتجاهات متعددة في الشبكات التي صممت لجريان قدرة باتجاه واحد.

إن أهم مايميز دخول تقنيات التوليد الموزع إلى منظومة القدرة الكهربائية هو أن معظم الأنظمة المركبة في دول العالم تعتمد على الطاقات المتجددة في توليد القدرة الكهربائية. وذلك نتيجة ارتفاع معدلات الطلب الكلي على الطاقة بشكل متسارع والارتفاع المتزايد في أسعار النفط، إضافة إلى التغيرات المناخية التي تتبى بكوارث بيئية محتملة.

وإنطلاقاً من محدودية الموارد المحلية من النفط والغاز وتماشياً مع التوجه العالمي كان لابد من التوجه نحو استخدام مصادر الطاقة المتجددة لتلبية جزء من الطلب المحلي على الطاقة بشكل عام والطاقة الكهربائية بشكل خاص.

ونظراً لأن قطاع الكهرباء يسجل أعلى معدل نمو من بين أنماط الوقود والذي سينمو من ٢٧.١ تيرا واط ساعي عام ٢٠٠٥ (الانتاج الاجمالي (٣٥) تيرا واط ساعي) إلى حوالي ١٢٦ تيرا واط ساعي عام ٢٠٣٠ (الانتاج الاجمالي يقدر أن يتجاوز (١٤٠) تيرا واط ساعي)، وذلك وفقاً لدراسة استراتيجية الطلب والتزود الأمتل بالطاقة في سورية لغاية ٢٠٣٠.

وسعيّاً من وزارة الكهرباء لتحقيق الهدف الاستراتيجي المتمثل بتأمين الطاقة الكهربائية من خلال الموارد المحلية المتاحة بما فيها الطاقات الجديدة والمتجددة لتغطية النمو المتوقع للأحمال الكهربائية واستمرار الطلب على الكهرباء وفقاً لمعايير الأداء الاقتصادي الأمتل.

وبهدف الإنطلاق في مشاريع بناء مزارع الرياح كان لا بد من إنشاء مزرعة رياح للبدء بإستخدام هذه التكنولوجيا والتي بانت تنتج الطاقة الكهربائية بتكاليف مقبولة إقتصاديا, علماً بأن إستراتيجية وزارة الكهرباء هو الوصول إلى تركيب أكثر من (٢٥٠٠) ميغا واط من العنفات الريحية لغاية عام ٢٠٣٠ لإنتاج حوالي (٧) مليار كيلو واط ساعي/سنوياً من الطاقة الكهربائية. تم إقرار إنشاء مزرعة رياح باستطاعة (٥٠) ميغا واط لإنتاج الطاقة الكهربائية في منطقة حمص موقع قطينة و يعتبر من أفضل المواقع ذات الكمون الريحي المرتفع.

ولذلك يأتي هذا البحث في سياق دراسة حالة عملية تمثلت بدراسة المزرعة الريحية الآنفه الذكر، من وجهة نظر عمل نظام الحماية الكهربائية. اضافةً إلى أن هذا البحث يناقش موضوع ربط مصادر التوليد الموزع مع الشبكات الكهربائية والتأثيرات الفنية الممكنة على الشبكة المضيفة لنظم التوليد الموزع مثل (جودة الطاقة الكهربائية، سويات العطل، الوثوقية، الاستقرار، الحماية).

الفصل الأول

التعريف بنظم التوليد

الموزع

١-١ تعريف التوليد الموزع [20]:

يعتبر التوليد الموزع نظرة جديدة في انتاج الطاقة الكهربائية، وستكون له أهمية كبيرة في أنظمة التوليد المستقبلية، ولكن حتى الآن لا يوجد تعريف ثابت للتوليد الموزع حيث يوجد عدد كبير من التعاريف المستعملة فيما يتعلق بهذه النظم.

حيث يعرف في بلدان أمريكا الانكليزية في أغلب الأحيان بالتوليد المضمن (embedded generation)، أما في أمريكا الشمالية يستخدم تعبير التوليد المبعثر (dispersed generation)، وفي أوروبا وأجزاء من آسيا يستخدم تعبير التوليد اللامركزي (decentralized generation)، وكل هذه الأسماء تستعمل لنفس النوع من التوليد. ولكن البعض الآخر ربط تعريف التوليد الموزع باعتبارات أخرى مثل تصنيف استطاعة وحدات التوليد الموزع. فمعهد أبحاث الطاقة الكهربائية (EPRI) يعرف التوليد الموزع على أنه التوليد من بضعة الكيلو وات وحتى (٥٠) ميغا وات، أما معهد أبحاث الغاز (GRI) يعتبر التوليد الموزع نموذجياً إذا كان باستطاعة تتراوح بين (٢٥-٥٠) ميغا وات، بينما تعرف Car dell التوليد الموزع على أنه التوليد باستطاعة تتراوح بين (٠,٥ - ١) ميغا وات، أما المجلس الدولي لأنظمة التوتر العالي (CIGRE) يعرفه بأنه يشمل الاستطاعات الأصغر من (٥٠-١٠٠) ميغا وات.

نظراً لاختلاف التشريعات الخاصة بكل دولة فإنه تم تعريف نظم التوليد الموزع لكل منها حسب تشريعاتها. حيث يستخدم مصطلح التوليد الموزع في السوق الانكليزية وويلز في قطاع الكهرباء لمحطات التوليد ذات الاستطاعات الأقل من (١٠٠) ميغا وات حيث لا يمكن لهذه المحطات أن تبيع الطاقة المنتجة ضمن الشبكة العامة.

أما التشريع السويدي يطلق تعبير التوليد الموزع لوحدة التوليد ذات الاستطاعات الأقل من (١٥٠٠) كيلو وات. حيث يعتبر القانون السويدي أن مزارع الرياح التي تحتوي على عدد من العنفات والتي تصل إلى مئة عنفة على أنها توليد موزع لأنه يعتبر كل عنفة مركبة لوحدها ولكن بشرط أن تكون استطاعة كل عنفة أقل من (١٥٠٠) كيلو وات.

بينما وكالة الطاقة الدولية (IEA) تعرف التوليد الموزع بأنه وحدات توليد تستخدم منابع قابلة للتجديد وغير قابلة للنضوب لتوليد الكهرباء مثل حرارة وضوء الشمس، الرياح، طاقة المياه، الكتلة العضوية، والطاقة الجوفية للأرض.

وبسبب الاختلافات الكبيرة في التعاريف المستخدم للتوليد الموزع فإنه لابد من مناقشة بعض القضايا والأمور الهامة والتي يمكن أن توضح مفهوم التوليد الموزع وتعرفه بأكثر دقة:

١- الغرض أو الهدف

٢- الموقع

٣- تصنيف التوليد الموزع

٤- منطقة بيع أو تسليم الطاقة

٥- التقنية المستخدمة

٦- التأثير البيئي

٧- الملكية

٨- دخول أو نفاذ التوليد الموزع

١- الغرض أو الهدف: هناك اتفاق بين المنظمات العالمية ومراكز الأبحاث بخصوص تعريف الهدف من DG وهو تزويد الشبكة الكهربائية بمصادر ذات استطاعة فعلية وبالتالي إن التوليد الموزع ليس بحاجة أن يكون قادر على تزويد الشبكة باستطاعة ردية.

٢- الموقع: إن موقع تركيب نظم الـ DG مباشرة لشبكة التوزيع أو النظم المربوطة مباشرة إلى شبكة التغذية للمستهلكين أي بجانب الحمل، يعتبر الحافز الأكبر لاستخدام هذا التعريف لأن شبكات التوزيع موجودة سابقاً ولا نحتاج لشبكات جديدة، ولكن هذا التعريف يتطلب معرفة محددات أكثر دقة لنظام الربط والنقل والتوزيع وهذه المحددات تعتمد على مستوى التوتر الذي تم الربط عليه.

٣- تصنيف التوليد الموزع: إن الحد الأعلى لاستطاعة مولدات التوليد الموزع يحدد حسب نظام التوزيع المربوط معه من حيث استطاعة نظام التوزيع والذي يربط إلى مستوى فولتية محدد. وبسبب اختلاف استطاعات وحدات توليد الـ DG تم تصنيفها كما يلي:

1w-----5 Kw	توليد موزع دقيق (Micro)
5Kw-----5 Mw	توليد موزع صغير (Small)
5 Mw -----50 Mw	توليد موزع متوسط (Medium)
50 Mw -----300 Mw	توليد موزع كبير (Large)

٤- منطقة بيع أو تسليم الطاقة الكهربائية: تعرف منطقة تسليم الطاقة الكهربائية بأنها شبكة التوزيع والتي يتم ضخ كل الطاقة المنتجة من وحدات التوليد الموزع فيها. ولكن في بعض الظروف نجد أن ربط التعريف بمكان تسليم الطاقة الكهربائية غير مفيد ومثال على ذلك مرفق كهرباء نيوزيلندا يمتلك مزرعة رياح باستطاعة (3.5 Mw) مربوطة على شبكة توزيع (11/33 Kv) والطاقة المنتجة تستخدم كلياً ضمن الشبكة المملوكة للمرفق . لكن أثناء الليل يكون الطلب على الطاقة منخفض وسرعة الرياح تزداد وبالتالي فإن الطاقة المولدة لا يمكن استهلاكها ضمن المرفق وسوف تصدر في الحقيقة عبر شبكة النقل العامة وبالتالي فإن منطقة التسليم والتي حددت شبكات التوزيع تبطل هذا المشروع على أنه توليد موزع على الرغم من أنه مشروع توليد موزع مثالي. على أي حال إن التقييد بمناطق التسليم الكهربائية في تعريف DG يؤدي إلى تحليلات معقدة ضمن الشبكة.

٥- التقنية: في أغلب الأحيان يستخدم التوليد الموزع مجموعة من تقنيات التوليد التي تعتمد على الطاقة المتجددة. لكن التقنيات التي يمكن استخدامها غير محددة في هذا التعريف بالإضافة إلى أن التقنيات المتاحة تتفاوت على نحو واسع كما هو موضح بالجدول (١-١)

الجدول (١-١) استطاعات نظم التوليد الموزع [20]

Combined cycle gas	35–400 MW
Internal combustion engines	5 kW–10 MW
Combustion turbine	1–250 MW
Micro–Turbines	35 kW–1 MW
Renewable	
Small hydro	1–100 MW
Micro hydro	25 kW–1 MW
Wind turbine	200 Watt–3 MW
Photovoltaic arrays	20 Watt–100 kW
Solar thermal, central receiver	1–10 MW
Solar thermal, Lutz system	10–80 MW
Biomass, e.g. based on	100 kW–20 MW
Gasification	
Fuel cells, phosacid	200 kW–2 MW
Fuel cells, molten carbonate	250 kW–2 MW
Fuel cells, proton exchange	1 kW–250 kW
Fuel cells, solid oxide	250 kW–5 MW
Geothermal	5–100 MW
Ocean energy	100 kW–1 MW
Stirling engine	2–10 kW
Battery storage	500 kW–5 MW

كما أن وحدات التوليد التي تعتمد على مصادر الطاقات المتجددة تكون ذات كفاءة ومردود مختلف عن مثيلاتها التي تعتمد الوقود الأحفوري لعملها وذلك نظراً لأن الطاقات المتجددة يمكن أن تكون متوفرة بشكل كبير ولكن توفرها يختلف بشكل ملحوظ بين المناطق والبلدان.

إن التقنيات المستخدمة في الـ DG يمكن تجميعها وتركيبها في موقع التركيب وخلال فترة قصيرة وبالتالي تتطلب وقت أقل بشكل ملحوظ من محطات توليد الكهرباء المتمركزة. علاوةً على ذلك إن كل وحدة من وحدات الـ DG يمكن أن تبدأ بالعمل عند تركيبها في الموقع مباشرة ومستقلة عن باقي الوحدات. وفي حالة عطل أو فشل أي وحدة من الوحدات الـ DG المركبة فإن باقي الوحدات لا تتأثر وبالتالي الطاقة الكهربائية المنتجة لا تتأثر بشكل ملحوظ. بالإضافة إلى أن هذه التقنية تسمح بالتوسع لاحقاً أو تبديل موقع التركيب إلى موقع آخر.

٦- التأثير البيئي: غالباً ما يعرف نظام التوليد الموزع على أنه صديق للبيئة أكثر من نظام التوليد التقليدي. إن الجدول (١-٢) يعطي نظرة عامة لمعظم الانبعاثات الهامة المتعلقة بإنتاج الكهرباء استناداً لتقنيات التوليد المختلفة حيث تقسم هذه الانبعاثات إلى انبعاثات مباشرة وأخرى غير مباشرة. وتعرف الانبعاثات غير المباشرة على أنها الانبعاثات الناتجة عن عمليات التصنيع لوحدات التوليد وعملية نقلها.

الجدول (٢-١) انبعاثات الغازات الناتجة عن توليد الكهرباء [20]

Technology	Energy pay back time in months ^a	SO ₂ in kg/GWh	NO _x in kg/GWh	CO ₂ in t/GWh	CO ₂ and CO ₂ equivalent for methane in t/GWh
Coal fired (pit)	1.0–1.1	630–1370	630–1560	830–920	1240
Nuclear	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	28–54
Gas (CCGT)	0.4	45–140	650–810	370–420	450
Large hydro	5–6	18–21	34–40	7–8	5
Renewable distributed generation technologies					
Micro hydro	9–11	38–46	71–86	16–20	N.A.
Small hydro	8–9	24–29	46–56	10–12	2
Wind turbine					
4.5 m/s.	6–20	18–32	26–43	19–34	N.A.
5.5 m/s.	4–13	13–20	18–27	13–22	N.A.
6.5 m/s	2–8	10–16	14–22	10–17	11
Photovoltaic					
Mono-crystalline	72–93	230–295	270–340	200–260	N.A.
	58–74	260–330	250–310	190–250	228
Multi-crystalline	51–66	135–175	160–200	170–220	N.A.
Amorphous					
Geothermal	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	50–70
Tidal	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	2

نلاحظ أن الانبعاثات الناتجة من أنواع التقنيات المستخدمة في نظم توليد الـ DG تتخفض بشكل ملحوظ عن محطات التوليد التقليدية. وعلى سبيل المثال إن احتراق الوقود الحيوي يعطي انبعاثات من (20-40%) أقل من محطات الفحم الحجري.

كما يلاحظ من الجدول المذكور أن خلايا الوقود تقتصر الانبعاثات فيها على انبعاثات غير مباشرة ناتجة عن مزيج الطاقة المطلوب لإنتاج الهيدروجين.

إن المنافع البيئية الناجمة عن استخدام الـ DG تكون أكبر في حال تم تحديد حجم التوليد المطلوب بشكل دقيق وكذلك تحديد الموقع الصحيح لموقع التركيب، وبالتالي يمكن لنظم الـ DG تحسين الميزان البيئي على الرغم من وجود بعض الآثار الجانبية لاستخدامه مثل الضوضاء والتأثير البصري وغيرها. هذه الآثار يمكن أن تجعل التوليد الموزع غير ملائم في بعض المناطق ولكن الانبعاثات المنخفضة الناتجة عنها تجعلها النظم المطلوبة للحفاظ على البيئة.

٧- الملكية: يجب تحديد الجهة المالكة لنظم التوليد الموزع هل يتم امتلاكها من قبل المنتجين للكهرباء أو مملوكة من قبل المستهلكين أو الزبائن أنفسهم.

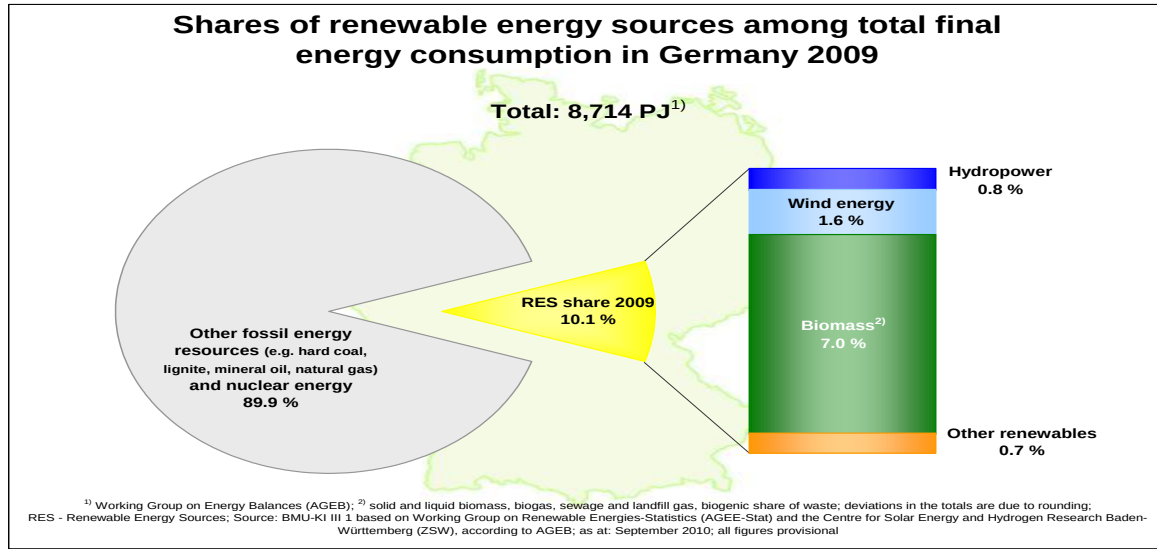
٨- دخول أو نفاذ التوليد الموزع: نظراً لأن وحدات الـ DG تربط على شبكة التوزيع فإن تركيبها لا يتطلب خطوط نقل أو محطات تحويل. كما أن هذه الوحدات قادرة على تغطية جزء من الطلب المحلي على الطاقة. بالتالي حسب معهد أبحاث الطاقة الكهربائية (EPRI) ومؤسسة أبحاث الغاز ستكون نسبة التوليد الموزع في عام ٢٠١٢ تتراوح بين (25-30%) من مجمل استطاعة محطات التوليد المركبة حديثاً. وهذا إن كان حقيقة فإنه من المحتمل أن نظم الـ DG ستغطي غالبية الطاقة ضمن شبكات التوزيع لذلك فإن دخول أو نفاذ التوليد الموزع ضمن المنظومة الكهربائية أصبح أمراً واقعياً ويمكن أن يصل لمستوى هام في المدى القريب. وأخيراً نظراً لعدم وجود تعريف موحد للتوليد الموزع فإنه يمكن اعتماد تعريف عام:

التوليد الموزع عبارة عن منابع للطاقة الكهربائية مبروطة مباشرة لشبكات التوزيع أو مكان استهلاك الطاقة من المستهلك ولا ينضوي تحت التعريف أي تصنيف لإستطاعات هذه النظم.

١-٢ دواعي ظهور التوليد الموزع [28]:

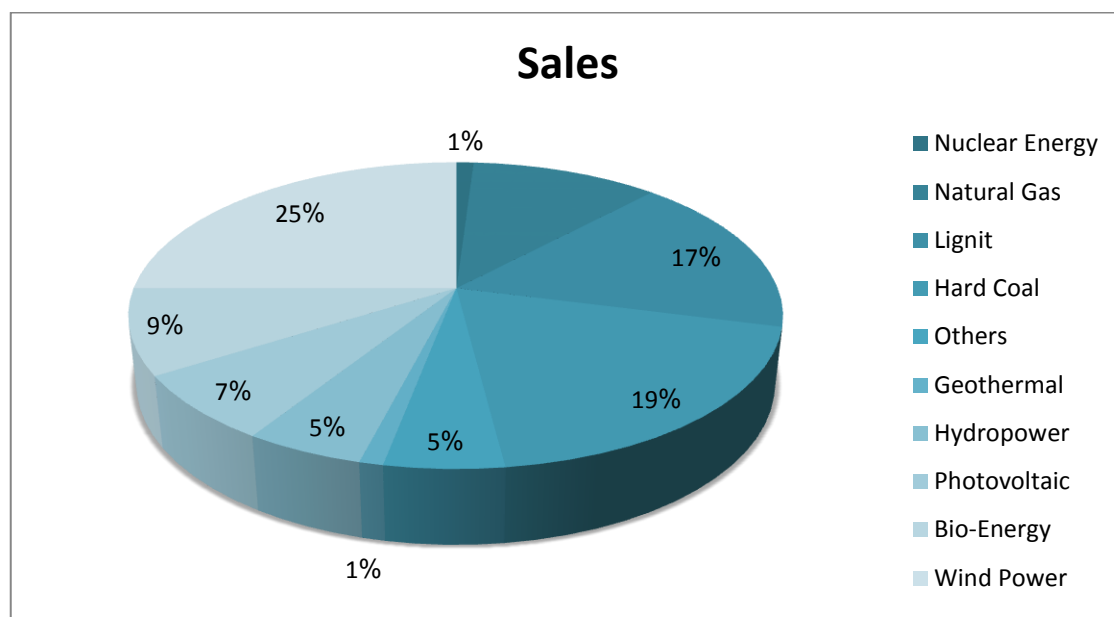
- إن من الأسباب المهمة التي أدت لظهور التوليد الموزع وانتشاره بشكل كبير على المستوى العالمي :
- إعادة هيكلة الشركات والمرافق الخاصة بتوليد ونقل الطاقة الكهربائية
 - زيادة احتياجات قدرة النظام
 - نظم التوليد الموزع يمكن أن تكون خيار توليد فعال لمقابلة النمو الكبير للطلب على الطاقة
 - التقدم الكبير في التقنيات المستخدمة في أنظمة التوليد الكهربائي والذي أدى لتبني التوليد الموزع
 - نقص كلفة توليد ونقل الطاقة الكهربائية
 - خصخصة قطاع الكهرباء وخلق أسواق تضم عدد كبير من المتنافسين العاملين في مجال التوليد الموزع مما يسهم في تطوير التكنولوجيات المستخدمة بشكل مستمر
- لكن إن أكثر النظم التي تم انتشارها على المستوى العالمي للتوليد الموزع هي تلك النظم التي تعتمد في توليد الكهرباء على الطاقات المتجددة وذلك لعدة منطقات:
- حيث يمثل المنطلق الأول البحث عن وسيلة للاستغناء ولو جزئياً عن البترول كمصدر أول للطاقة وذلك بسبب ما يسببه البترول والفحم (الوقود الاحفوري) من تلوث للبيئة باطلاقهما غازات مثل ثاني أكسيد الكربون وأكاسيد النيتروجين وبعض المركبات الهيدروكربونية التي لم تحترق ناهيك عن أكاسيد الكبريت وغيرها من الملوثات وهذه الغازات هي المسؤولة عن الاحتباس الحراري وبالتالي التغيرات البيئية مثل ارتفاع درجة الحرارة وقلّة الأمطار وبالتالي التصحر.
- أما المنطلق الثاني فهو زيادة نسب الاستخدام لمصادر الطاقة البديلة خصوصاً الطاقة الشمسية وطاقة الرياح وطاقة الحرارة الأرضية وطاقة المياه والأمواج وقد عمدت ذلك في سبيل تحقيق المزوجة بين عدة أنواع من تلك المصادر بحيث يفي كل نوع بنسبة معينة لتأمين الطاقة الكهربائية اللازمة فعلى سبيل المثال تنتج فرنسا (٢٠%) من حاجتها من الكهرباء من خلال استغلال طاقة الرياح وطاقة الكتلة الحيوية وخلايا الوقود وغيرها من مصادر الطاقة وما حققته فرنسا في هذا السبيل تعمل الدول الأخرى على تحقيقه ففي أمريكا يتم مزج الكحول مع البنزين بنسبة تتراوح ما بين (١٠-٢٠%) ليعطى ما يسمى بالغازهول gashol.

وهذا يعني ان أمريكا تحقق اكتفاء ذاتياً بنسبة (٢٠%) من هذه الوسيلة فقط بالإضافة إلى ما سوف تحققه من خلال الاستخدام الواسع للطاقة الشمسية وطاقة الرياح وغيرها من مصادر الطاقة التي يتم تطويرها وما تفعله فرنسا وأمريكا تفعله الدول المتقدمة الأخرى مثل ألمانيا والدول الاسكندنافية واليابان والصين وأسبانيا وغيرها من الدول ليس هذا فحسب بل إن كثيراً من الدول النامية قد تنبعت لهذا الأمر وأخذت تتجه نحو الاستفادة من مصادر الطاقة البديلة. ويوضح الشكل (١-١) نسبة مساهمة الطاقة المتجددة في ألمانيا والتي وصلت إلى (10.1%) من إجمالي الإنتاج المحلي للطاقة في عام ٢٠٠٩.



الشكل (١-١) نسبة مساهمة الطاقة المتجددة في ألمانيا من إجمالي الإنتاج المحلي للطاقة [23]

بينما من المتوقع أن تصل نسبة مساهمة الطاقات المتجددة من إجمالي الطلب الكلي على الطاقة الكهربائية في ألمانيا بحلول عام 2020 إلى حوالي (47%) وموزعة بين تقنيات الطاقات المتجددة كما هو موضح بالشكل (٢-١)

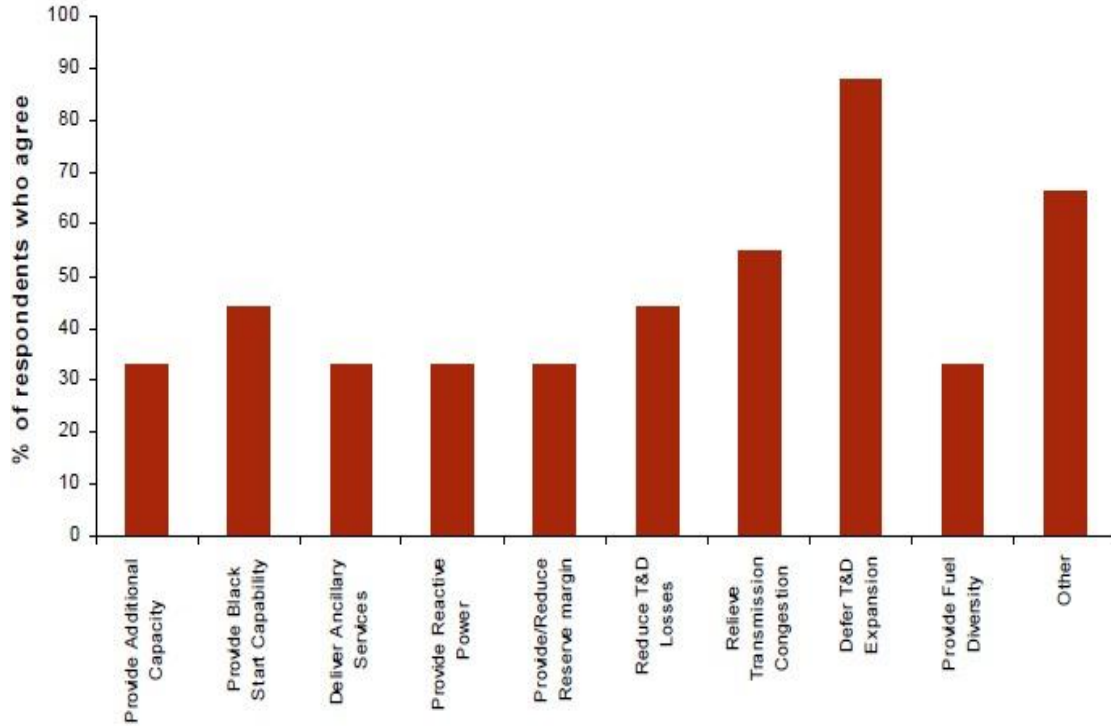


الشكل (١-٢) نسبة مساهمة الطاقات المتجددة من إجمالي الطلب الكلي على الطاقة الكهربائية في ألمانيا بحلول عام 2020 [23]

أما المنطلق الثالث الذي تنتهجه الدول الصناعية فهو الاستثمار في مجال إنتاج بدائل الطاقة وتطويرها وذلك من خلال التوجه للأسواق النامية وإبرام عقود بناء محطات ومصانع لإنتاج الطاقة فبعض الشركات أصبحت متخصصة في مجال حصاد الطاقة الشمسية وأخرى متخصصة في مجال حصاد طاقة الرياح.

١-٣ الفوائد الممكنة للتوليد الموزع [28]:

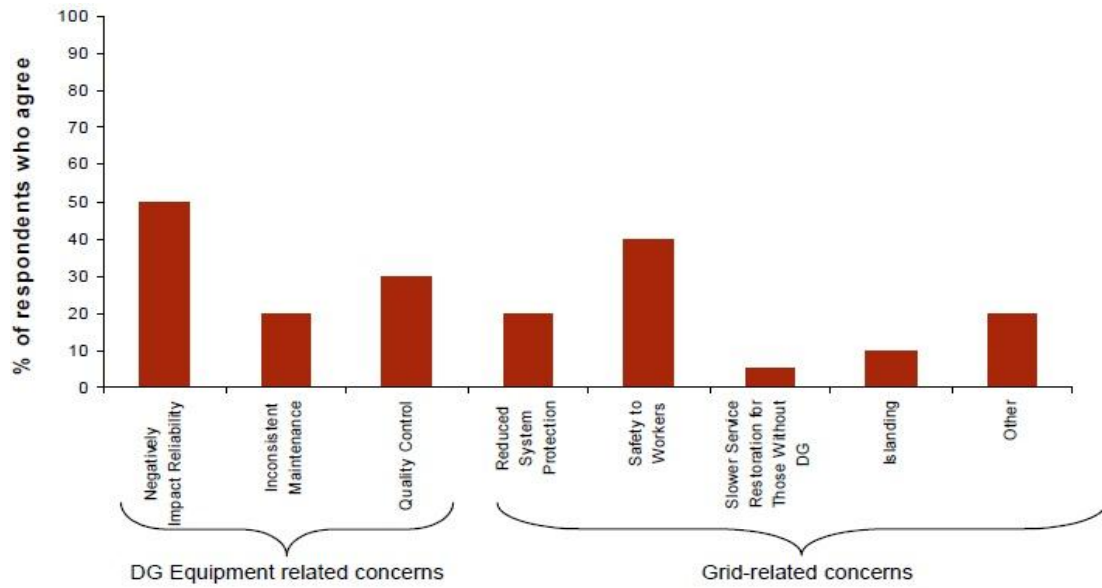
يعطي الشكل (٢-٣) نظرة عامة عن الفوائد الممكنة للتوليد الموزع وذلك من خلال تزويد الشبكة الكهربائية باستطاعة فعلية أو ردية اضافية ، تقليل المفايد الناتجة عن عمليات النقل والتوزيع للشبكات الكهربائية، التخفيف من الطاقة المنقولة عبر شبكات نقل الطاقة الكهربائية، تأجيل عمليات التوسع لشبكات النقل والتوزيع الكهربائية، تنوع مصادر الوقود. بالإضافة إلى فوائد أخرى متوفرة للمستهلكين مثل تأمين الطاقة الكهربائية في مكان الاستهلاك وبيع الفائض من الاستطاعة المولدة للشبكة العامة.



الشكل (٣-١) الفوائد الممكنة للتوليد الموزع [28]

١-٤ المساوئ الممكنة للتوليد الموزع:

يعطي الشكل (٤-٢) نظرة عامة عن المساوئ الناتجة عن استخدام نظم التوليد الموزع ويمكن أن تكون هذه المساوئ ضمن تجهيزات وحدة التوليد مثل التأثير على وثوقية النظام، الاختلاف أو التضارب في عمليات الصيانة وغيرها. أو ممكن أن تكون في الشبكة المربوط عليها نظام الـ DG مثل تخفيف حماية الشبكة الكهربائية، التأثير على أمان عمال الصيانة، حالة التجزر وغيرها من بعض المساوئ التي يمكن أن تنتج عن استخدام الـ DG.



الشكل (١-٤) المساوئ الممكنة للتوليد الموزع [28]

١-٥ حجم التوليد الموزع على المستوى العالمي [23]:

الجدول (٣-١) الاستطاعات الكهروميكانيكية المركبة في العالم [23]

Megawatts	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
US	4674	6361	6750	9181	11635	16879	25237	35159	40274	47084
Canada	270	351	444	683	1459	1845	2371	3321	4011	5278
Mexico	3	3	3	3	86	86	332	453	769	1123
Total North America	4947	6715	7197	9867	13180	18810	27940	38933	45054	53485
Argentina	28	30	30	31	31	31	33	33	33	112
Brazil	22	29	29	29	237	247	341	606	927	1425
Costa Rica	79	79	79	79	79	79	104	129	179	192
Other S. & Cent. America	9	50	54	54	56	79	153	321	463	930
Total S. & Cent. America	140	190	194	195	397	581	977	1089	1602	2659
Austria	139	415	607	820	966	983	997	997	1013	1086
Belgium	45	78	106	177	222	297	385	605	955	1147
Bulgaria	-	-	-	0	0	18	66	131	470	582
Denmark	2880	3076	3083	3087	3101	3088	3159	3408	3805	3926
Finland	44	53	83	85	89	113	113	117	169	178
France	183	274	386	775	1585	2471	3671	4775	5961	6836
Germany	11989	14604	16623	18390	20579	22194	23826	25703	27191	29075
Greece	292	408	480	603	749	850	996	1155	1320	1627
Hungary	1	3	3	17	60	65	162	229	323	357
Ireland	167	230	339	498	748	807	1015	1187	1449	1688
Italy	806	922	1261	1713	2118	2721	3731	4845	5793	6743
Netherlands	727	938	1081	1221	1557	1745	2222	2226	2241	2309
Norway	97	101	158	275	328	355	385	390	411	496
Poland	54	55	55	65	170	313	472	849	1231	1667
Portugal	204	311	585	1087	1716	2150	2829	3474	3837	4214
Romania	-	-	-	0	3	15	76	129	470	990
Spain	5033	6185	8462	10013	11595	15155	16699	19160	20676	21726
Sweden	372	428	478	554	571	789	1024	1537	2141	2904
Turkey	19	20	20	20	50	147	458	801	1320	1729
United Kingdom	570	759	889	1336	1955	2477	3406	4424	5378	6470
Other Europe & Eurasia	73	92	116	160	246	324	338	565	885	1085
Total Europe & Eurasia	23695	28952	34815	40896	48408	57077	66030	76707	87039	96835
Iran	12	12	15	21	48	74	84	92	90	91
Other Middle East	9	9	9	9	9	9	9	9	11	13
Total Middle East	33	72	101	101	101	101	101	101	101	104
Egypt	69	123	146	180	231	310	384	552	552	552
Morocco	54	54	54	64	122	124	206	254	263	292
Tunisia	19	28	28	28	28	28	62	160	247	277
Other Africa	6	6	6	6	5	7	44	49	51	125
Total Africa	148	211	234	278	386	469	696	1015	1113	1246
Australia	190	240	421	717	796	972	1587	1886	2120	2476
China	473	571	769	1264	2588	5875	12121	25853	44781	62412
India	1702	2125	3000	4430	6270	7845	9655	10926	13065	16078
Japan	486	761	991	1159	1457	1681	2033	2208	2429	2595
New Zealand	35	56	167	167	170	321	325	467	495	603
South Korea	14	21	69	89	194	235	311	311	342	370
Taiwan	9	9	12	72	118	224	369	411	454	499
Other Asia Pacific	7	7	9	34	40	40	45	74	94	123
Total Asia Pacific	2916	3790	5438	7932	11633	17193	26446	42136	63780	85156

الجدول (١-٤) الاستطاعات الكهروضوئية المركبة في العالم [23]

Megawatts	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
US	139	168	212	275	376	479	624	831	1169	1616	2534	4389
Canada	7	9	10	12	14	17	21	26	33	95	291	654
Mexico	14	15	16	17	18	19	20	21	22	25	31	41
Total North America	160	192	238	304	408	514	664	877	1223	1736	2856	5084
Austria	5	6	10	17	21	24	26	28	32	53	96	174
Belgium	0	0	0	0	0	2	4	27	108	627	1044	1820
Bulgaria	0	0	0	0	0	0	0	0	1	7	35	135
Czech Republic	0	0	0	0	0	0	1	3	64	462	1952	1959
Denmark	2	2	2	2	2	3	3	3	3	5	7	17
Finland	3	3	3	3	4	4	4	4	4	5	7	8
France	11	14	17	21	26	33	44	75	180	335	1054	2576
Germany	76	186	296	435	1105	2056	2899	4170	6120	9914	17320	24820
Greece	0	0	0	1	3	5	7	8	18	55	205	631
Italy	19	20	22	26	31	38	50	120	458	1181	3502	12782
Netherlands	13	21	26	46	49	51	52	53	57	68	88	118
Norway	6	6	6	7	7	7	8	8	8	9	9	10
Portugal	1	1	2	2	3	3	3	18	68	102	131	144
Slovakia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	148	462
Spain	2	4	7	12	24	49	148	705	3463	3523	3915	4270
Sweden	3	3	3	4	4	4	5	6	8	9	11	19
Switzerland	15	18	20	21	23	27	30	36	48	74	111	211
Turkey	0	1	1	1	2	2	3	3	4	5	6	12
United Kingdom	2	3	4	6	8	11	14	18	23	26	70	1014
Rest of European Union	3	3	5	18	28	29	30	31	37	44	103	173
Total Europe	161	289	424	621	1340	2348	3330	5317	10704	16502	29814	51353
Australia	29	34	39	46	52	61	70	83	105	188	571	1345
China	19	30	45	55	64	68	80	100	140	300	800	3000
Israel	0	0	0	0	1	1	1	2	3	25	70	200
India	1	2	4	6	10	18	30	31	71	101	161	427
Japan	330	453	637	860	1132	1422	1709	1919	2144	2627	3618	4914
South Korea	4	5	5	6	9	14	36	81	358	524	656	748
Malaysia	0	0	0	0	0	0	6	7	9	11	13	13
Rest of World	701	754	832	906	932	913	1041	1147	1224	1286	1472	2288
Total Others	1085	1277	1561	1878	2199	2496	2972	3369	4053	5061	7360	12934
Total World	1405	1758	2224	2803	3947	5358	6967	9564	15981	23299	40030	69371

الفصل الثاني

الدراسة المرجعية

٢-١ دراسة مرجعية لأهم الأبحاث والمنشورات التي تتعلق بالتوليد الموزع.

٢-١-١-٢ - دراسة مرجعية في نمذجة الشبكات الكهربائية [18]:

تصمم شبكات التوزيع بحيث يكون جريان القدرة باتجاه واحد (شعاعية)، ولحماية الشبكة تزود بحاكمات حماية مناسبة، ولكن إدخال تقنيات التوليد الموزع يؤدي إلى خلق حالات يكون فيها جريان القدرة باتجاهات متعددة في الشبكات التي صممت لجريان قدرة باتجاه واحد. هذا التغيير يمكن أن يؤثر على نظام الحماية وذلك من خلال مجموعة من الحالات:

- ١- فصل خاطئ للمغذيات.
- ٢- زيادة أو نقصان مستوى العطل.
- ٣- إعماء الحماية.

عند إضافة التوليد الموزع يجب دراسة حالة الشبكة المضيفة كما يجب أن تكون الإضافة في مناطق معينة من الشبكة.

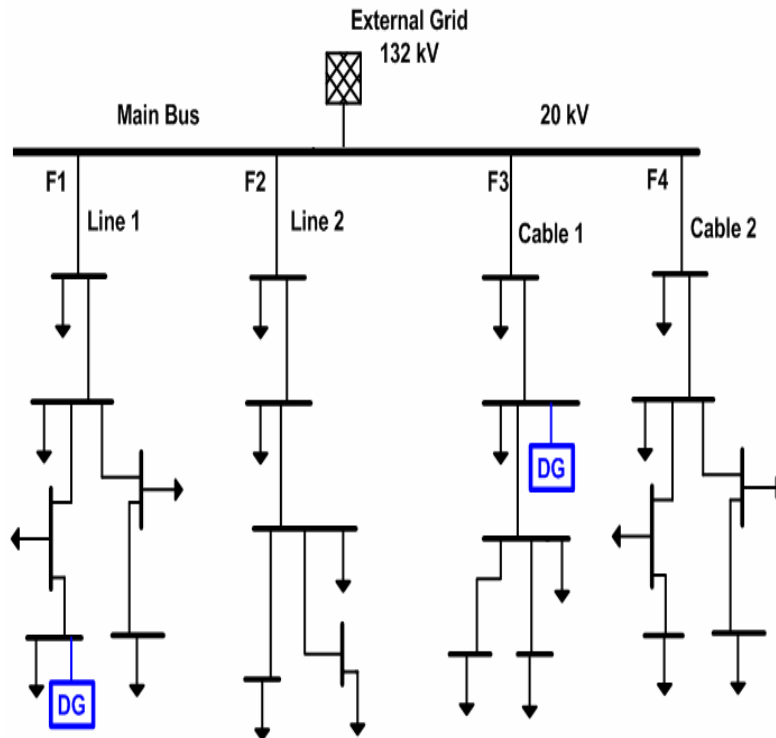
٢-١-٢ - دراسة مرجعية صادرة عن مركز البحوث الهندسية لتنظم القدرة (بالتعاون مع بعض الجامعات في الولايات المتحدة الأمريكية) تبين مساهمة التوليد الموزع في تغير سويات العطل في الشبكات الكهربائية [17]:

يتزايد الاهتمام بالتوليد الموزع من قبل الجهات الرسمية وذلك بسبب المخاوف البيئية الناتجة عن محطات التوليد التقليدية وارتفاع درجات الحرارة وتشكل ظاهرة الاحتباس الحراري. ولكن المخاوف التي تحد من انتشار التوليد الموزع هو تأثيره على تيارات الأعطال وتنسيق الحماية وتعابير القواطع الآلية، يتم التعامل مع النظام الجديد بطرق مختلفة عن الطرق القديمة. تفيد حسابات العطل في نظام القدرة في تحديد إمكانية فصل العطل عن طريق القواطع الآلية، وتعتمد حسابات العطل بشكل أساسي على مصفوفة Zbus، فبعد إضافة التوليد الموزع يتم تعديل مصفوفة Zbus بما يتوافق مع التوليد الموزع المضاف إلى الشبكة. يؤدي ذلك إلى زيادة تكاليف التشغيل لدى العاملين في المحطات بسبب زيادة احتمال حدوث الأعطال في الشبكات المحتوية على التوليد الموزع، فإضافة المولد الجديد يؤدي إلى الحاجة لإعادة تصميم نظام الحماية، كما أنه من أجل تنسيق الحماية فنحن بحاجة إلى تقنيات جديدة تعتمد على الحلول المثلى كالبرمجة الخطية والخوارزميات الوراثية.

وتعتبر طريقة البرمجة الخطية طريقة غير دقيقة عند دراسة الأعطال على المسافات البعيدة والتي تحوي نظام حمايات معقد يحوي مجموعة مستويات ويتطلب دراسة واسعة من أجل تنسيق الحماية لذلك تستخدم هذه الطريقة في حالة الأنظمة التي لا تحوي توليد موزع. لذلك فقد تم تطوير تقنية جديدة تسمى مستعمرة النمل الاصطناعية، والتي يمكن بواسطتها تحديد عيارات الحماية والتأخير الزمني لفصل الحماية حسب مبدأ تنسيق الحماية. وإن الفائدة الرئيسية لهذه الطريقة هي قدرتها على التعامل مع الحماية المسافية الموجودة على طول الخط وعلى مسافات كبيرة، وتحقيق أمثلية الفصل والوصل للحمايات المركبة على النظام.

٢-١-٣- دراسة حالة نظام توزيع شعاعي [19]:

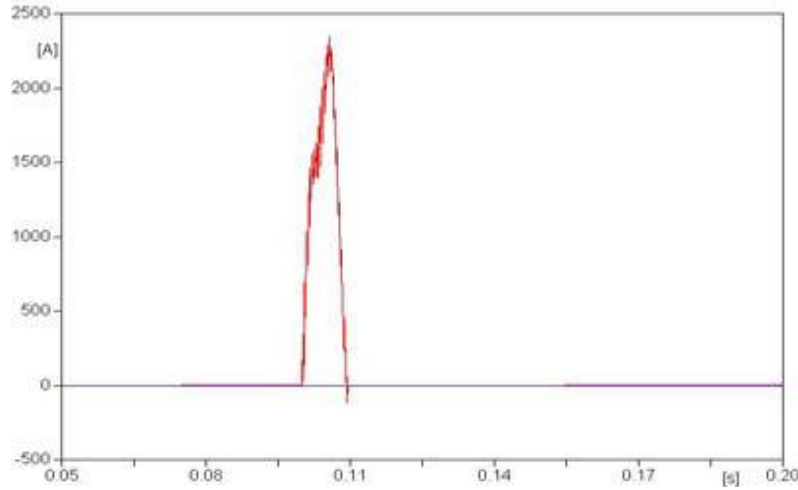
يتناول هذا البحث دراسة نظام توزيع شعاعي مبين في الشكل (٢-١) بتوتر 20 KV، وهذه الدراسة صادرة عن جامعة Amirkabir في إيران بالتعاون مع شركة توزيع الطاقة الكهربائية. تمت إضافة عناصر التوليد الموزع إلى هذه الشبكة، تغذى من شبكة توتر عالي 132KV. يتم اختبار الشبكة عن طريق تطبيق مجموعة من الأعطال على المغذيات بحالات مختلفة وذلك باستخدام برنامج ATP-EMTP مع افتراض زمن بداية العطل 0.1 ثانية، ودراسة النظام خلال الفترة الزمنية من (0.05-0.2) ثانية.



الشكل (٢-١) مخطط الخط الواحد لنظام التوزيع مع التوليد الموزع [19].

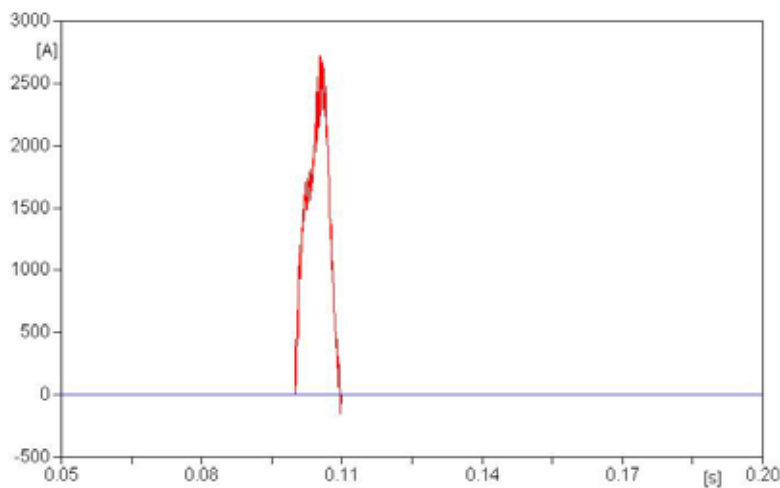
نتائج المحاكاة:

- ١- عند إجراء العطل على أحد مغذيات الشبكة بدون وجود عناصر التوليد الموزع ينتج تيار عطل بقيمة كبير تصل إلى حوالي 2400 [A] ثم يتم فصل العطل بعد 0.1 ثانية، و يبين الشكل (٥-٢) تيار العطل بدون التوليد الموزع.



الشكل (٢-٢) تيار العطل بدون التوليد الموزع [19].

- ٢- يتم إضافة عناصر التوليد الموزع إلى الشبكة السابقة وإجراء العطل على أحد النهايات المغذاة من الشبكة العامة من جهة ومن التوليد الموزع من جهة ثانية، بعد دراسة حالة العطل تبين مرور تيار عطل بقيمة 2600 [A] بنفس شروط العطل السابقة وبنفس فترة الدراسة، حيث يبين الشكل (٦-٢) تيار العطل بعد إضافة عناصر التوليد الموزع.

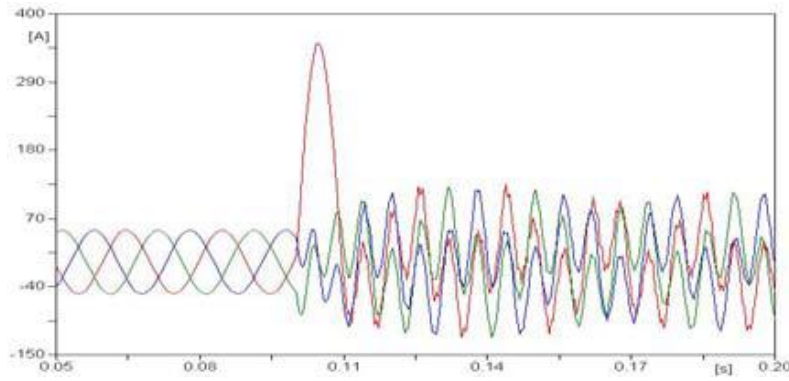


الشكل (٣-٢) تيار العطل بعد إضافة عناصر التوليد الموزع [19].

نلاحظ ازدياد تيار العطل بحوالي [A] 200 عند إضافة التوليد الموزع DG، وبالتالي يمكن حساب مؤشر تزايد سوية العطل (FLRI) Fault Level rise index من العلاقة

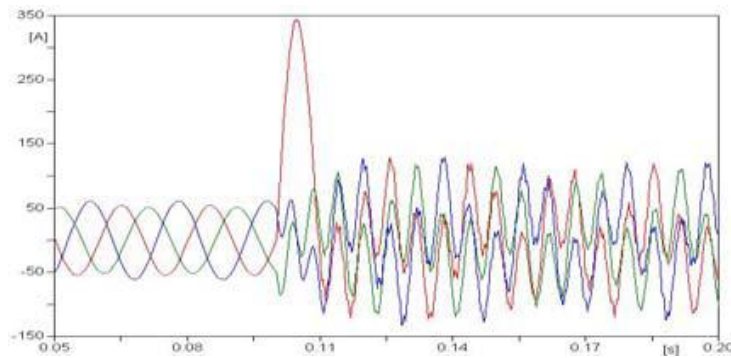
$$FLRI\% = \frac{2600 - 2400}{2400} * 100 = 8.33\%$$

٣- يبين الشكل (٢-٤) موجة التيار على التوت [KV] 132 قبل إضافة التوليد الموزع حيث يبلغ تيار الحمل المستقر من شبكة التوتر العالي [A] ٥٠، بينما بلغ التيار أثناء العطل حوالي [A] 300 وعند فصل العطل بقي التيار غير مستقر حتى اللحظة [Sec] 2 (فترة انتهاء الدراسة).



الشكل (٢-٤) تيار العطل بدون التوليد الموزع على التوتر [132[kV] 19].

٤- نقوم بضم عناصر التوليد الموزع ودراسة التيار على التوتر [kV] 132 حيث نلاحظ كما في الحالات السابقة زيادة التيار أثناء العطل عن الحالة السابقة قبل إضافة التوليد الموزع الشكل (٢-٥).



الشكل (٢-٥) تيار العطل بعد إضافة عناصر التوليد الموزع على التوتر [132[kV] 19].

من الدراسة السابقة نستنتج أنه بالإضافة إلى المزايا التي تنتج من إضافة عناصر التوليد الموزع إلى الشبكة، يوجد بعض المشاكل الناتجة عن عدم التوافق بين وحدات التوليد الموزع DG، ونظام الحماية في الشبكات الكهربائية جعلت بعض النظم تصر على ضرورة فصل المولدات الموزعة عند حدوث

العطل، وهذا الأمر غير مطلوب دائماً أو محتمل بشكل دائم ويتبع لذلك الشبكة المدروسة و قدرة الشبكة على التصدي لتيار العطل الحاصل، ومكان تركيب المولدات الموزعة واستطاعتها. يستخلص من الدراسة المرجعية ما يلي:

يؤدي تركيب عناصر التوليد الموزع إلى زيادة مستويات تيارات العطل الحالية، فالقواطع الآلية والحمايات والتجهيزات تصمم وتنسق على أساس النظام بدون توليد موزع ولكن بعد تركيب المولدات الجديدة تصبح التيارات أكبر.

تصر بعض الأنظمة على ضرورة فصل التوليد الموزع عند حدوث العطل في الحالات الآتية:
١- عند حدوث العطل بالقرب من عناصر التوليد الموزع يجب فصل التوليد الموزع في هذه الحالة و بدون تأخير زمني.

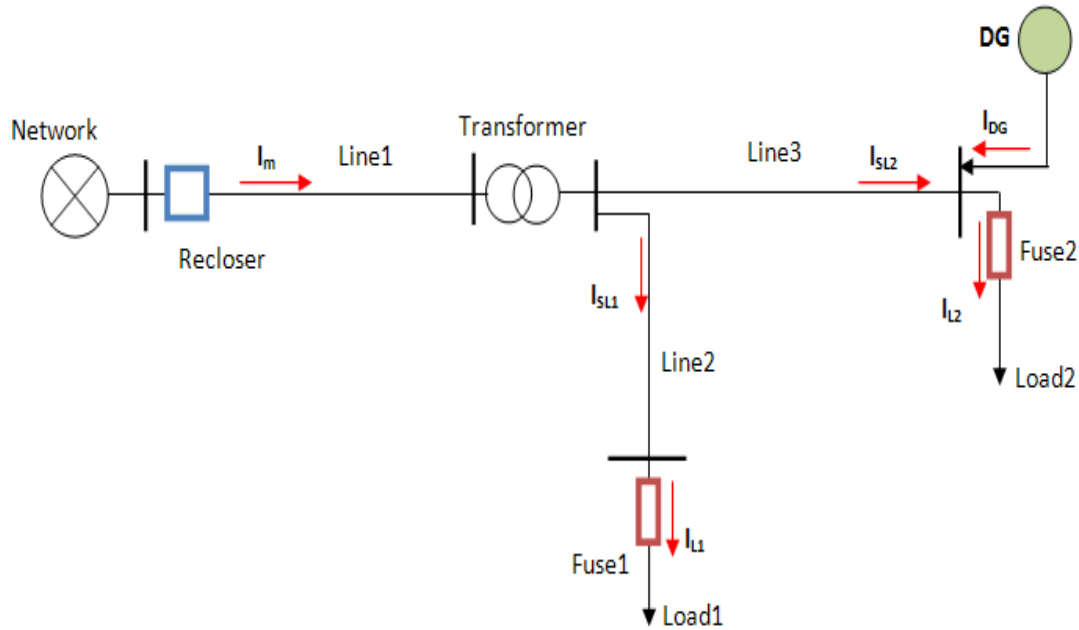
٢- اذا كانت عناصر التوليد الموزع مركبة عند الحمل، وعند حدوث العطل يتم فصل قواطع الشبكة الرئيسية، بالتالي فإن التوليد الموزع لا يستطيع دعم المتطلبات الكهربائية لنظام التوزيع.

٣- للمحافظة على عيارات أجهزة الحماية، وسهولة تحديد مكان العطل، (ولأنه في هذه الحالة تستمر التغذية من عناصر التوليد الموزع حتى في حال فصل القواطع على الشبكة).
لذلك يجب فصل التوليد الموزع عن الشبكة وبسرعة ويتعلق زمن الفصل بمستويات التوتر في شبكة التوزيع،

٢-١-٤ - دراسة دراسة مرجعية صادرة عن قسم هندسة الطاقة الكهربائية كلية الهندسة جامعة المنصورة في مصر تبين تأثير التوليد الموزع على تنسيق أجهزة الحماية [31]:

مع زيادة نسبة اسهام التوليد الموزع في شبكات التوزيع فقد نشأ العديد من المشاكل والتحديات أمام مهندسي التشغيل في شبكات التوزيع. لذا فقد أصبح من الضروري بحث واستقصاء مجموعة من المفاهيم الجديدة الخاصة بربط مصادر التوليد الموزع مع الشبكة، وهذه المفاهيم تشمل مشاكل خاصة بتشغيل واقتصاديات الشبكات بالإضافة إلى مجموعة القوانين المنظمة.

حيث تم دراسة خط توزيع شعاعي الموضح بالشكل (٢-٦) ضد زيادة التيار باستخدام مصهرات ومعدات توصيل أوتوماتيكية Autoreclosers وذلك قبل وبعد اضافة مصدر توليد موزع.



الشكل (٦-٢) خط التوزيع الشعاعي [31]

وقد تم استنباط نموذج حاسوبي باستخدام بيئة MATLAB-SIMULINK وتم تصميم موديل لتمثيل كلا من المصدر ومعيد التوصيل حيث لا يوجد عنصر يمثلها في بيئة SIMULINK النظام الكهربائي، وبعد ذلك تم عمل محاكاة مفصلة لدراسة تأثير اضافة مصدر توليد موزع على تنسيق عمل أجهزة الحماية بالخط وذلك عند ربط وحدة التوليد الموزع على الباسبارات (L1,L2,Tr) على التوالي وباستطاعات مختلفة لوحدة التوليد الموزع فكانت قيمة التيارات المارة في كافة فروع النظام المدروس وعند جميع الحالات موضحة كمايلي:

الجدول (٢-١) قيمة التيارات المارة في النظام عند ربط وحدة التوليد الموزع على الباسبار (L1) [31]

Current Case	I_m	I_{DG}	I_{SL1}	I_{L1}	I_{SL2}	I_{L2}
Without DG	12.67	0	66.52	66.52	110	110
With 0.25MVA	11.32	46.85	60.65	65.75	108.9	108.9
With 0.5 MVA	10.4	78.66	77.82	65.14	108.1	108.1
With 0.75 VA	9.736	101.3	95.93	64.67	107.5	107.5
With 1.0 MVA	9.24	118.3	111.1	64.29	107	107
With 1.25 MVA	8.857	131.5	123.6	63.98	106.6	106.6
With 1.5 MVA	8.554	142	133.	63.73	106.3	106.3
With 1.75 MVA	8.309	150.6	142.3	63.51	106.1	106.1
With 2.0 MVA	8.106	157.7	149.2	63.33	105.9	105.9

الجدول (٢-٢) قيمة التيارات المارة في النظام عند ربط وحدة التوليد الموزع على الباسبار (L2) [31]

Current Case	I_m	I_{DG}	I_{SL1}	I_{L1}	I_{SL2}	I_{L2}
Without DG	12.67	0	66.52	66.52	110	110
With 0.25MVA	11.38	46.02	65.92	65.92	92.95	108.9
With 0.5 MVA	10.48	77.3	65.7	65.7	96.51	108.1
With 0.75 VA	9.831	99.77	65.12	65.12	106.5	107.4
With 1.0 MVA	9.339	116.6	64.85	64.85	117	106.8
With 1.25 MVA	8.955	129.7	64.63	64.63	126.6	106.3
With 1.5 MVA	8.65	140.2	64.46	64.46	135	105.9
With 1.75 MVA	8.4	148.7	64.31	64.31	142.2	105.6
With 2.0 MVA	8.194	155.8	64.19	64.19	148.4	105.3

الجدول (٣-٢) قيمة التيارات المارة في النظام عند ربط وحدة التوليد الموزع على باسبار المحولة [31](Tr)

Current Case	I_m	I_{DG}	I_{SL1}	I_{L1}	I_{SL2}	I_{L2}
Without DG	12.67	0	66.52	66.52	110	110
With 0.25MVA	11.13	52.41	65.73	65.73	108.7	108.7
With 0.5 MVA	9.957	92.66	65.12	65.12	107.7	107.7
With 0.75 VA	9.024	124.6	64.64	64.64	106.9	106.9
With 1.0 MVA	8.268	150.4	64.25	64.25	106.2	106.2
With 1.25 MVA	7.641	171.9	63.93	63.93	105.7	105.7
With 1.5 MVA	7.114	189.9	63.66	63.66	105.3	105.3
With 1.75 MVA	6.666	205.3	63.43	63.43	104.9	104.9
With 2.0 MVA	6.277	218.6	63.23	63.23	104.5	104.5

واستناداً إلى القيم الناتجة أعلاه يمكن تمييز حالتين:

- قيمة التيار المار خلال معيد الإغلاق تتناقص مع ازدياد استطاعة وحدة التوليد الموزع وذلك عند ربطها على الباسبارات (L1,L2,Tr) على التوالي.
 - قيمة التيار المار في المنصهرات الموجودة عند أطراف الأحمال تكون ثابتة تقريباً عند زيادة استطاعة وحدة التوليد الموزع وذلك عند ربطها على الباسبارات (L1,L2,Tr) على التوالي.
- وبالتالي فإن تكامل التوليد الموزع مع نظام التوزيع الكهربائي يؤثر على تنسيق أجهزة الحماية الموجودة في النظام الكهربائي نتيجة إعادة توزيع تيارات الفروع.

يستخلص من هذه الدراسة مايلي:

- مكاملة مصادر التوليد الموزع بنظام التوزيع الكلاسيكي يؤدي إلى الحاجة لدراسة حماية نظام التوزيع لاستكشاف ملائمة أدوات الحماية الكلاسيكية وذلك بعد إضافة مصدر التوليد الموزع.
- إن التنسيق بين المنصهرات ومعدات التوصيل يمكن أن يتأثر في حالة إضافة قيم كبيرة من مصادر التوليد الموزع.

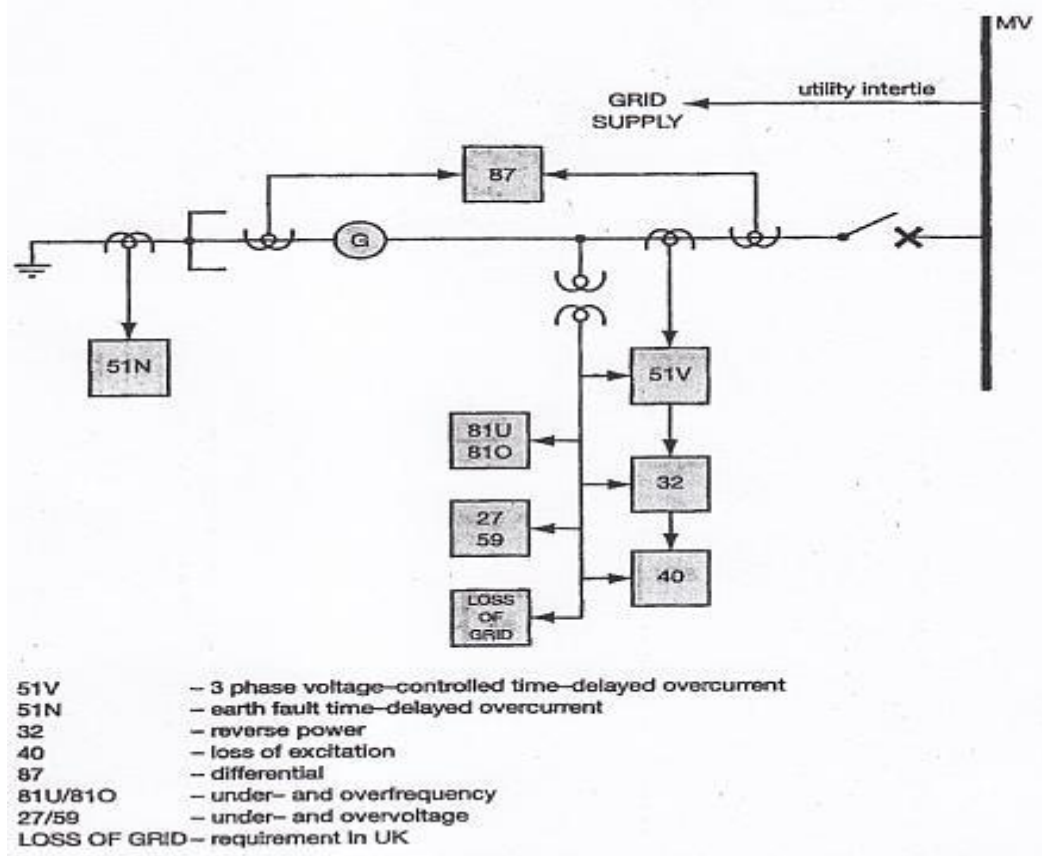
- كما أن تنسيق أنظمة الحماية الكهربائية يكون حساسا لكل من شكل المنظومة ومكان اضافة مصادر التوليد الموزع.

٢-١-٥ دراسة استراتيجية حماية مولد موزع مستضاف في شبكة توزيع

[1]:

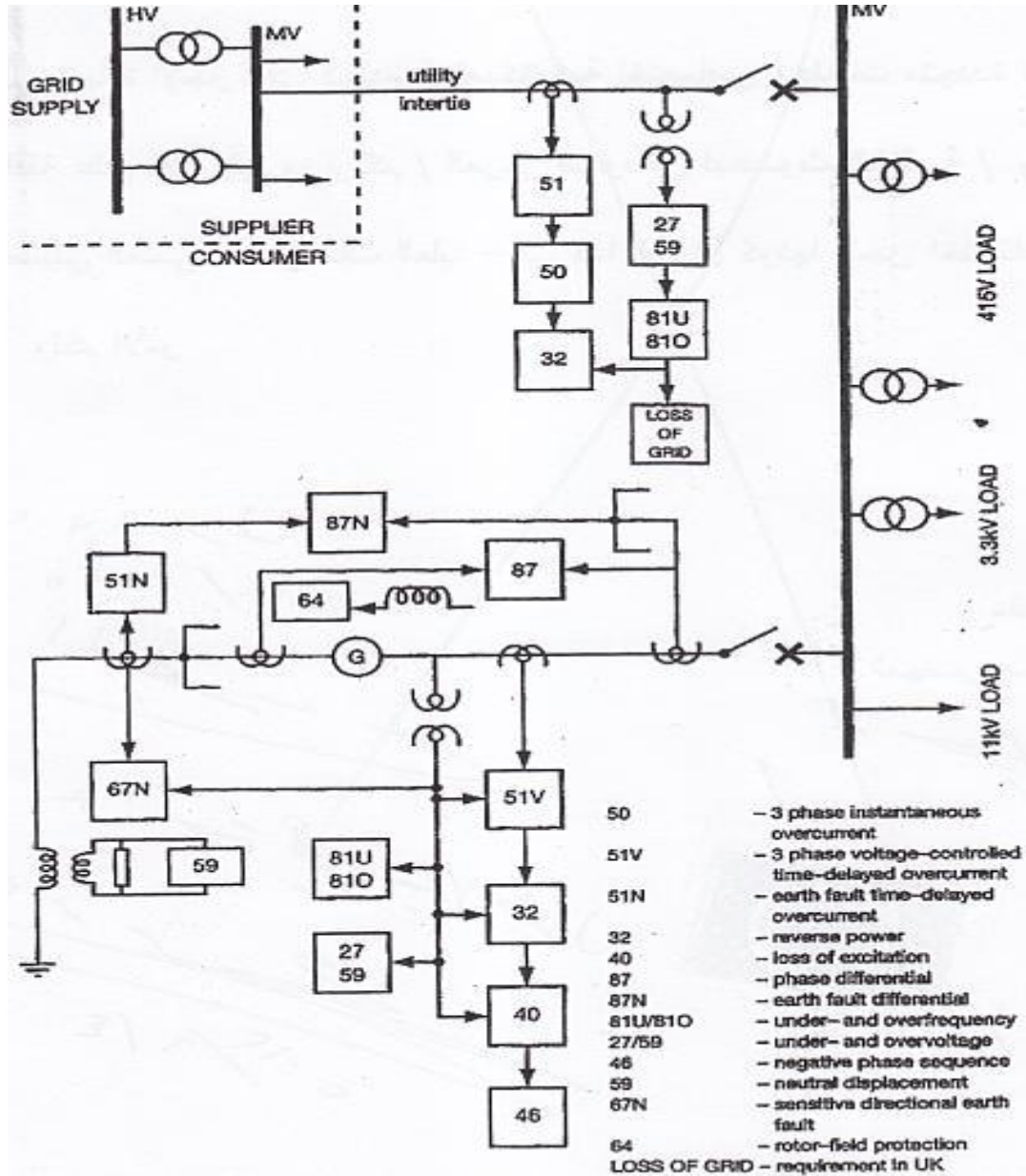
إن متطلبات الحماية لمولد صغير (50-500 KVA) يعمل على التوازي مع شبكة توتر منخفض ($LV < 1000V$) تكون باستخدام حاكمت زيادة التيار ثلاثية الأطوار ذات التأخير الزمني التي يتم التحكم بها عن طريق التوتر (51V)، مع حاكمت زيادة تيار ذات تأخير زمني للعطل الأرضي (51N)، وحاكمت انعكاس استطاعة (32)، وحاكمت لزيادة وانخفاض كل من التردد والتوتر، وفي بريطانيا يضاف إلى ذلك استخدام الحماية من فقدان الشبكة.

تكون متطلبات الحماية لمولد باستطاعة (500 KVA- 5MVA) يعمل على التوازي مع شبكة توتر متوسط باستخدام حاكمت زيادة التيار الثلاثية الأطوار ذات التأخير الزمني التي يتم التحكم بها عن طريق التوتر (51V)، مع حاكمت زيادة تيار ذات تأخير زمني للعطل الأرضي (51N)، حماية تفاضلية طورية (87)، حماية من انعكاس الاستطاعة (32)، وحماية من زيادة وانخفاض كل من التوتر (27/59)، والتردد (81U/81O)، وتتطلب المولدات التزامنية حماية من فقدان التهيج (40)، وفي بريطانيا يضاف إلى استخدام الحماية من فقدان التغذية من الشبكة. كما هو موضح بالشكل (٢-٧).



الشكل (٢-٧) حماية المولد الموزع المستضاف في شبكة توتر متوسط [1]

أما متطلبات الحماية لمولد باستطاعة (5-50 MVA) يعمل على التوازي مع شبكة توتر عالي فتتكون من حاكمت زيادة التيار ثلاثية الأطوار ذات التأخير الزمني التي يتم التحكم بها عن طريق التوتر (51V)، مع حاكمت زيادة تيار ذات تأخير زمني للعطل الأرضي (51N)، وحماية تفاضلية طورية (87)، حماية تفاضلية أرضية مستقلة (87N)، وحماية من انعكاس الاستطاعة (32)، وحماية من زيادة وانخفاض كل من التوتر (27/59)، وحماية من زيادة وانخفاض التردد (81U/81O)، وحماية من التتابع السالب لتيار الطور (47)، إضافة إلى حماية ضد التحميل غير المتوازن، وتتطلب المولدات المتوافقة حماية من فقدان التهيج (40)، وحماية للدوار (74)، وفي بريطانيا يضاف إلى استخدام الحماية من فقدان التغذية من الشبكة. كما هو موضح بالشكل (٢-٨).

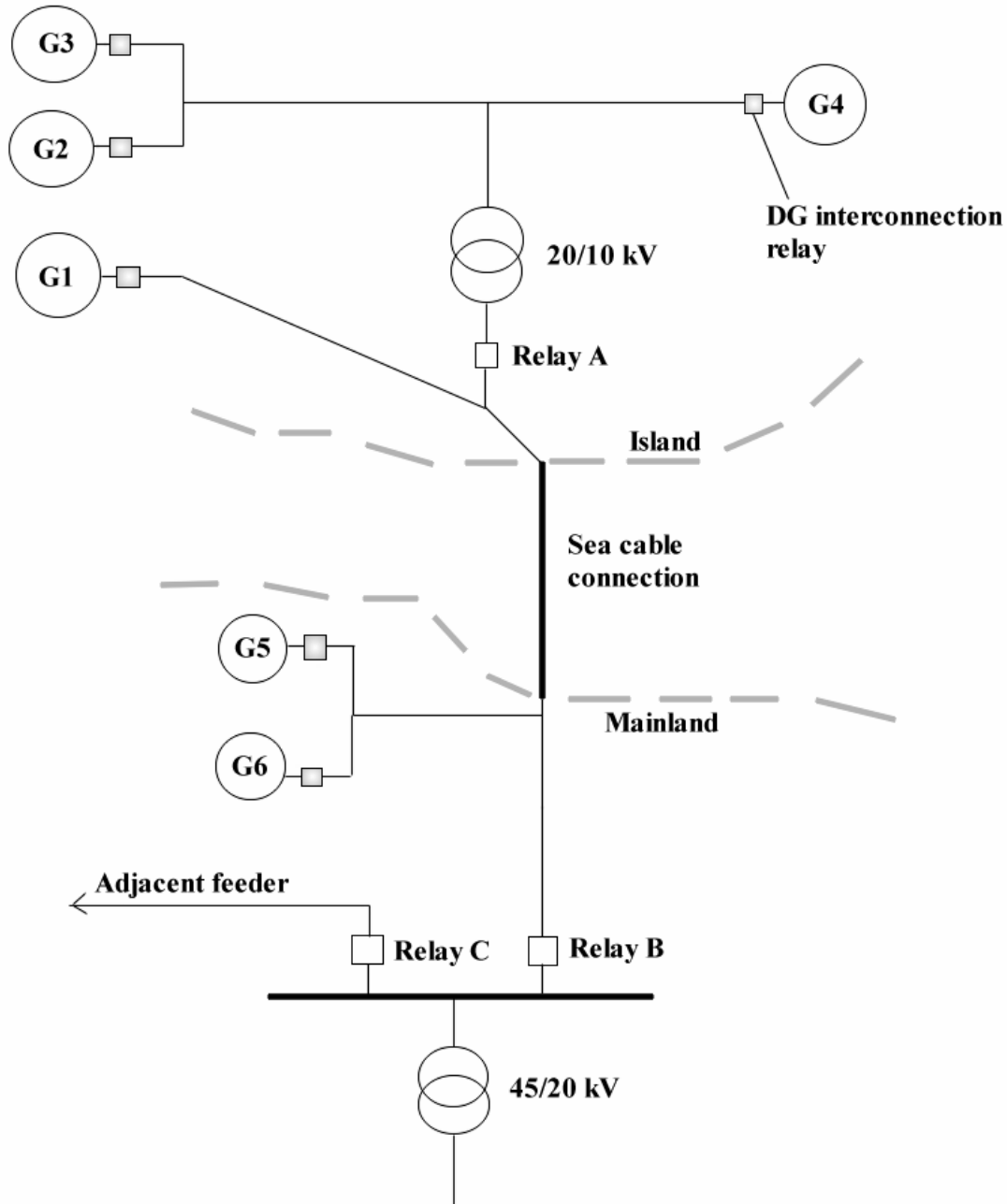


الشكل (٢-٨) حماية المولد الموزع المستضاف في شبكة توتر عالي [1]

٢-١-٦- دراسة دراسة مرجعية صادرة عن معهد هندسة الطاقة الكهربائية جامعة (Tampere University of Technology) تبين دراسة تأثير التوليد الموزع على حماية الشبكة الكهربائية (دراسة حالة) [33]:

تم في هذه الدراسة دراسة شبكة كهربائية حقيقية تتضمن مستويين من التوتر المتوسط مربوط عليها وحدات توليد موزع عبارة عن ست عنفات ريحية، الباسبارات مجهزة بحماية من زيادة شدة التيار الكهربائي الناتج عند حدوث الأعطال الأرضية.

أما العنفات الريحية مجهزة بحماية من زيادة أو انخفاض التوتر، حماية من ارتفاع أو انخفاض التردد، ومنصهرات للحماية من زيادة شدة التيار الكهربائي. ويبين الشكل (٩-٢) مخطط للشبكة المدروسة والتي تقع في منطقة ريفية (جزيرة) على الساحل الفنلندي حيث تم تركيب أربع من العنفات الريحية على هذه الجزيرة وتم ربطها مع بقية العنفات من خلال خط نقل بحري.



الشكل (٩-٢) مخطط الشبكة المدروسة [33]

العنفات الريحية المستخدمة تستخدم المولدات التحريضية ذات توتر (690,400 V) ومن ثم يتم رفعها إلى توتر الربط مع الشبكة عن طريق محولة ثلاثية الطور ذات توصيلة Dyn. ويبين الجدول التالي المواصفات الفنية للتجهيزات المستخدمة.

الجدول (٢-٤) المواصفات الفنية للتجهيزات المستخدمة [33]

Main transformer 45/20 kV			
	Sn	6.3 MVA	
	Pk	48 kW	
	Zk	7.0 %	
	Winding	Ynd11	
Main transformer 20/10 kV			
	Sn	5 MVA	
	Pk	37 kW	
	Zk	10.8 %	
	Winding	YNyn0	
	Wind power units	G1, G4	G2, G3, G5, G6
	Rated power	500 kW	300 kW
	Voltage	690 V	400 V
	Hub height	35 m	31.5 m
	Power regulation	Stall	Stall
	Generator	Induction	Induction
	Block transformer	Dyn	Dyn
	- Sn	0.63 MVA	0.8 MVA*
	- Zk	4.0 %	5.3 %
* One transformer for two 300 kW generators			

إن الباربين في شبكة التوتر المتوسط مجهزة بحمايات لزيادة شدة التيار الكهربائي بالإضافة إلى حماية مماثلة لمحولة (20/10 KV) الموجودة في الجزيرة. حيث تعمل الحاكمة (A) لكشف الأعطال التي تحدث على طرف (10 KV)، أما الحاكمة (B) تعمل على كشف الأعطال التي تحدث على طرف (20 KV) كما تعمل كحاكمة احتياط للحاكمة (A)، كما يتم حماية البار الموجود في طرف (45 KV) بواسطة الحماية الموجودة عليه وتعمل الحاكمة (B) كحاكمة احتياط لحماية البار. ويتم ضبط معايرة الحماية الموجودة في الشبكة وحمايات المولد الريحي كما يلي:

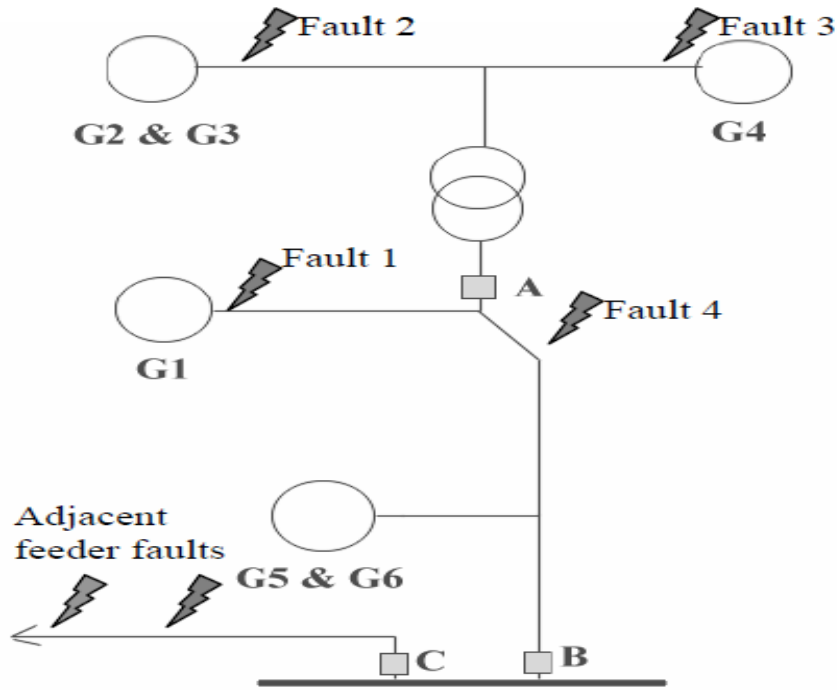
الجدول (٢-٥) قيم معايرة حمايات الشبكة [33]

	Relay A	Relay B	Relay C	Bus relay
I> (A)	250	250	200	375
t (s)	0.3	0.75	0.8	1.0

الجدول (٢-٦) قيم معايرة حمايات الغنات الريحية [33]

	G1	G2 & G3	G4	G5 & G6
Overvoltage >>				
- Setting	110 %	110 %	110 %	110 %
- Operation time	50 ms	50 ms	50 ms	50 ms
Overvoltage >				
- Setting	108.5 %	104.5 %	108.5 %	104.5 %
- Operation time	60 s	60 s	60 s	60 s
Undervoltage <<				
- Setting	50 %	50 %	50 %	50 %
- Operation time	100 ms	100 ms	100 ms	100 ms
Undervoltage <				
- Setting	85.5 %	82 %	85.5 %	82 %
- Operation time	10 s	10 s	10 s	10 s
Frequency				
- Range	± 1.5 Hz	± 1 Hz	± 1.5 Hz	± 1 Hz
- Operation time	200 ms	200 ms	200 ms	200 ms
Overcurrent >>				
- Setting	3150 A	3150 A	3150 A	3150 A
- Operation time	0.1 s	0.1 s	0.1 s	0.1 s
Overcurrent >				
- Setting	630 A	630 A	630 A	630 A
- Operation time	0.6 s	0.6 s	0.6 s	0.6 s

تم اجراء عملية محاكاة للنظام لتقييم أثر إضافة وحدات التوليد الموزع على عمل أجهزة الحماية وذلك من خلال اجراء مجموعة من الأعطال كما هي موضحة بالشكل (٢-١٠) ودراسة عمل حمايات وحدات التوليد الموزع.



الشكل (٢-١٠) مكان توزيع الأعطال المدروسة [33]

بواسطة نظام المحاكاة تم إجراء عطل (قصر بين طورين) في عدة أماكن من المخطط وكانت قيمة تيار العطل وزمن تشغيل الحواكم عند كل عطل من الأعطال كما هو موضح بالجدول التالي:

الجدول (٢-٧) قيم تيار العطل وزمن تشغيل الحواكم [33]

Fault	Fault current (A)	Oper. relay	Operation time (s)
	With DG		With DG
1	515	B	0.75
2	313	A	0.3
3	266	A	0.3
4	732	B	0.75

أما بالنسبة لعمل حواكم وحدات التوليد الموزع عند حدوث مجموعة الأعطال المبينة سابقاً فقد تم تقسيمها إلى:

- ١- أعطال تحدث على الخط الذي تم ربط العنفات الريحية عليه وهذه الأعطال هي الأعطال ذوات الأرقام (1,2,3,4)، فعند حدوث هذه الأعطال على التوالي يكون زمن عمل الحاكمة الخاصة بكل عنفة ريحية حاكمة كما يلي:

الجدول (٢-٨) زمن عمل الحواكم الخاصة بالعنفات الريحية [33]

Fault location	G1	G2 & G3	G4	G5 & G6
Fault 1				
- Three-phase	U<< 19% 0.1 s	U<< 33% 0.1 s	U<< 32% 0.1 s	U<< 48% 0.1 s
- Two-phase	U<< 23% 0.1 s	U<< 43% 0.1 s	U<< 40% 0.1 s	U<< 49% 0.1s
Fault 2				
- Three-phase	U> 0.35 s	U<< 18% 0.1 s	U<< 43% 0.1 s	-
- Two-phase	U> 0.35 s	U<< 20% 0.1 s	U<< 49% 0.1 s	-
Fault 3				
- Three-phase	-	U<< 19% 0.1 s	U<< 18% 0.1 s	-
- Two-phase	-	U<< 20% 0.1 s	U<< 19% 0.1 s	-
Fault 4				
- Three-phase	U<< 18% 0.1 s	U<< 18% 0.1 s	U<< 18% 0.1 s	U<< 28% 0.1 s
- Two-phase	U<< 23% 0.1 s	U<< 24% 0.1 s	U<< 23% 0.1 s	U<< 32% 0.1s

٢- أعطال تحدث على الخط المجاور وهذه الأعطال هي الأعطال ذوات الأرقام (5,6)، فعند حدوث هذه الأعطال على التوالي يكون زمن عمل الحاكمة الخاصة بكل عنفة ريحية حاكمة كما يلي:

الجدول (٢-٩) زمن تشغيل الحواكم الخاصة بالعنفات الريحية [33]

Distance	G1	G2 & G3	G4	G5 & G6
5 km				
- Three-phase	U<< 24% 0.1 s	U<< 25% 0.1 s	U<< 24% 0.1 s	U<< 24% 0.1 s
- Two-phase	U<< 35% 0.1 s	U<< 37% 0.1 s	U<< 34% 0.1 s	U<< 32% 0.1s
10 km				
- Three-phase	U<< 35% 0.1 s	U<< 37% 0.1 s	U<< 34% 0.1 s	U<< 34% 0.1 s
- Two-phase	U<< 44% 0.1 s	U<< 46% 0.1 s	U<< 43% 0.1 s	U<< 42% 0.1s
15 km				
- Three-phase	U<< 44% 0.1 s	U<< 45% 0.1 s	U<< 42% 0.1 s	U<< 46% 0.1 s
- Two-phase	-	-	U<< 48% 0.1 s	U<< 49% 0.1s
20 km				
- Three-phase	U<< 50% 0.1 s	-	U<< 48% 0.1 s	-
- Two-phase	-	-	-	-

ومن خلال هذه الدراسة تبين:

- لا توجد مشاكل كبيرة تذكر عند ربط وحدات للتوليد الموزع، مع مراعاة ظهور بعض المشاكل الجديدة بزيادة نسبة مساهمة وحدات التوليد الموزع.
 - مرور تيار العطل بالاتجاه المعاكس لا يسبب أية مشاكل لنظام الحماية في الشبكة.
 - حمايات العنقات الريحية تعمل بشكل موثوق عند حدوث أي عطل على قضيب التجميع المربوطة عليه تلك العنقات وبالتالي لا تحدث حالة الجزيرة (islanding).
 - أغلب المشاكل التي ممكن أن تواجهها العنقات الريحية تلك المشاكل الناتجة عن الأعطال التي تحدث على الخطوط وقضبان التجميع المجاورة.
- وبناءً على ماسبق فإن تأثير وحدات التوليد الموزع على الشبكة يجب أن يؤخذ بالحسبان عند التخطيط لتكوين وحدة توليد جديدة، وذلك لأن نظام الحماية يصبح أكثر تعقيداً في بعض الظروف. خاصة أن تأثير التوليد الموزع يكون مهمل عندما يكون ذو استطاعة صغيرة ولكن مع ازدياد تلك الاستطاعة سيكون تأثيرها على الشبكة أكبر.
- إن هذه الدراسة قدمت حالة مثالية لتكامل التوليد الموزع مع الشبكة الكهربائية وذلك من خلال مولدات تحريضية ريحية باستطاعات صغيرة نسبياً وتبين من خلال هذه الدراسة عدم وجود مشاكل رئيسية حدثت، لكن هذه الدراسة قدمت معلومات هامة عن موضوع تكامل التوليد الموزع مع الشبكة خصوصاً بما يتعلق البيانات الفنية الحقيقية للمولدات المستخدمة، ونظام حماية الشبكة الكهربائية المتوقع.

٢-٢ تصنيف تقنيات التوليد الموزع:

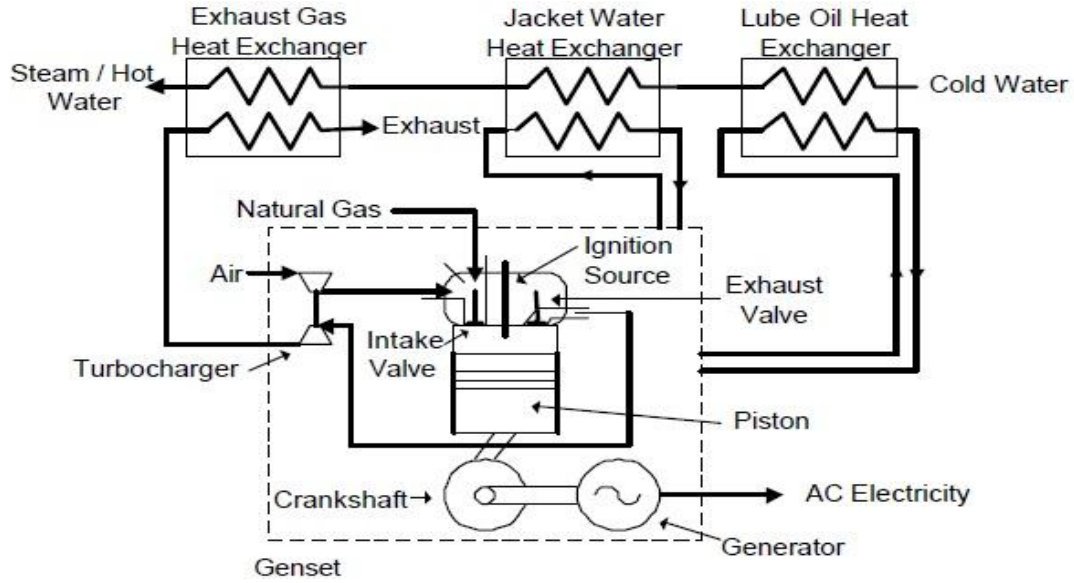
تصنف تقنيات التوليد الموزع إلى تقنيات تعتمد في توليد الطاقة الكهربائية على مصادر الطاقات المتجددة، وتقنيات تعتمد الوقود الأحفوري للحصول على الطاقة الكهربائية . كما أن بعض المصادر تصنف تقنيات التوليد الموزع إلى منابع دوارة وأخرى ساكنة. ولفهم خصائص العمل للمولدات الموزعة والظروف التي تشتغل تحتها تلك المولدات سنتناول في هذا الفصل أهم تقنيات التوليد الموزع التقليدية والمتجددة.

٢-٢-١ محركات الاحتراق الداخلي أو المحركات الترددية أو المكبسية (Reciprocating engines)[22]:

تم تطوير المحركات الترددية قبل أكثر من مئة عام وحقت قبولاً واسع الانتشار في كافة القطاعات الاقتصادية، وهي تطبيقات ذات استطاعات تتراوح من بضعة الكيلو واط والتي تشغل أجهزة يدوية محمولة صغيرة إلى استطاعات تصل إلى (60 Mw) وهي عبارة عن محطات توليد كهربائية كاملة. المحركات الترددية متوفرة حالياً من قبل العديد من شركات التصنيع وذات أحجام مناسبة لتطبيقات التوليد الموزع (DG)، وتعتبر هذه المحركات ذات كلفة منخفضة وكفاءة جيدة.

- مبدأ العمل:

تعمل المحركات الترددية عن طريق حرق الوقود الأحفوري (ديزل، غاز) بعد خلطه بالهواء الطبيعي واشعاله عن طريق مصدر إشعال (إشعال بالشرارة، إشعال بالانضغاط) حيث تحتوي المحركات الترددية على بستون أو مكبس يتحرك ضمن اسطوانات المحرك ذهاباً وإياباً. عادةً تكون هذه المحركات إما رباعية الشوط وهي الأكثر استخداماً أو محركات ثنائية الشوط. إضافة إلى وجود حجرة احتراق وضاغط للهواء يعطي كمية كهرباء أعلى من الأنظمة التي لا تحتوي على هذا الضاغط كما هو مبين بالشكل (٢-١١)



الشكل (١١-٢) البنية الأساسية للمحركات الترددية [22]

- التحكم بانبعاثات الغازات الدفينة :

إن من العقبات الرئيسية لاستخدام المحركات الترددية هي انبعاثات NO_x التي تنتج عن عملية الاحتراق بالإضافة إلى أن عملية مزج الهواء والوقود ينتج عنها أول أكسيد الكربون. إن المحركات الترددية التي تعمل على وقود الديزل هي الأكثر استخداماً ولكن نتيجة الانبعاثات العالية الناتجة عنها. حيث يبلغ معدل انبعاث الـ NO_x حوالي 10 Kg/Mwh ومعدل انبعاث الـ CO_2 يصل إلى 650 Kg/Mwh جعل سوقها أكثر ضيقاً إضافة إلى ارتفاع سعره، ولذلك إن المحركات التي تعمل على الديزل يتم استخدامها في أغلب الأحيان في التطبيقات الطارئة أو كنظام احتياطي في بعض تطبيقات توليد الكهرباء الخاصة. وبالتالي تم إيجاد المحركات التي تستخدم الغاز الطبيعي لأجل توليد الكهرباء وبالتالي نجد انبعاثات أقل من سابقتها حيث يتراوح معدل انبعاث الـ NO_x بين $0.25-1$ Kg/Mwh ويتراوح انبعاث الـ CO_2 بين $(500-700) \text{ Kg/Mwh}$.

والياً يتم العمل على تطوير المحركات الترددية لتكون أكثر ملائمة لنظم التوليد الموزع من حيث الاستطاعات والكفاءة والانبعاثات وذلك من خلال:

- تطوير محركات ترددية تعمل على الغاز الطبيعي ذات مستويات منخفضة من انبعاثات غازات الدفيئة وذات كفاءة ووثوقية مثل المحركات الترددية التي تعمل على الديزل.
- تطوير المحركات الترددية التي تعمل على وقود الديزل لخفض كمية الوقود المستخدمة بشكل ملحوظ.

- الوصول إلى استطاعات كهربائية كبيرة لتكون سبب رئيسي لتخفيض كلفة الـ Kw .
- المحركات ذات الكفاءة العالية تعمل في مستويات ضغط عالية وهذا يتطلب أنظمة اشعال ذات طاقة عالية وبالتالي نجد أن اشعال الليزر له امكانية لتحسين كفاءة الوقود وهذا يعطي ثقة أعلى ومتطلبات صيانة أقل.

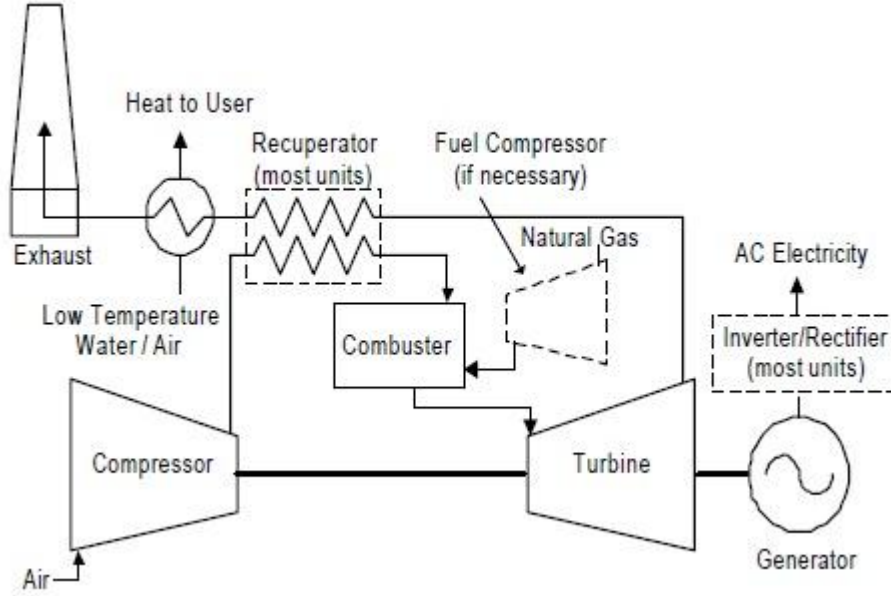
مما سبق يتبين أن استخدام المحركات الترددية كنظم لتوليد الكهرباء الموزع سواء كان منفرداً أو محطة توليد بنوع CHP ذات أهمية كبيرة على المستوى العالمي وخاصة لكونها تتمتع بمردود عالي نسبياً يصل إلى 40% في مولدات الديزل وإلى 36% في المولدات الغازية. بالإضافة إلى الكلف المنخفضة لعمليات الصيانة والإصلاح نظراً لتوفر الخبرات اللازمة لذلك.

٢-٢-٢ العنفات الميكروية Micro turbines [22]:

العنفات الميكروية هي عبارة عن صنف جديد من العنفات الغازية ظهرت أو خصصت لسوق التوليد الموزع. تم تطويرها من قبل عدد من المنتجين باستطاعة تتراوح بين 30-500Kw لاستخدامها في تطبيقات الـ CHP . ويمكن أن تتوفر عنفات غازية باستطاعات تصل إلى 275Mw بشكل نظام متكامل لإنتاج الطاقة الكهربائية.

- مبدأ العمل:

إن نظرية عمل العنفات الميكروية مشابهة للعنفة الغازية. ماعدا تلك التصميم المدمجة لإستعادة جزء من حرارة العادم لتسخين هواء الاحتراق. تتألف العنفات الميكروية بشكل رئيسي الشكل (٢-٢) من الأجزاء التالية: مدخل الهواء، الضاغط، حجرة الاحتراق، العنفة، المولدة.



الشكل (١٢-٢) البنية الأساسية للعنفات الميكروية [22]

حيث يدخل الهواء عبر فلتر موجود ضمن مدخل الهواء وظيفته تصفية الهواء من الغبار إلى مدخل الضاغط بضغط أقل من الضغط الجوي وبدرجة حرارة الوسط المحيط . ويخرج هذا الهواء بضغط مرتفع يصل إلى 15 bar وذلك حسب عدد مراحل الضاغط وبدرجة حرارة تصل إلى 500C° وذلك عند الاستطاعة الاسمية، ومنها يدخل الهواء إلى حجرة الاحتراق ويدخل الغاز بنفس ضغط الهواء. عن طريق أنظمة الاشعال الموجودة في حجرة الاحتراق يتم اشعال مزيج الهواء مع الغاز وتتحول طاقة الوقود المستخدم إلى طاقة ميكانيكية تتكفل بقيادة دوران العنفة حتى تصل سرعتها للسرعة الاسمية التي تبدأ العنفة عندها بتوليد الطاقة الكهربائية.

- الكفاءة والانبعاثات:

تصل كفاءة العنفات الميكروية إلى 30% وتزداد إلى ما بين (80-85%) عند استخدامها كمولدات للطاقة الكهربائية والحرارية CHP .

إن انبعاثات الـ Nox في العنفات الميكروية المستخدمة في نظم التوليد الموزع لا تتجاوز 0.1 Kg/Mwh بينما يبلغ معدل انبعاثات الـ Co2 حوالي 750Kg/Mwh . ويتم العمل حالياً وعلى المدى المنظور انجاز عنفات ميكروية بكفاءات أعلى وانبعاثات أقل وذلك باستخدام مكونات أكثر تطور والعمل على تخفيض التكاليف بزيادة حجم التصنيع.

٢-٢-٣ النظام الكهروضوئية الحرارية المركزة Concentrating Solar Power [2]:

تعتبر الطاقة الحرارية الشمسية تكنولوجيا جديدة نسبياً وواعدة إلى حد بعيد. فمواردها كثيرة واثراً على البيئة محدود وتستخدم الطاقة الحرارية الشمسية أشعة الشمس المباشرة ، لذا عليها أن تقع في المناطق ذات الإشعاعات الشمسية القوية. حيث يكفي كيلو متر واحد من الأرض لتوليد ما بين (100-120) من الكهرباء سنوياً، من خلال استخدام الطاقة الحرارية الشمسية. يعتبر ذلك موازياً لإنتاج محطة تستخدم الوقود التقليدي وباستطاعة مركبة تصل إلى (50 Mw)

- أثر الطاقة الشمسية الحرارية على البيئة:

من أبرز إيجابيات الطاقة الحرارية الشمسية قلة تأثيراتها على البيئة وإحجامها عن إنتاج الانبعاثات الملوثة أو تهديد السلامة الذي دائماً ما يصاحب تقنيات التوليد التقليدية. حيث يمكن أن تساهم الطاقة الحرارية الشمسية بصورة ملموسة في الحد من الارتفاع المتواصل في مستوى الغازات الدفيئة ودورها في تغير المناخ.

- سوق الطاقة الشمسية الحرارية:

هناك فرص جدية لدعم المبادرات على كافة المستويات لإطلاق استخدام الطاقة الشمسية الحرارية من خلال التشجيع على تسويق الإنتاج. وقد وضع بعض البلدان قوانين تحدد تعرفة مغرية لسعر الكهرباء المنتج من الطاقة الشمسية، بالإضافة إلى خفض نسب الفوائد وتكاليف رأس المال بشكل كبير. مما أدى لزيادة تطبيق مشاريع محطات الطاقة الشمسية الحرارية كتوليد كهربائي موزع.

- مستقبل الطاقة الشمسية الحرارية:

أعدت كل من الجمعية الأوروبية لصناعة الطاقة الشمسية الحرارية و IEA Solar Paces سيناريو توقعت فيه مايمكن انجازه مع حلول العام 2025 على أساس شروط السوق الصحيحة. يستند هذا السيناريو إلى التطورات المتوقعة في استخدام الطاقة الحرارية الشمسية وإلى العدد الكبير من البلدان التي تدعم هذه المشاريع من أجل التوصل إلى الحد من تغير المناخ وبلوغ أهداف تتعلق بالطلب على الطاقة.

على امتداد مدة السيناريو تنشأ تقنية الطاقة الحرارية الشمسية اعتباراً من موقع هامشي نسبياً في موارد الطاقة المتجددة لتحل مرتبة جوهريّة ضمن مقومات السوق الحالي كالطاقة المائية وطاقة الرياح. حيث يكون معدل الاستطاعات السنوية المركبة في عام 2015 هي (970 Mw) ليبلغ مجموع الاستطاعات المركبة يساوي (6454 Mw) . ومع حلول العام (2025) سيزيد مجموع الاستطاعات المركبة لمحطات الطاقة الشمسية الحرارية حول العالم عن (36000 Mw) يمكن أن تنتج ما يعادل (100.000000 Mwh). وستزيد استثمارات رأس المال في محطات الطاقة الشمسية الحرارية لتصل إلى مايقارب (16.5) مليار دولار أمريكي عام (2025).

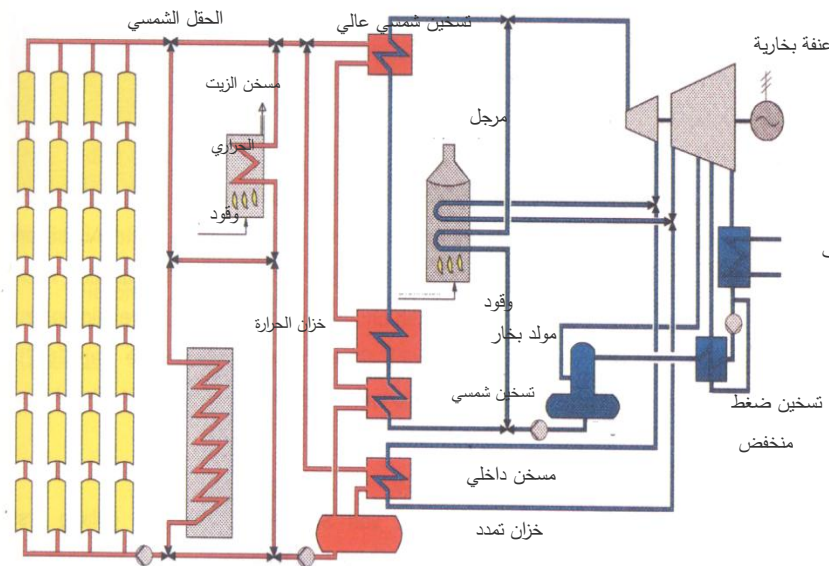
وخلال هذه الفترة الممتدة وصولاً لعام 2025، يمكن تجنب انبعاث 395 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون . وهناك تصور آخر لتوسع سوق الطاقة الشمسية الحرارية على امتداد خمس عشرة سنة أخرى وصولاً إلى العام 2040 وهو تلبية أكثر من 5% من حاجة العالم من الكهرباء من الطاقة الحرارية الشمسية مع حلول العام 2040.

- التكنولوجيا:

هناك أربع عناصر رئيسية لتوليد الكهرباء من الطاقة الحرارية الشمسية: جهاز لتركيز الإشعاعات، جهاز الاستقبال، وبعض أجهزة النقل والتخزين، ومحول للطاقة. أما أهم التقنيات الشمسية الواعدة المستخدمة هي ثلاثة أنواع من المحطات:

١- محطات الطاقة الشمسية ذات القطوع المكافئة مع قنوات (Parabolic Trough Power Plants):

تستخدم هذه المحطات محور واحد للشمس، وفي بعض الدراسات التجريبية تكون ثنائية المحور بالنسبة للشمس، وتكون العواكس ذات المرايا بشكل قطع مكافئ أسطواني، لكي تركز أشعة الشمس إلى الخط المحرق، حيث يتوضع الأنبوب الذي يحتوي على الوسيط الحراري الذي يمتص الإشعاع المنعكس والمركز ويتحول إلى حرارة، ويقاد عبر هذا الوسيط الحامل للحرارة (زيت حراري) بشكل تيار، ولإرجاع الإشعاع المنعكس والفواقد الحرارية في الأنبوب يجب أن يحاط أنبوب الامتصاص الفولاذي بأنبوب زجاجي، والفراغ بين الأنبوبين يفرغ تماماً لمنع التسرب الحراري أيضاً. والزيت الحراري المسخن بهذه الطريقة حتى درجة $400[^\circ\text{C}]$ يضخ إلى مجمع محطة الطاقة. ثم تعطى الطاقة الحرارية إلى دارة بخار ماء تقليدية وتتحول بوساطة توربينات بخارية ومولدة مربوطة معها إلى تيار كهربائي الشكل (١٣-٢)



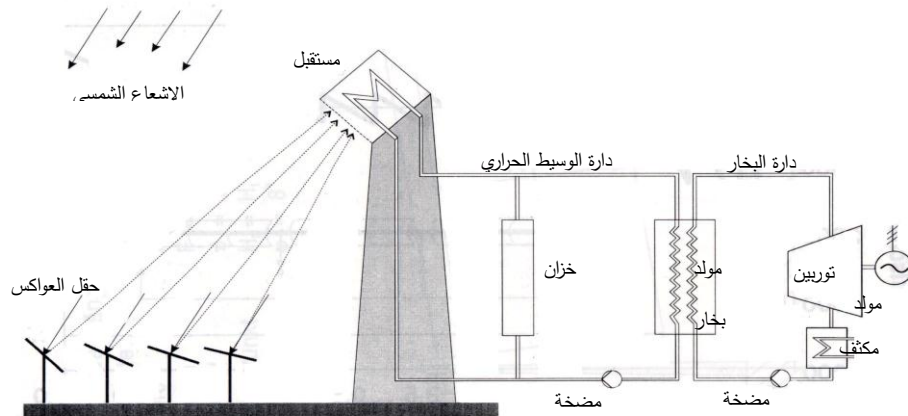
الشكل (١٣-٢) مخطط محطة طاقة شمسية ذات القطوع المكافئة مع قنوات [2]

يتعلق المردود لمحطة الطاقة الشمسية بالمجمعات وأنابيب الامتصاص ودارة الوسيط الحراري ومولد البخار والتوربينات والمولد. ويكون المردود في هذه الحالة أقل مما هو عليه في حالة استخدام مصدر مساعد كالغاز الطبيعي، ومن جهة أخرى يكون الإشعاع الشمسي والمفاقد في محطة الطاقة الشمسية متعلقة بأيام السنة وفصولها. والمردود الأعظمي الذي تم التوصل إليه كان في الصيف في أوقات

الإشعاع الشمسي الأكثر وكانت قيمته 24%. ومن أجل الحصول على مراديد إجمالية جيدة لمحطات الطاقة الشمسية، يجب أن تكون نسبة تركيز الإشعاع المنعكس إلى المحاور المحرقة قريبة من 94%، ومن الضروري أن تنظف العواكس مرة واحدة في الشهر.

٢- محطات الطاقة الشمسية البرجية (Solar Tower Power Plants):

في هذا النظام تتحرك وحدات المرايا حسب محورين للشمس، ويتم توجيهها بواسطة حاسب مركزي موجود في غرفة القيادة للمحطة، بحيث تعكس أشعة الشمس الساقطة على المرايا إلى قمة البرج بشكل حزم، وفي قمة البرج تؤخذ الطاقة الشمسية بواسطة مستقبل أشعة (Receiver). وضعت عدة تصاميم للمستقبل، وذلك حسب نسب التركيز والوسيط الحراري الناقل. يمتص المستقبل الطاقة الشمسية المركزة ويعطيها إلى وسيط حامل للحرارة الشكل (٢-١٤) التبادل الحراري في المستقبل يتم بين الماء أو البخار ومحلول ملحي (مثلاً نترات الناتريوم أو نترات الكالسيوم أو غيرها)، حيث تكون درجة الحرارة من $500[^\circ\text{C}]$ إلى $700[^\circ\text{C}]$ في حال استخدام الناتريوم السائل والهواء.



الشكل (٢-١٤): مخطط لمحطة برجية مع خزان طاقة حراري [2]

تؤخذ الطاقة الشمسية المركزة مباشرة بمستقبلات يجري فيها الماء والبخار، أو بشكل غير مباشر عبر انتقال الحرارة عبر مبادل حراري، ثم يجري البخار إلى التوربينات المربوطة مع المولدات الكهربائية. يمكن أيضاً أن تخزن الطاقة الحرارية الشمسية الزائدة في المحطة في خزان طاقة حراري، أو باستخدام مصدر مساعد يعتمد على الفحم الحجري، وبهذا الشكل يمكن التغلب على الفترات التي تكون فيها نسبة الغيوم كبيرة، وبذلك يمكن زيادة مساهمة محطة الطاقة الشمسية البرجية في شبكة التيار بطاقة أكبر.



الشكل (٢-١٥) محطة الطاقة البرجية SOLAR TOWER [2]

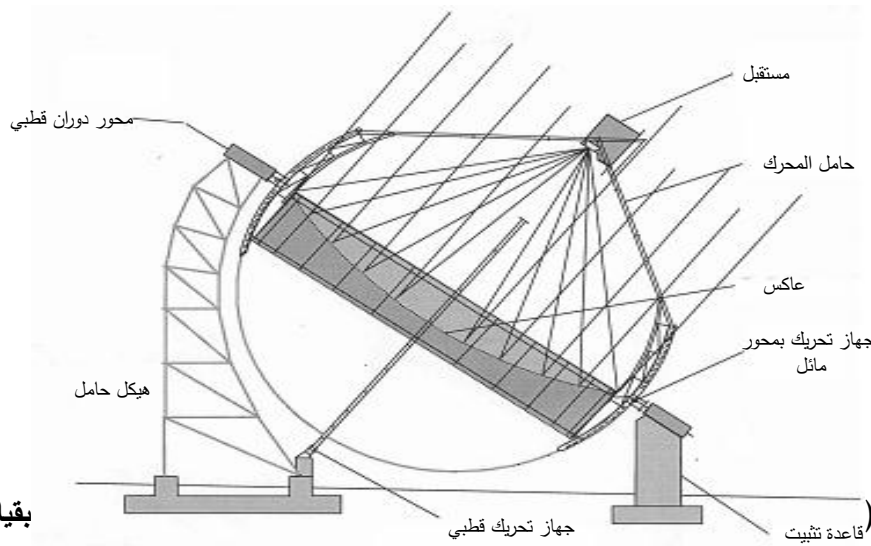
من الممكن أن تشغل محطة الطاقة البرجية الشمسية عبر الاحتراق عند الاحتياج للتيار لتغطية الحمولة الأساسية ويمكن تحقيق أهداف الإمداد الممكنة أيضاً في أوقات الطقس السيئة. إضافة إلى ذلك يمكن أن تستخدم المحطات البرجية الشمسية لتوليد بخار الماء المباشر كمحطات طاقة مركبة من مصدر الحرارة الشمسية، و باحتراق المواد النفطية بشكل منفصل في محطات الطاقة تؤمن المنشآت الشمسية بخار إضافي أو هواء ساخن وتساعد بهذا الأسلوب على توفير مواد الاحتراق النفطية.

٣- محطات الطاقة الشمسية ذات القطوع المكافئة (Dish Plants):

إن الإشعاع الشمسي المباشر يجمع عبر قطوع مكافئة دوارة مزودة بمرايا دوارة تدور حسب محاورين للشمس وتجمع بمنطقة المحرق، حيث وضع بمنطقة المحرق مستقبل الإشعاع المسمى المستقبل أو الماص والذي فيه تتحول طاقة الإشعاع المركز والساقطة هناك إلى حرارة.

إن التحول التالي للطاقة الحرارية إلى طاقة كهربائية يمكن فقط أن يجري عبر طريقتين مختلفتين:

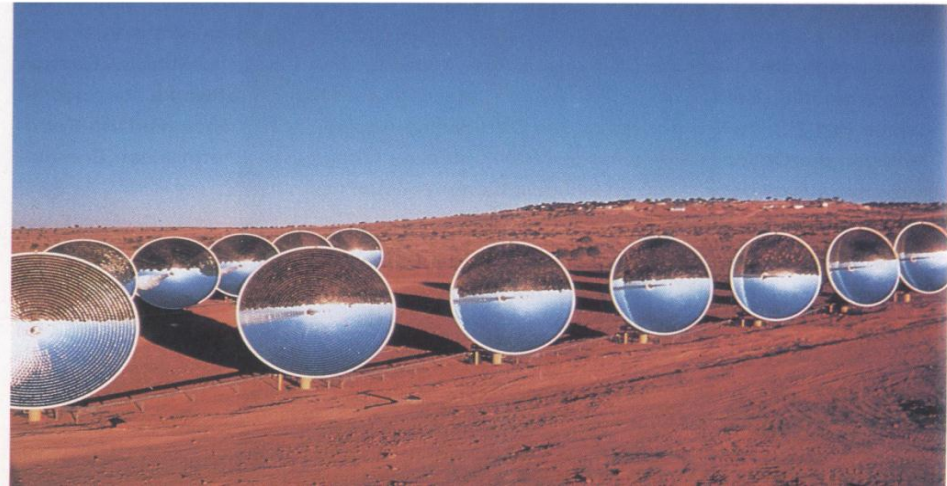
- في الجملة المسماة الدش - سترلينغ (Dish-Stirling) يوضع محرك سترلينغ بمولد مركب مباشرة في محرق القطع المكافئ، بذلك يربط القطع المكافئ والمستقبل وآلة الطاقة الحرارية والمولد بشكل جيد مع بعضها، وتقاد مع بعضها نحو الشمس الشكل (٢-١٦).



بقيادة قطبية [2]

الشكل (2-17)

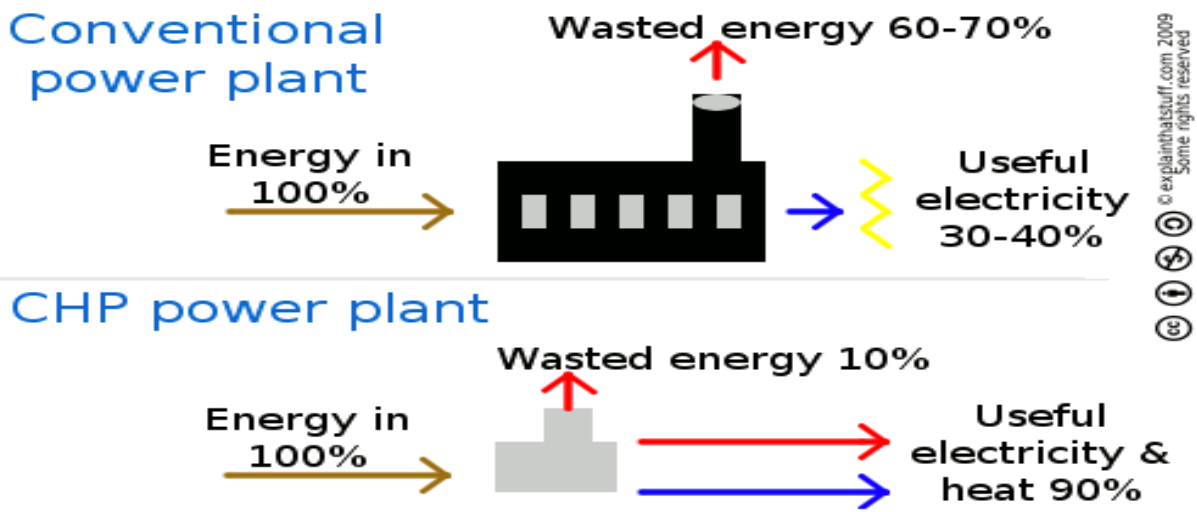
- في الطريقة الثانية. تقاد طاقة الإشعاع الممتصة من المجمعات الدشية المستقبلة (Dish-Farm) بوساطة وسيط حامل حراري، كما في شبكة الطاقة الشمسية ذات القطوع المكافئة بقنوات، أو بوساطة بخار الماء الناتج مباشرة، إلى مجموعة محطة الطاقة المركزية المنفردة وهناك تحول إلى طاقة كهربائية. مثل هذه المنشآت تسمى محطات طاقة شمسية Dish-Fram الشكل (2-17)



الشكل (2-17) محطة طاقة شمسية دشية $25[kW_e]$ في الخليج الأبيض في استراليا [2]

٢-٢-٤ مولدات الطاقة الحرارية والكهربائية (CHP) [22]:

يتم إنتاج الطاقة الكهربائية في محطات التوليد التقليدية من خلال حرق الوقود الأحفوري واستخدامه لإنتاج طاقة حرارية تقوم بتسخين المياه وتحويلها إلى بخار جاف والذي يقوم بدوره بتدوير العنفات التي تقود المولدات الكهربائية بسرعات محددة كافية لإنتاج الطاقة الكهربائية. ومن الملاحظ في هذه العملية أن كمية الطاقة الضائعة في مراحل توليد الكهرباء مرتفعة جداً وعلى سبيل المثال الماء الذي تم تسخينه وتحويله إلى بخار جاف يتم تبريده من خلال أبراج تبريد عملاقة وتحويله إلى ماء مرة ثانية، وهذا يؤدي لفقد كبير في الطاقة ولذلك تم التفكير ملياً بكيفية الاستفادة من الطاقة الحرارية المهدورة وتم ذلك من خلال استخدام مولدات للطاقة الحرارية والكهربائية معاً (CHP). والشكل يوضح مقارنة بين استخدام محطات إنتاج الطاقة الكهربائية التقليدية ومولدات (CHP).



الشكل (٢-١٨) مقارنة بين استخدام محطات إنتاج الطاقة الكهربائية التقليدية ومولدات (CHP) [22]

من الشكل نجد أن مردود مولدات الطاقة الحرارية والكهربائية يصل إلى ٩٠% وهذا يعني الحفاظ على الطاقة وتخفيض تكاليف الاستثمار. تكمن الكفاءة العالية لمولدات (CHP) عند استخدامها كمولدات غير مركزية مربوطة مع الشبكة وبجانب المستهلك وهذا يعني أن مفايد نقل القدرة الكهربائية تكون أقل ما يمكن، كما يتم الاستفادة من الطاقة الحرارية الناتجة من خلال استخدامها مباشرة ضمن (المكاتب، المنازل، المدارس، المستشفيات).

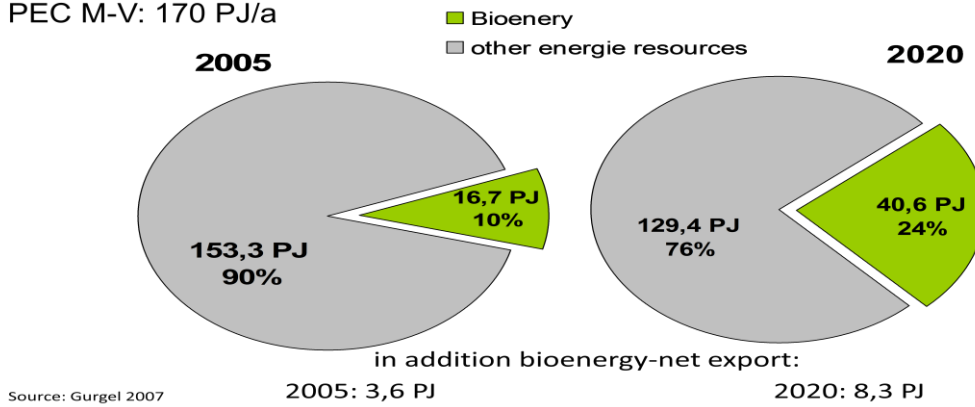
تعمل مولدات الـ (CHP) على توليد الكهرباء من خلال محركات احتراق داخلية تعمل ضمناً هذه المحركات يتم تشغيلها من خلال مصادر مختلفة للطاقة ومن أهمها مصادر الطاقة المتجددة مثل الوقود الحيوي أو خلايا الوقود التي تنتج الهيدروجين أو غيرها من المصادر المتعددة.

٢-٢-٥ طاقة الكتلة الحيوية (Biomass Energy) [32]:

تكمن أهمية طاقة الكتلة الحيوية Biomass Energy في أنها تأتي في المرتبة الرابعة بالنسبة لمصادر الطاقة في الوقت الحاضر حيث تشكل ما نسبته 14 % من احتياجات الطاقة في العالم وتزداد أهمية هذه الطاقة في الدول النامية حيث ترتفع تلك النسبة إلى حوالي 35 % من احتياجات الطاقة في تلك الدول وخاصة في المناطق الريفية. إن طاقة الكتلة الحيوية Bio-energy هي في الأساس مادة عضوية مثل الخشب والمحاصيل الزراعية والمخلفات الحيوانية وهذه الطاقة هي طاقة متجددة ومستدامة.

Bioenergy-Concept Mecklenburg-Western Pomerania 2020

PEC M-V: 170 PJ/a



الشكل (٢-١٩) نسبة طاقة الكتلة الحيوية من احتياجات الطاقة في العالم [32]

أما مصادر الكتلة الحيوية في الوقت الحاضر فهي:

- ١- مخلفات الغابات والمخلفات الزراعية .
- ٢- فضلات المدن Municipal Wastes .
- ٣- المحاصيل التي تزرع خصوصاً لغايات الحصول على الطاقة منها.

تقدر مخلفات الغابات ومخلفات المحاصيل الزراعية في العالم اليوم بحوالي 2651 مليون طن مكافئ نפט وهذا يعادل ٨٠% من النفط المنتج عام ١٩٩١ أو ٩٨ % من الطاقة الكلية المستخرجة من الفحم والطاقة النووية. ويمكن استعمال طاقة الكتلة الحيوية لإنتاج الكهرباء أو الحرارة أو الوقود السائل.

وهناك عدة طرق للحصول على الطاقة تتمثل فيما يلي:

١- الاحتراق Combustion

٢- التحويل إلى غاز Gasification .

٣- التخمر Fermentation.

٤- إنتاج مواد سائلة.

طرق تحويل المواد العضوية إلى مصادر طاقة حيوية:

١-الهضم اللاهوائي: ينتج عنه الغاز الحيوي(الميثان وثاني أكسيد الكربون)

٢- الاحتراق المباشر: حرق الأخشاب

٣- التغويز: تسخين النباتات على درجة حرارة عالية بوجود كمية قليلة من الأوكسجين ينتج (أول أكسيد الكربون, ثاني أكسيد الكربون ,الهيدروجين , النيتروجين ,الميثان)

٤- الانحلال الحراري: تسخين النباتات على درجة حرارة عالية بمعزل عن الأوكسجين ينتج (فحم وزيت و غاز)

٥-التخمير:وهو تخمير النباتات مثل قصب السكر و الذرة وينتج عنها كحول الايثانول و غاز ثاني أكسيد الكربون.

٦- تكوين الاسترات: وهو تفاعل كحول الميثانول مع أحماض دهنية {نباتية,حيوانية} فينتج مركب كيميائي يسمى الاسترات وتدخل هذه المادة في تركيب الديزل الحيوي.

ومن أهم تطبيقات طاقة الكتلة الحيوية هو انتاج الغاز الحيوي.

الغاز الحيوي:

غاز ينتج عن تخمر المواد العضوية بمعزل عن الهواء وذلك بفعل بكتيريا خاصة، وهو غاز أخف من الهواء عديم اللون وله رائحة تميزه لاحتوائه على نسبة ضئيلة من غاز الكبريت.

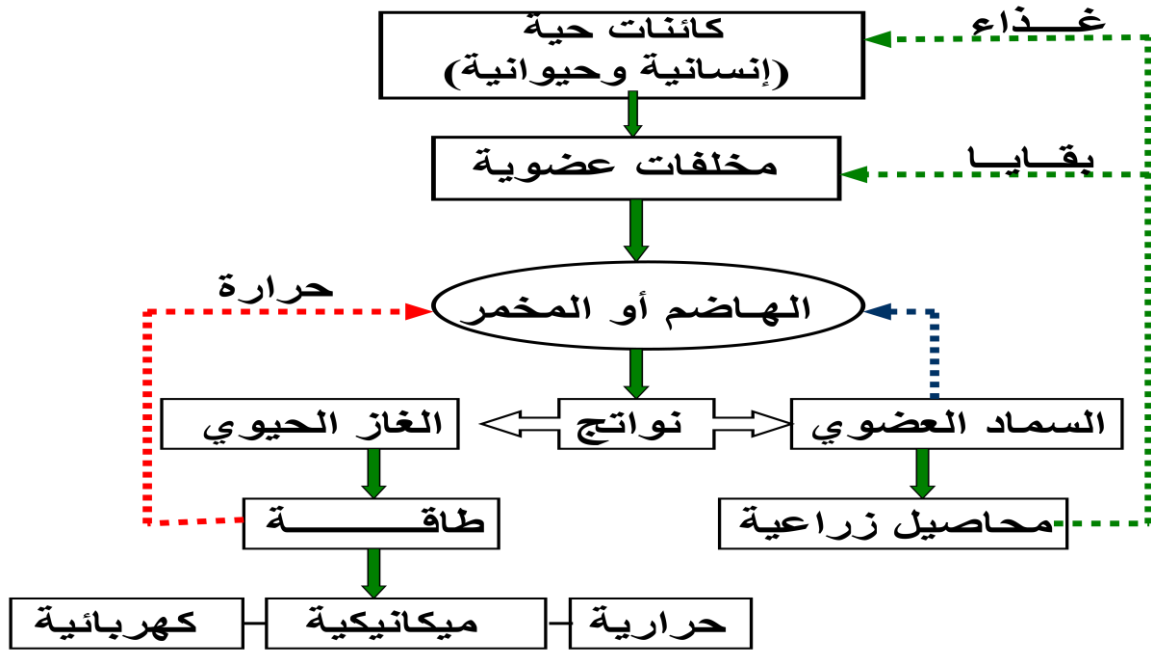
ويبين الجدول التالي محتوى الغاز الحيوي :

الجدول (٢-١٠) محتوى الغاز الحيوي [32]

محتوى الغاز الحيوي		
اسم العنصر	الرمز	المحتوى %
الميثان	CH ₄	50-70
ثاني أكسيد الكربون	CO ₂	25-45
النيتروجين	N ₂	0.5-3
الهيدروجين	H ₂	1-10
أول أكسيد الكربون	CO	0.1
الأوكسجين	O ₂	0.1
غاز الكبريت	H ₂ S	ضئيلة جداً
المحتوى الحراري: (3800-6000) كيلو كالوري/م ^٣		

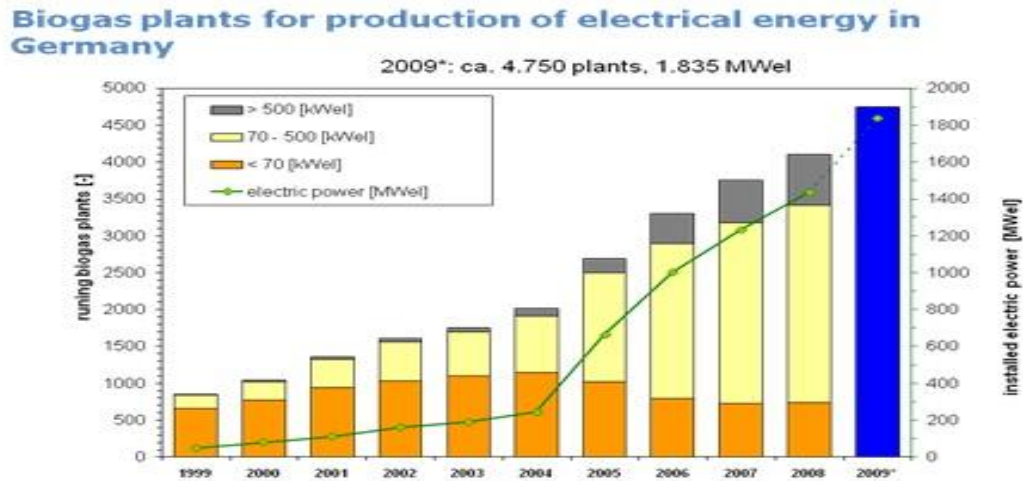
إن تقنية الغاز الحيوي تستخدم لتلبي حاجة حقيقية تتناسب مع الظروف المحيطة وبما يتيح الاستفادة من كافة مخرجاتها، طاقة وسماد وصرف صحي، وخفض التلوث البيئي، لذا فمن الضروري النظر إلى هذه التقنية بنظرة النظام المتكامل والشامل مع الاهتمام بكافة مكوناته ومدخلاته ومخرجاته وارتباطاتها بالمجتمع.

دورة الغاز الحيوي: يبين الشكل (٢-٢٠) دورة الغاز الحيوي بدءاً من مخلفات الكائنات الحية وانتهاءً بالحصول على أحد أنواع الطاقة



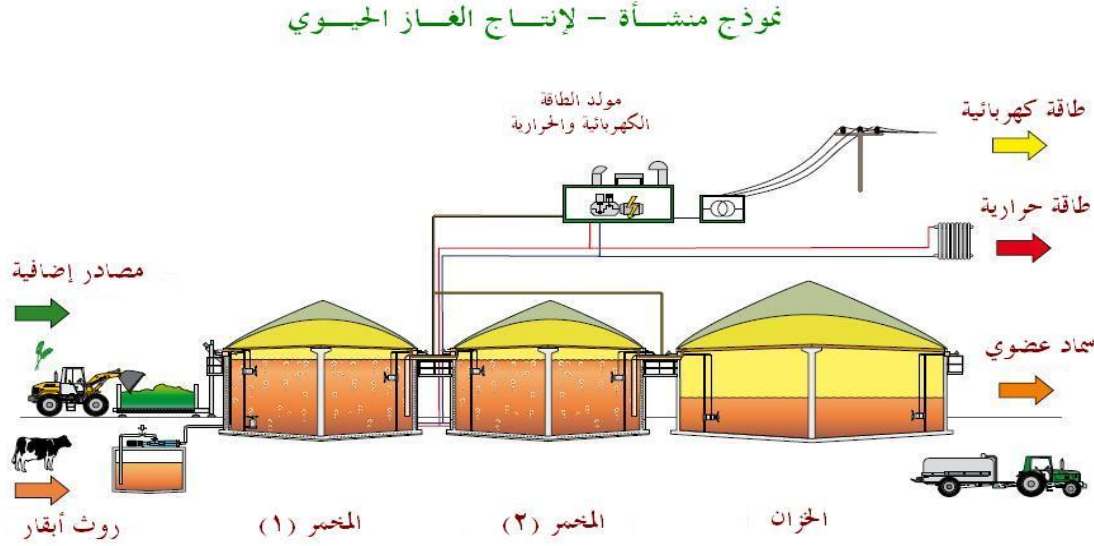
الشكل (٢-٢٠) دورة الغاز الحيوي [32]

من خلال الشكل نجد أنه الاستفادة من الغاز الحيوي في إنتاج الكهرباء من أهم تطبيقاته وخاصة أنه غاز صديق للبيئة وذلك عن طريق حرقه في مراحل لتوليد البخار في المحطات البخارية أو إشعاله مع الهواء في العنفات الغازية لتوليد الكهرباء وبلغت الاستطاعة المركبة في ألمانيا من محطات التوليد الموزع باستخدام الغاز الحيوي حوالي (١٨٣٥) ميغا واط في عام ٢٠٠٩ وهذا يعتبر تطور كبير لاستخدام هذه التقنية.



الشكل (٢-٢١) الاستطاعة المركبة في ألمانيا من محطات التوليد الموزع باستخدام الغاز الحيوي [32]

كما أنه تبلغ الاستطاعة المركبة في العالم من محطات التوليد الموزع باستخدام الطاقة الحيوية وبكافة أشكالها حوالي (١٤) غيغا وات ومعظم هذه المحطات تعمل كمولدات للطاقة الحرارية والكهربائية معاً CHP والشكل التالي يوضح مخططاً رمزياً لمنشأة غاز حيوي.



الشكل (٢-٢٢) منشأة لإنتاج الغاز الحيوي [32]

٢-٢-٢ خلايا الوقود (fuel cell) [29]:

تم اختراع تقنية خلايا الوقود في إنجلترا في منتصف القرن التاسع عشر الميلادي على يد السيد وليام روبرت جروف William grove. منذ أكثر من 160 عاماً حيث لم يكن يعلم أن اختراعه الذي وضعه في العام 1839 سيحل مشكلة تواجه العالم في القرن الواحد والعشرين لاكتشاف خلايا الوقود التي يمكن عن طريقها الحصول على الكهرباء من الهيدروجين أو الكحول دون أي عملية احتراق، وبذلك يكون قد حل المعادلة الصعبة، وهي الحصول على طاقة نظيفة من غير أن تلوث البيئة وبأقل الأسعار.

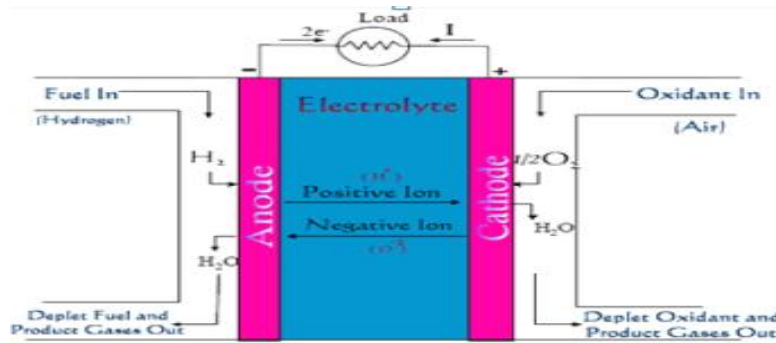
في أواخر الستينيات بدأ الاهتمام بشكل جاد بالخلايا الوقودية وبتطويرها من أجل تطبيقات متعددة وبين عامي 1967-1977 قام فريق الأبحاث المتقدمة لتحويل طاقة الغاز (TARGET) بتطوير خلايا حمض الفوسفور (PAFC) وذلك لاستخدامها في محطات التوليد المشترك (CHP) (Combine Heat And Power). في 1987 بدأت اليابان بوضع برنامج لتطوير وحدات خلايا

وقودية من طراز MCFC باستطاعة 1Mw . أما في الولايات المتحدة فقد وضع برنامج لتتجير وحدات توليد MCFC باستطاعة 2Mw في عام 1989. وفي عام 2000 وبتعاون أمريكي ياباني أبرمت اتفاقية بين شركة FCE الأمريكية و Marubeni اليابانية لإنتاج وتسويق وحدات خلايا وقودية مباشرة (Direct Fuel Cell Units). وبعدها ظهرت الخلايا الوقودية PEMFC حيث وضعتها شركة HPower Co. ضمن أولوياتها في عام 2001. وقامت العديد من الشركات بتطويرها أيضاً مثل UTC , IFC , Treadwel , وذلك بالتعاون مع جنرال اليكتريك (General Electric) لاستخدامها في التطبيقات الفضائية والحربية في الولايات المتحدة . و في أوروبا عمدت شركة سيمنز وجنرال اليكتريك لتطويرها كمصادر تغذية لدفع الغواصات. ويبين الجدول التالي تطور استطاعة خلايا الوقود بين عامي 2000-2010.

الجدول (٢-١١) تطور استطاعة خلايا الوقود [29]

عام 2010	عام 2000	
5500 Mw	1050 Mw	لمؤسسات الكهرباء
5300 Mw	1200 Mw	للاستخدامات الخاصة
10800 Mw	2250 Mw	المجموع

- بنية الخلايا الوقودية ومبدأ عملها:



الشكل (٢-٢٣) بنية الخلايا الوقودية [29]

بنية خلية الوقود عادة مكونة من قطب وقود (مسرى موجب) (fuel electrode (anode) وقطب التأكسد (مسرى سالب) (electrode oxidant (cathode) مفصولين بغشاء تبادل بروتوني-ion-conducting membrane. يمر الأكسجين على احد الأقطاب ويمر الهيدروجين على المسرى

الآخر مولدين كهرباء وماء وحرارة. تدمج خلايا الوقود بين جزيئات الوقود والمؤكسد بدون حرق أو توليد تلوث كما في نظم التوليد غير الكفوءة والملوثة التي تستخدم تقنية الحرق التقليدي الهيدروجين هو الوقود المستخدم حالياً في خلايا الوقود. بعض الغازات مثل النيتروجين Nitrogen من الهواء له تأثير طفيف على أداء خلية الوقود. الغازات الأخرى مثل أول أكسيد الكربون CO والميثان CH₄ لها تأثير مختلف على خلايا الوقود حسب نوع الخلية. مثلاً أول أكسيد الكربون CO يعتبر ضار وملوث لخلايا الوقود ذات درجة الحرارة المنخفضة نسبياً مثل خلية الوقود ذات غشاء التبادل البروتوني. من جهة أخرى أول أكسيد الكربون يمكن أن يستخدم كوقود مباشر لخلايا الوقود ذات درجة الحرارة العالية مثل خلية الوقود ذات الوسيط الصلب the Solid Oxide Fuel Cell (SOFC) كل خلية وقود بوسيطها الخاص ومحفظها تستقبل غازات معينة لتكون كوقود لها أو ملوثات تؤثر سلباً على أداء الخلية. لذا نظام تغذية الغاز لابد أن يكون مناسب وخاص لنوع خلية الوقود.

- مقارنة خلايا الوقود و المصادر التقليدية للطاقة:

في الطرق التقليدية لتوليد الكهرباء يتم حرق الوقود والهواء ليولداً غازات ذات درجة حرارة عالية، ففي حال محطة طاقة تستخدم الفحم كوقود، الحرارة المحتواة في غاز الاحتراق تنقل لمائع (ماء) ذو ضغط عالي ليقوم بغليه. في حال كانت المحطة تستخدم غازولين أو وديزل أو عنفة غازية فالغاز الساخن نفسه يكون ذو ضغط عالي. البخار المضغوط أو الغاز الساخن يدخل في آلة ميكانيكية مثلاً عنفة (turbine) وتدير بذلك مولد كهربائي.

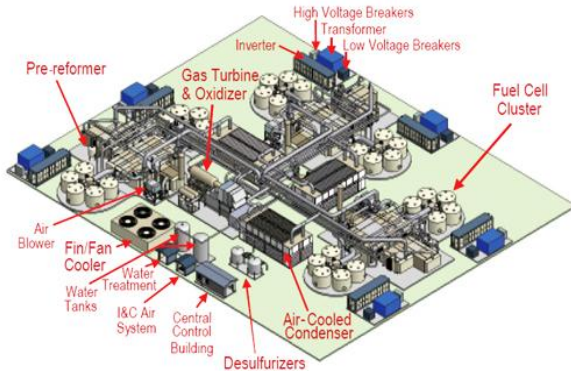
في خلية الوقود تحدث نفس التفاعلات الكيميائية الأساسية لكنها تولد الكهرباء مباشرة كعنصر كهروكيميائي وبالتالي لا تدخل مرحلة وجود غاز بدرجة حرارة عالية كما هو الحال في الحرق الطبيعي، هذا التحويل المباشر للطاقة الكيميائية الى طاقة كهربائية أكثر كفاءة ولا يسبب تلوث ملحوظ مقارنة مع طرق التوليد التي تعتمد على الحرق التقليدية. لكن خلايا الوقود تتمتع من ناحية أخرى بالعديد من المميزات المرغوبة جداً، فهي تعمل عملاً نظيفاً وصامتاً نسبياً، وتستطيع استخدام أنواع مختلفة من الوقود، و يبين الجدول التالي مقارنة بين عدة أنظمة لمحطات توليد الكهرباء من حيث نسبة الانبعاثات:

الجدول (٢-١٢) مقارنة بين المحطات من حيث انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون [29]

انبعاثات CO2 (Kg/Kwhe)	الوقود المستخدم	نوع المحطة
0.82	فحم حجري	بخارية مزودة بمعدات تنقية الغازات العادمة
0.76	وقود سائل ثقيل	بخارية متوسطة
0.48	غاز طبيعي	بخارية متوسطة
0.58	غاز طبيعي	غازية عادية
0.41	غاز طبيعي	دائرة مركبة (غازية - بخارية)
0.19	هيدروجين + هواء	محطة خلايا وقود مفردة
0.16	هيدروجين + هواء	محطة مختلطة (FC/GT)

- استخدام خلايا الوقود لتوليد الكهرباء الموزع:

لقد نحا العاملون في مجال تطوير خلايا الوقود الثابتة ومؤيدوهم نحو نماذج تعتمد على توليد الكهرباء من خلال نظم لامركزية (DG). لتغطية الطلب على الطاقة وذلك من خلال وحدات صغيرة، التي تنتج طاقة بقدرات منخفضة لتوفر الطاقة الكهربائية للوحدات السكنية بشكل إفرادي. أو من خلال وحدات يتم فيها تجميع عدد من الخلايا كموديولات استطاعة للوصول إلى استطاعات عالية من رتبة الـ (MW). تستخدم إما كمولدات الطاقة الحرارية والكهربائية CHP. كما هو موضح بالشكل (٢-٢٤) أو كمحطات مختلطة و يبين الشكل رقم (٢-٢٥) مخطط الموقع العام لمحطة مختلطة (FC/GT) باستطاعة 40 Mw تعتمد على موديولات خلايا وقودية ذات استطاعة 10 Mw.



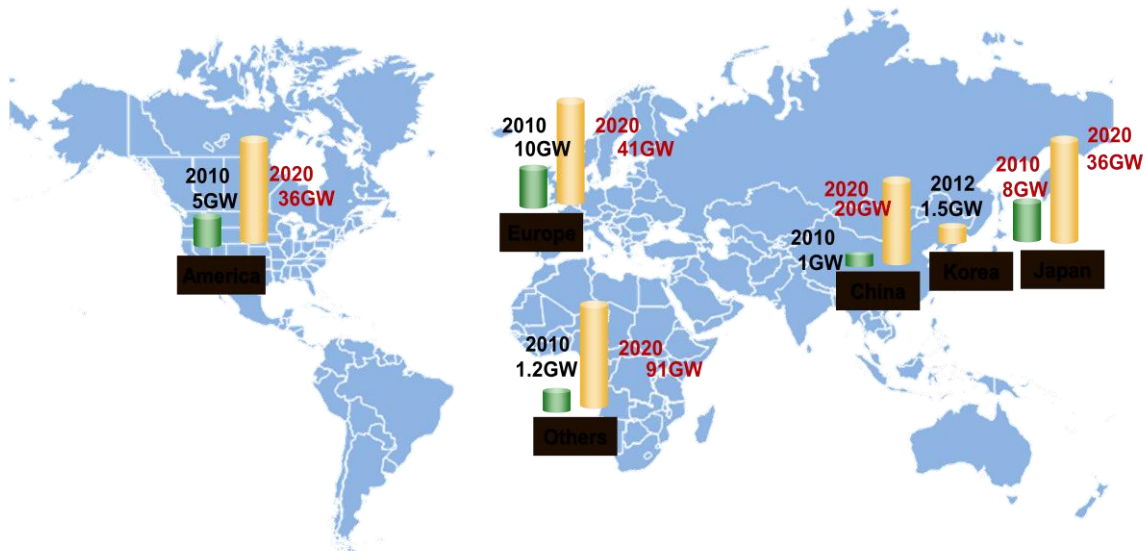
الشكل رقم (٢٠-٢) مخطط الموقع العام
مختطة (FC/GT) [29]

الشكل رقم (٢٤-٢) مولدات الطاقة الحرارية والكهربائية
لمحطة CHP [29]

٧-٢-٢ الخلايا الكهروضوئية [30]:

تستخدم الأنظمة الكهروضوئية (PV) بشكل متصل مع الشبكة العامة وكأنظمة توليد موزع بإحدى طريقتين:

- حقول PV مركبة في موقع نهاية الاستخدام (على سطح المباني).
 - كمحطات توليد مركزية تحويل أشعة الشمس المباشرة إلى طاقة كهربائية.
- ويبين الشكل (١٧-٢) نمو سوق الخلايا الشمسية في العالم المتوقع حتى عام ٢٠٢٠ والذي ستصل فيه كمية الاستطاعة المركبة من الخلايا الكهروضوئية إلى (٢٢٤) غيغا واط.



الشكل (٢٦-٢) نمو سوق الخلايا الشمسية في العالم المتوقع حتى عام ٢٠٢٠ [30]

وتجدر الإشارة إلا أن الجمهورية العربية السورية بصدد دراسة إنشاء محطات توليد كهروضوئية مرتبطة بالشبكة السورية وذلك خلال السنوات القادمة.

وتتألف محطات التوليد الكهروضوئية الشكل (٢٧-٢) بشكل رئيسي من الأجزاء الرئيسية التالية:



الشكل (٢٧-٢) نظام كهروضوئي مربوط مع الشبكة الكهربائية [30]

١- المولد الكهروضوئي:

يتكون المولد الكهروضوئي من مجموعة من اللوحات الكهروضوئية إضافة إلى هيكل حامل اللوحات ومواد التثبيت اللازمة لها، والمتصلات الثنائية التفرعية ديودات العبور (by pase diodes) التي تستخدم لقصر اللوحة الكهروضوئية في حال خروجها من العمل، والمتصلات الثنائية التسلسلية (ديودات التوقيف) التي تمنع مرور التيار بالاتجاه المعاكس في أحد الفروع التسلسلية، والمنصهرات وكابلات التوصيل، ونهايات الوصل، وأدوات الحماية من زيادة التوتر، وأدوات القطع، وعلب التحكم الكهربائية.

إن أهم الخصائص التي تميز اللوحة الكهروضوئية كهربائياً هي التالية:

○ منحنى التيار- التوتر (I-V Curve) الموضح في الشكل (١-٤)، يعطي هذا المنحنى

خصائص اللوحة عند شروط الاختبار المعيارية (Standard Test Conditions STC)

وهذه الشروط: شدة إشعاع شمسي مقدارها 1000 W/m^2 عند كتلة هواء تساوي $AM = 1.5$

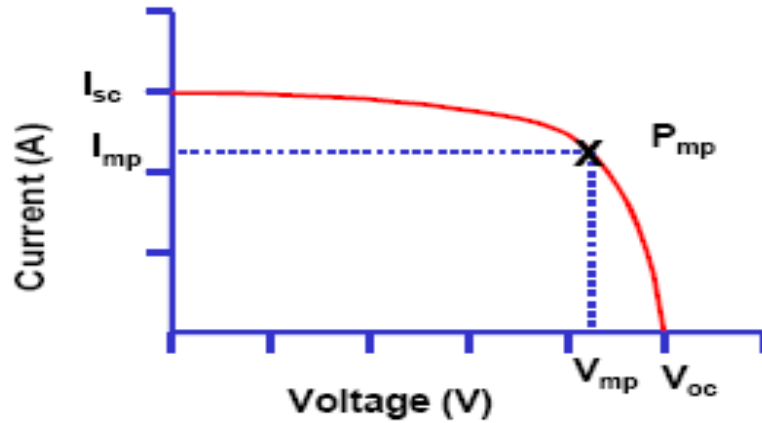
ودرجة حرارة الاتصال في الخلية 25°C).

○ توتر الدارة المفتوحة للوحة : وهو التوتر الحاصل بين طرفي اللوحة عندما لا ينتج فيها أي تيار

كهربائي. ويعتمد توتر الدارة المفتوحة على درجة حرارة الخلية حيث يتناقص مع ارتفاع درجة

الحرارة.

- تيار الدارة المقصورة للوحة : هو التيار الناتج عندما ينعدم التوتر عند خرج اللوحة. ويزداد تيار الدارة المقصورة قليلاً مع ارتفاع درجة حرارة الخلية.
- القدرة القصوى (Pm): وهي القدرة التي تنتجها اللوحة الكهروضوئية عند شروط الاختبار المعيارية وتوافق عادة هذه القيمة قيمة القدرة القصوى للوحة.
- نقطة القدرة القصوى (MPP) وهي نقطة تشغيل اللوحة الكهروضوئية التي تقع على منحنى التيار - التوتر (I-V) والتي توافق إنتاج القدرة القصوى من اللوحة.
- V_n هو توتر اللوحة الموافق للقدرة القصوى ويمثل (VMPP)
- I_n هو تيار اللوحة الموافق للقدرة القصوى ويمثل (IMPP)
- عامل الامتلاء (Fill Factor, FF) ويعطي النسبة بين القدرة الكهربائية التي تنتجها الخلية الحقيقية وتلك التي تنتجها الخلية المثالية وتتراوح قيمة عامل الامتلاء عادة من (0.6-0.8) عند شروط الاختبار المعيارية.



(٢٨) خصائص

الشكل (٢) -

اللوحة الكهروضوئية [30]

ومن أجل تحقيق قدرة أكبر لا بد من وصل اللوحات مع بعضها على التسلسل و/أو على التفرع وهذا التوصيل يشكل حقل اللواظ الشمسية الكهروضوئية (Photovoltaic Solar Array).

٢- المعرجات:

تستخدم المعرجات في النظم الكهروضوئية التي يتم ربطها مع الشبكة الكهربائية التي تؤمن الطاقة الكهربائية المطلوبة إلى الحمل من جهة وتؤمن الطاقة الإضافية غير المطلوبة إلى الشبكة الكهربائية من

جهة أخرى. يكون النظام الكهروضوئي في هذه الحالة جزءاً من الشبكة الكهربائية، ويكون فيها المعرج هو الجزء المشترك بين النظام الكهروضوئي والشبكة الكهربائية.

وتختلف هذه المعرجات عن المعرجات التي تعمل بشكل مستقل بحيث لا يمكن أن تعمل إلا عند وصلها إلى الشبكة الكهربائية وهي تحول التيار المستمر الناتج عن اللوحات الكهروضوئية إلى تيار متناوب له خصائص التيار المتناوب للشبكة الكهربائية. لذا فإنه لا يكيف القدرة الناتجة من المولد الكهروضوئي فحسب، بل يستخدم كضابط للنظام وللوسائل التي من خلالها تصل الكهرباء المولدة في الموقع إلى الشبكة. إنه يستخدم التردد الكهربائي للشبكة كعامل من عوامل التنظيم لتأكيد تزامن خرج المولد الكهروضوئي. وعليه فإن شكل الموجة الناتجة عن هذا المعرج جيبيية تماماً.

يجب أن يكون المعرج محمياً من التوترات العابرة مع أدوات حماية على جانبي التيار المستمر والتيار المتناوب. ويجب أن يستخرج المعرج القدرة القصوى من اللوحات الكهروضوئية لأن القدرة المتوفرة من اللوحات الكهروضوئية تتغير مع تغير درجة حرارة اللوحة ومع الإشعاع الشمسي، لذا فهو مزود بوحدة لملاحقة نقطة القدرة القصوى وبمساعدة هذه الوحدة يتغير دخل المعرج حتى يلاقي نقطة القدرة القصوى على منحني (التيار - التوتر) للوحات. ويتم البحث عن نقطة الاستطاعة القصوى كل دقيقة إلى ثلاث دقائق.

يتضمن معرّج القدرة الوسائل الممكنة لضبط كل النظام الكهروضوئي مثل معرفة القدرة المتوفرة من المولد الكهروضوئي، وإغلاق القاطع من جهة الشبكة المتناوبة للبدء بالعمل بعد أقصر فترة ممكنة من شروق الشمس وفصل المعرج تماماً عند غروب الشمس. إضافة إلى احتوائه على نظام حماية للكشف عن ظروف العمل غير النظامية مثل:

- خطأ الاتصال بالأرض من جهة التيار المستمر.
- الظروف غير العادية التي تطرأ على الشبكة الكهربائية.
- إغلاق المعرج عندما تصل مرحلة القدرة إلى حالة الحرارة الزائدة.

٣- المتتمات:

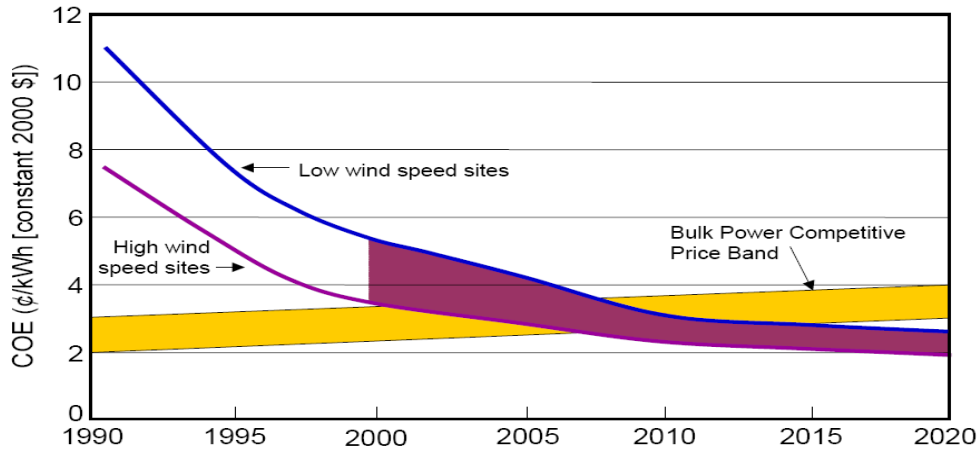
وهي عبارة عن دارات الربط في كلا من قسم التيار المستمر (DCDB) وقسم التيار المتناوب (ACDB)، بالإضافة إلى محولات الرفع ونظام المراقبة.

٢-٢-٨ تقنية العنفات الريحية للتوليد الموزع [15]:

- التعريف بالرياح ومصادرها:

تعد طاقة الرياح من أهم مصادر الطاقات المتجددة لما لها من أثر فعال في المحافظة على البيئة، ولتكالفتها الرخيصة مقارنة ببعض مصادر الطاقة الأخرى. واستخدمت طاقة الرياح لتسيير القوارب و لتدوير طواحين الهواء بغرض طحن الحبوب و ضخ المياه وكان ذلك منذ ما لا يقل عن الثلاث آلاف سنة. وعلى مر السنين تطورت طرق إستغلال منظومات تحويل طاقة الرياح من حيث إستخداماتها وتصاميمها حتى وصلت إلى ما نراه الآن من هينئتها الحالية كمراوح هوائية ذات أشكال مختلفة تستخدم لتوليد الكهرباء.

ويوضح الشكل (٢-٢٩) تناقص تكلفة الطاقة المنتجة بحسب سرعة الرياح من سنة ١٩٩٠ وكذلك التكلفة المتوقعة لسنة ٢٠٢٠.



الشكل (٢-٢٩) تناقص تكلفة الطاقة المنتجة بحسب سرعة الرياح [15]

مكونات منظومات طاقة الرياح:



الشكل (٢-٣٠) مكونات العنفة الريحية [15]

تتكون منظومة تحويل طاقة الرياح من أربع أجزاء رئيسية وهي :

- ١ - الجزء الدوار: يتكون هذا الجزء من أجنحة التوربينة الريحية وكذلك على الصرة وهي الجزء الذي يربط ريش التوربينة بمحور الدوران
- ٢ - حاوية لبعض أجزاء المنظومة: تحتوي هذه الحاوية على قاعدة متصلة ببرج التوربينة الريحية وكذلك على محور الدوران الرئيسي المتصل بالصرة، صندوق التروس، المكابح، المولد، نظام التبريد، نظام التوجيه، نظام التحكم، جهاز قياس سرعة واتجاه الرياح.
- ٣ - البرج: هناك عدة أنواع من الأبراج لمنظومات طاقة الرياح، وأغلب هذه الأنواع شيوعا هي الأبراج الشبكية، والانبوبية المصنعة من الحديد الصلب أو من الاسمنت
- ٤ - غرفة التحكم: تحتوي هذه الغرفة على جهاز حاسوب يستخدم لمراقبة جميع أنظمة التوربينة الريحية باستمرار، وفي حالة حدوث أي عطل لأحد الأجزاء يعمل جهاز الحاسوب تلقائيا على وقف المنظومة عن العمل، حيث يقوم النظام الهيدروليكي بتشغيل المكابح الايروديناميكية للمنظومة.

٢-٣ تأثير التوليد الموزع على الشبكة الكهربائية العامة:

إن تكامل المولدات الموزعة التقليدية والمتجددة في الشبكات الكهربائية، قد غير طبيعة نظام الشبكات الكهربائية وحوله من نظام مسالم إلى نظام فعال وأدى إلى خلق مجموعة من التأثيرات الفنية على الشبكة المضيفة لتلك المولدات الموزعة وذلك في عدة مجالات وسيتم دراستها كمايلي:

٢-٣-١ تأثير التوليد الموزع على جودة التغذية الكهربائية [21]:

مع تعدد واختلاف أنواع المستهلكين " سكني، تجاري، صناعي، زراعي " والتي تتم تغذيتهم من شبكة توزيع ونقل للقدرة الكهربائية ذات مستوى عالي من التعقيد نظراً لاحتوائها على جميع العناصر اللازمة للمنظومة الكهربائية ، فإن ذلك يتسبب في حدوث اضطرابات في القدرة الكهربائية من تشوه لموجة التيار أو التوتر، تقلب أو ارتعاش في التوتر، عدم اتزان التوتر والتيار.....، بالتالي تكون النتيجة اختلال عمليات تشغيل المعدات الالكترونية الحساسة أو انقطاع التغذية الكهربائية. لذلك كان لابد من التفكير بشكل جدي بموضوع الجودة الكهربائية والتي ترتبط بشكل أساسي بشكل الموجة من حيث القيمة (Amplitude)، التردد (Frequency)، التوافقيات (Harmonics) وتمائل الأوجه الثلاثة للنظام (Symmetry of 3-phse system). حيث يؤدي أي تغيير في أي من هذه العوامل إلى التأثير والتغيير في شكل الموجة الجيبية لمصدر التغذية.

نتيجة لتزايد اختراق نظم التوليد الموزع بأنواعها المختلفة لشبكة توزيع القدرة الكهربائية. فإن ذلك يساهم بشكل كبير في زيادة التعقيد لهذه الشبكات مما يسبب مشاكل اضافية بخصوص الجودة الكهربائية ناتجة عن حقن بعض أنواع التوليد الموزع تياراً لا جيبياً في شبكة التوزيع أو تسبب أنواع أخرى لتغيرات غير مقبولة في قيمة التوتر أو غير ذلك مما قد تسببه بعض هذه النظم للتأثير على جودة التغذية الكهربائية.

- اضطرابات جودة التغذية الكهربائية:

من أهم هذه الاضطرابات وتأثير التوليد الموزع عليها:

١- التغير البطيء للتوتر (Slow Voltage Variations):

تقليدياً فرضت الجهات العامة قيم محددة لتغير التوتر عن القيمة الاسمية في كلا المستويين (MV, LV) والتي يجب أن لايتجاوز في الوضع الطبيعي توتر النظام الاسمي. وتم اجراء احصائية لتغير

التوترات الطبيعية وتحديدها من خلال المعيار الدولي EN50160 والذي تفرض حدود لا يجوز تجاوزها.

وتم تقدير تغير التوتر ($\epsilon\%$) من خلال المعادلة التالية:

$$\epsilon\% \cong 100 \text{ Sn/Sk} \cos(\psi k + \phi) = 100/R \cos(\psi k + \phi) \leq 3\%$$

حيث:

Sn استطاعة الخرج العظمى لوحدة التوليد الموزع المستخدمة

Sk استطاعة القصر للشبكة

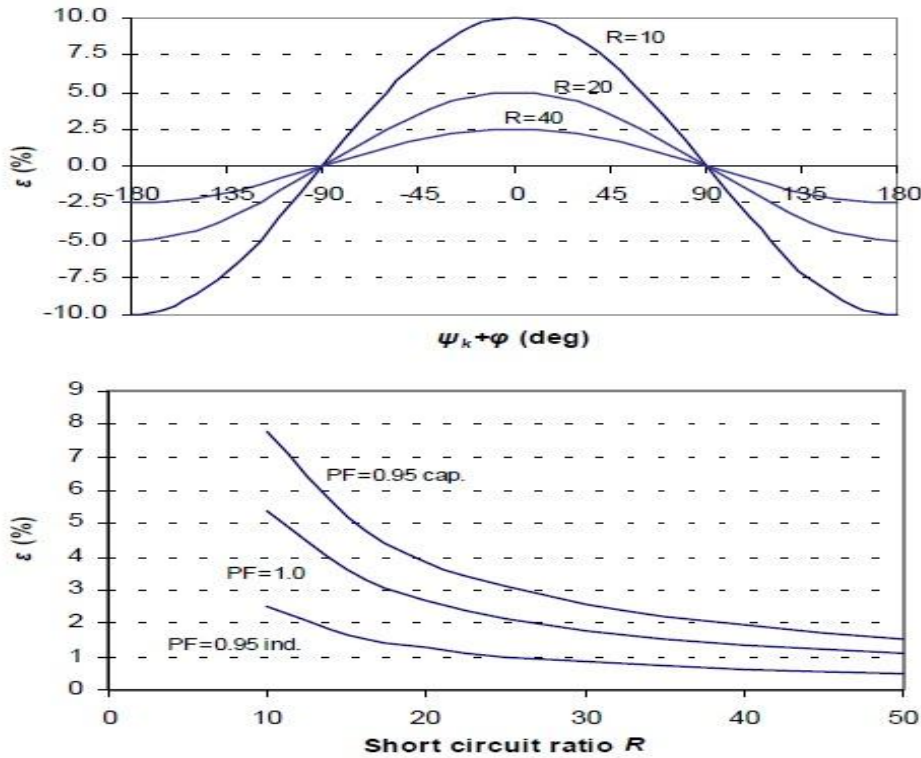
Ψk زاوية فرق الصفحة لدارة القصر

ϕ زاوية الطور لتيار خرج وحدة التوليد الموزع

$R=Sk/Sn$ نسبة معدل دارة القصر

3% الحد المفترض عدم تجاوزه لأنه مخصص لمستخدم واحد من الشبكة

بينما تحدد هذه النسبة في أوروبا بشكل خاص بحيث لا تتجاوز 2%.



الشكل (٢-٣١) علاقة تيار القصر مع تغير التوتر [21]

اعتماداً على زاوية الشبكة Ψ_k وزاوية عامل الاستطاعة لوحدة التوليد الموزع المركبة ϕ ، فإن نسبة دائرة القصر يجب أن تكون مساوية (١٥) أو أقل لتكون مقبولة.

يتبين من المخطط الأول في الشكل رقم (٢-٣١) أن تأثير عامل الاستطاعة لوحدة الـ DG المركبة على قيمة تغير التوتر كبير جداً وهام. فيما يبين المخطط الثاني في الشكل السابق علاقة تغير التوتر مع معدل دائرة القصر لخط نقل هوائي توتر متوسط عند زاوية $\Psi_k=55$ وعامل الاستطاعة لوحدة التوليد الموزع المركبة يتراوح بين (0.95 inductive to 0.95 capacitive).

إن هذه القيم المحددة لتغير التوتر تختلف في الشبكات المربوط عليها عدد من وحدات DG، أو الشبكات التي تعتمد وحدات DG لفترة طويلة لتخديم أحمال المستهلك . بالإضافة لبعض الحالات الخاصة مثل (خطوط نقل طويلة ذات ساعات نقل كبيرة). حيث يكون في مثل هذه الحالات تغير التوتر الناتج سببه التأثير الكلي لكل وحدات التوليد وأحمال الشبكة. ولتحديد قيمته هنالك أربع حالات لمجموعات التوليد والحمل يجب أن تدرس :

١- حمل أصغري - توليد أصغري

٢- حمل أصغري - توليد أعظمي

٣- حمل أعظمي - توليد أصغري

٤- حمل أعظمي - توليد أعظمي

في الشبكات الهوائية التي تُخدم المناطق الريفية يتم دراسة الحالة الثانية والحالة الرابعة والتي ينتج عنهما أعظم وأصغر قيمتين للتوتر (U_{max} , U_{min}) لكل عقدة. ويجب أن لا تتجاوز قيمة تغير التوتر عن 3% عن قيمة التوتر الاسمي.

وهذا يضمن بأن مستوى التوتر على طول شبكات التوتر المنخفض LV تبقى ضمن الحدود الطبيعية ($\pm 10\%$).

٢- التغيرات السريعة للتوتر - الارتعاش (Flicker):

تعرف المواصفة الأوربية *EN50160* أن ظاهرة الارتعاش هي التغير السريع لقيمة التوتر والتي تحدث خلال فترة أصغر بكثير من 10 دقائق، وهذا التغير السريع يحدث اما نتيجة عمليات ربط ضمن وحدات التوليد الموزع (إعادة تشغيل، إيقاف التجهيزات)، أو نتيجة تغير الاستطاعة المولدة خلال العمل الطبيعي

إن الحدود المفروضة لقيمة تغير التوتر في هذه الحالة تعتمد على عدة عوامل منها: مستوى التوتر للشبكة (منخفض، متوسط)، مكان ربط وحدة التوليد الموزع، حجم التجهيزات وتردد العمل. ويبين الجدول التالي القيم الحدية المسموح بها حسب النورمات العالمية.

الجدول (٢-١٣) الحدود المفروضة لقيمة تغير التوتر [21]

		Frequency of switching operations, r (h^{-1} : per hour, d^{-1} : per day)		
$\sum$		$r > 1 h^{-1}$	$2 d^{-1} < r < 1 h^{-1}$	$r < 2 d^{-1}$
	Steady-state change, d_c	$\leq 3 \%$		
	Maximum change, d_{max}	$\leq 4 \%$	$\leq 5.5 \%$	$\leq 7 \%$
$\sum$		$r > 10 h^{-1}$	$1 h^{-1} < r \leq 10 h^{-1}$	$r \leq 1 h^{-1}$
	Steady-state change, d_c	-		
	Maximum change, d_{max}	$\leq 2 \%$	$\leq 3 \%$	$\leq 4 \%$

وتتعلق هذه الظاهرة بما يسمى معامل الاضطراب (Turbulence Coefficient) والذي يعبر عن خصائص الاضطراب الذي يحدث للموجة المنبعثة من وحدة التوليد الموزع، ويعطى بالعلاقة:

$$P1t = Cf(\psi k, Va)Sn/Sk$$

حيث:

ψk زاوية فرق الصفحة لدائرة القصر .

Va المتوسط السنوي لسرعة الرياح.

Sn استطاعة الخرج العظمى لوحدة التوليد الموزع المستخدمة

Sk استطاعة القصر للشبكة

٣- الموجات العابرة (Transients):

تنتج هذه الظاهرة عن الصواعق وضربات البرق للشبكة وحالات الفصل والوصل وتؤدي هذه الظاهرة إلى فشل في العوازل في الشبكة الكهربائية كما تؤثر على عمل المحولات الكهربائية والتجهيزات المربوطة مع الشبكة.

٤- التوافقيات (Harmonics):

إن استخدام مكيفات أو محولات القدرة (Converters) عند طرف نهاية العديد من أنواع نظم التوليد الموزع DG تزيد بشكل ثابت متطلبات التحكم بالتوافقيات الناتجة نتيجة الربط مع الشبكة. و يعطى التشوه التوافقي الكلي (THD%) Total Harmonic Distortion بالعلاقة:

$$THDv\% = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1} * 100$$

حيث V_1 قيمة التوتر الأساسي و V_h قيمة توتر التوافقية رقم h . واعتماداً على IEC للمعايير تتم دراسة التوافقيات عن طريق ثلاث خطوات أساسية:

١- تعريف حدود تشويه التوتر

٢- تحديد حدود عالمية لتوافقيات التوتر للمنتجين المستقلين أو المستهلكين

٣- تحديد حدود تشويه موجة التيار لوحدات الـ DG المركبة

تعطى مستويات التشوه التوافقي لأنظمة التوتر حسب IEC61000-3-6 كما يلي:

الجدول (٢-١٤) مستويات التشوه التوافقي لأنظمة التوتر حسب IEC61000-3-6 [21]

Odd harmonics ≠3k				Odd harmonics = 3k				Even harmonics			
Order h	Harmonic voltage (%)			Order h	Harmonic voltage (%)			Order h	Harmonic voltage (%)		
	LV	MV	HV		LV	MV	HV		LV	MV	HV
5	6	5	2	3	5	4	2	2	2	1.6	1.5
7	5	4	2	9	1.5	1.2	1	4	1	1	1
11	3.5	3	1.5	15	0.3	0.3	0.3	6	0.5	0.5	0.5
13	3	2.5	1.5	21	0.2	0.2	0.2	8	0.5	0.4	0.4
17	2	1.6	1	>21	0.2	0.2	0.2	10	0.5	0.4	0.4
19	1.5	1.2	1					12	0.2	0.2	0.2
23	1.5	1.2	0.7					>12	0.2	0.2	0.2
25	1.5	1.2	0.7								
>25	0.2+	0.2+	0.2+								
	$1.3 \cdot \left(\frac{25}{h}\right)$	$0.5 \cdot \left(\frac{25}{h}\right)$	$0.5 \cdot \left(\frac{25}{h}\right)$								
THD: 8 % at LV, 6.5 % at MV, 3% at HV											

- التوافقيات لأنظمة التوتر المتوسط:

إن التحكم بتنسيق التوافقيات الصادرة عند التحويل من مستوى توتر إلى مستوى آخر يجب أن يأخذ بالاعتبار التشويه الإضافي الذي من الممكن أن ينتقل من مستوى توتر إلى آخر والذي يسمى بحد حد التشويه (GhMv) ويعطى بالعلاقة:

$$G_{hMV} = \sqrt[a]{L_{hMV}^a - (T_{hHM} \cdot L_{hHV})^a}$$

حيث :

- LhMv, LhHv : تعطى لمستويات التوتر المتوسط والعالي وحسب ترتيب كل توافقية.
- ThHM : معامل التوافقيات المنقولة من مستوى التوتر العالي إلى مستوى التوتر المتوسط وتتراوح قيمته ($1 \leq ThHM \leq 3$).

- α : الأس لمجموع التوافقيات وتؤخذ قيمتها حسب IEC61000-3-6 كمايلي:

$$\alpha=1 \text{ for } h < 5, \quad \alpha=1.4 \text{ for } 5 \leq h \leq 10, \quad \alpha=2 \text{ for } h > 10$$

- Lh : قيمة حدود التيار تؤخذ من الجدول (٢-٧) الذي يوضح قيمة حدود التيار لكل توافقية ولنظام توتر متوسط (20Kv).

الجدول (٢-١٥) حدود التيار لكل توافقية ولنظام توتر متوسط (20Kv) [21]

Order, h	L_h , (A/MVA)	Order, h	L_h , (A/MVA)
3	0.050	13	0.017
5	0.060	17	0.010
7	0.040	19	0.008
9	0.008	23	0.005
11	0.025	25	0.004
h even or $h=15,21$ or $h > 25$:		$0.03/h$	

- التوافقيات لأنظمة التوتر المنخفض:

إن المبادئ والعلاقات المطبقة في أنظمة التوتر المتوسط يمكن تطبيقها في أنظمة التوتر المنخفض. كما أنه وحسب IEC61000-3-2 تعطى حدود قيمة تيار التوافقية I_h لوحدة التوليد الموزع والتي تيار الطور لها أقل من (16 A)

الجدول (٢-١٦) قيمة تيار التوافقية I_h لوحدة التوليد الموزع والتي تيار الطور لها أقل من (16 A) [21]

Odd harmonics		Even harmonics	
h	$I_{h,max}$ (A)	h	$I_{h,max}$ (A)
3	2.30	2	1.08
5	1.14	4	0.43
7	0.77	6	0.30
9	0.40	≥ 8	$0.23 \cdot (8/h)$
11	0.33		
13	0.21		
≥ 15	$0.15 \cdot (15/h)$		

إن مصادر التوليد الموزع الـ DG المربوطة على شبكة التوزيع لن يكون لها أثر كبير على جودة الكهرباء، كما أنها في بعض الأحيان تحسن من جودة التغذية الكهربائية. بالإضافة إلى أن التقنيات التقليدية لتقييم جودة التغذية الكهربائية على شبكات التوزيع في وضعها الراهن هي بصورة عامة كافية للتوليد الموزع. إن التقدم التقني في تقنيات تجهيزات التوليد الموزع وزيادة الاستطاعات المركبة على الشبكة وسوق التوليد الموزع قد يعاني من وجود ضعف في جودة شبكة التوزيع الحالية وهذا يحتاج لاهتمام أكبر، لاسيما بالنسبة لمشاريع الطاقة المتجددة في الريف.

٢-٣-٢ أثار دمج التوليد الموزع على استقرار المنظومة الكهربائية [16]:

١- إن لموقع توضع أنظمة التوليد الموزع المربوطة مع المنظومة الكهربائية (العنفات الريحية) أثر واضح على استقرار الشبكة المضيئة، وحسب هذا الموقع يمكن أن تساهم المولدات الريحية في زيادة استقرار النظام الكهربائي وفي أحيان أخرى إلى نقصان هامش الاستقرار. كما أن نوع المولد الريحي المستخدم أثر على الاستقرار العابر.

٢- إن التأثير المتبادل للحالات العابرة في شبكات النقل والتوزيع يملك تأثيرات إيجابية أو سلبية على استقرار نظام النقل، والذي يعتمد على مجموعة من العوامل المتعلقة بحالتي العطل والتشغيل وهي:

- تُربط كمية التوليد الموزع الموضوعة في الخدمة إلى شبكة التوزيع وهذه الشبكة ربما تكون ضعيفة أو قوية

- يمكن لأي عطل في التوليد الموزع أن يزيد أو ينقص جريان الاستطاعة في نظام التوزيع وهذا يمكن أن يزعزع استقرار مواقع زاوية الدائر.

- ربما تعمل شبكات التوزيع الفعلية في ثلاث أنماط من وجهة نظر التبادل الكهربائي وهي: تصدير، استيراد، والموازنة الذاتية، وربما كلاً من هذه الأنماط يؤدي إلى حالة استقرار مختلفة جداً.

- يمكن لمصادر التوليد الموزع التي تستخدم في تركيبها المولد التزامني أن تفقد تزامنها بشكل مفاجئ نتيجة عطل ما ويمكن أن يتبعه تغيرات هامة في زوايا الدائر المتبادلة لوحدة التوليد الرئيسية .

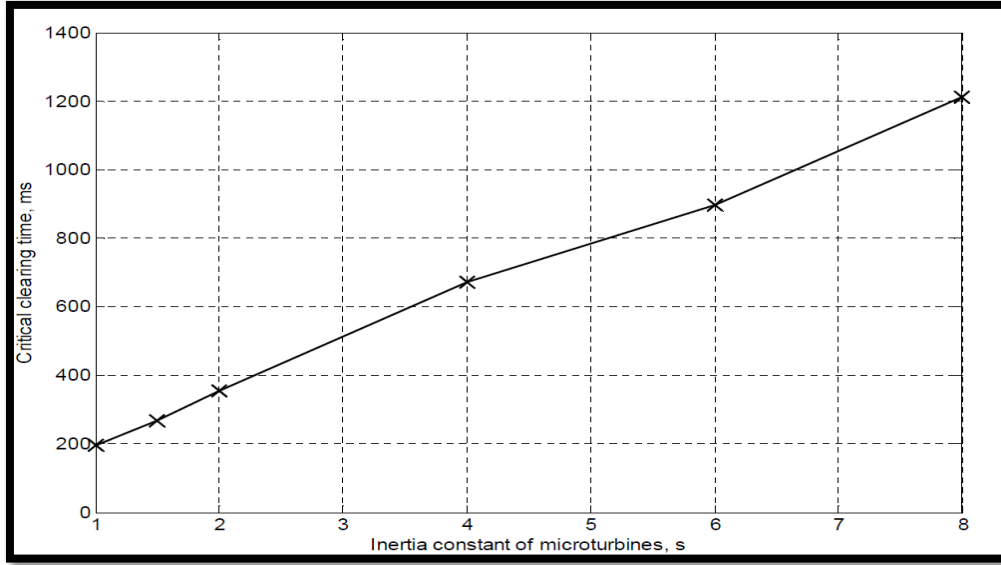
٣- أن مصادر التوليد الموزع يمكن أن تحسن استقرار أنظمة القدرة الكهربائية إذا تم اختيار نوع مصدر التوليد الموزع بشكل ملائم، والمواقع المختارة لتلك المصادر ملائمة، ويمكن أن تحسن أيضاً تخميد الاهتزازات الزاوية للدائر.

٤- يُنقص انحراف زاوية الدائر بين المولدات بزيادة نسبة مساهمة مصادر التوليد الموزع، (وذلك من أجل تقنيات مصادر التوليد المتنوعة بأنواعها المختلفة المتحكم بها والغير متحكم بها) .

٥- إن أثر مصادر التوليد الموزع على استقرار نظام القدرة الكهربائي يعتمد على مستوى اختراق تلك المصادر في شبكة التوزيع بالإضافة إلى نوع تقنية المصادر المستخدمة. وعلى الرغم من أن تطبيق مصادر التوليد الموزع في مستوى التوزيع يؤثر على الجوانب التقنية لشبكات التوزيع ، فإنه يمكن إهمال تأثير هذه المصادر على الاستقرار العابر لنظام القدرة عندما تربط باستطاعات صغيرة، لكن عندما تزيد نسبة مساهمة هذه المصادر فإن أثرها يتعدى حدود شبكة التوزيع ليبدأ بالتأثير على النظام القدرة بأكمله.

٦- إن الاستقرار العابر (استقرار زاوية الدائر) للمولدات المركزية المربوطة إلى مستوى شبكة التوزيع قد يكون مشكلة في حالة الربط المباشر إلى شبكة الآلات الكهربائية ذات العطالة المنخفضة (على سبيل المثال المولد المستخدم في العنفات الميكروية).

٧- إن العطالة هي العامل الرئيسي المؤثر في الاستقرار العابر، و العلاقة بين عطالة المولدات المستخدمة في التوليد الموزع (أخذنا هنا المولد المستخدم في العنفات الميكروية) وزمن الفصل الحرج هي علاقة خطية تقريباً. CCT يعتمد على ثوابت العطالة للمولدات.



الشكل (٢-٣٢) العلاقة بين زمن الفصل الحرج وثابت العطالة لمولدات مصادر التوليد المتنوع [16]

٨- تلعب نسبة المفاعلة إلى المقاومة لخطوط النقل أو الكابلات وأطوالهما داخل شبكة التوزيع دوراً هاماً في كلاً من الاستقرار الساكن والاستقرار العابر لهذه الشبكة عند الدمج مع مصادر التوليد الموزع (حيث أن شبكات التوزيع التي تستخدم الكابلات هي في العموم أقل حساسية لمشاكل الاستقرار العابر من الشبكات التي تستخدم خطوط النقل الهوائية و ذلك لأن مفاعلة خطوط النقل أكبر بكثير من مفاعلة الكابلات).

٩- أن المولدات التحريضية كالتى تدخل في تركيب العنفات الريحية Wind Turbines و العنفات الصغيرة Micro Turbines ربما تقدم بعض السلوك الاهتزازي غير المرغوب عند ربط استطاعات كبيرة من مصادر التوليد الموزع.

١٠- يتأثر الاستقرار العابر للنظام هو بشكل مختلف فيما يتعلق بنسبة مساهمة نظم التوليد الموزع، وتقنية ربط مصادر التوليد الموزع مع شبكة التوزيع (مولد تزامني ، مولد تحريضي ذو قفص سنجابي ، مولد تحريضي ذو تغذية مضاعفة، الكترونييات القدرة الكهربائية المستخدمة في الربط مع الشبكة) ، وفترة دوام العطل.

١٠- أن جريان الاستطاعة الكبيرة له تأثير ضار على تخميد اهتزازات الخطوط المحملة، والخطوط المربوطة بين المولدات والأحمال ، وأكبر الاهتزازات هي اهتزازات المولدات الكبيرة ، كما أن استخدام عدة أنواع من مصادر توليد الطاقة الكهربائية تقوم بتحسين الاستقرار العابر لنظام النقل .

١١- أن المولدات التحريضية التي تدخل في تركيب مصادر التوليد المتنوعة يكون أثرها على استقرار نظام القدرة معتمداً على مسافة تلك المولدات إلى المولدات التزامنية وبالتالي فإنه يكون تطبيق الـ DG التي يدخل في تركيبها المولد التحريضي صحيح فقط من أجل المولدات التزامنية الواقعة في جوار مصادر التوليد المتنوعة .

١٢- أن قيم فترة الاهتزاز تميل إلى التناقص مع زيادة مستويات النفوذية لمصادر التوليد المتنوعة عندما تكون تقنية مصادر التوليد المتنوعة مجهزة بأجهزة تحكم تطبيقية .

١٣- يشمل الاستقرار قابلية نظام القدرة الكهربائية على تزويد التوتر المطلوب للأحمال، ويتضمن أيضاً قدرة المولدات التزامنية على البقاء في حالة التزامن بعد حدوث اضطرابات في نظام القدرة الكهربائي، وهذا من الممكن أن يؤدي إلى زيادة تحميل لخطوط النقل الهوائية. وبالتالي فإن وجود مصادر توليد موزع قد يؤثر على تأمين الاستقرار للشبكة وذلك بسبب بعض خصائص وحدات الـ DG منها:

- امكانية نقل الاستطاعة الصغيرة والتي تتراوح من بضعة عشرات الـ KW إلى أن تصل إلى 5 MW ، بالمقارنة مع مئات إلى ألوف من MW للمحطات المركزية ، حيث ثابت العطالة الميكانيكي النسبي لهذه المصادر هو منخفض لذلك يضيع الاستقرار بسرعة أكبر بعد اضطراب النظام.

- مصادر التوليد الموزع تربط في أغلب الأحيان على ثُرْبُ تلك المصادر إلى أنظمة التوزيع على بُعد عدة كيلومترات من شبكات التوزيع أي بأقرب نقطة من الحمل وذلك على خلاف محطات التوليد المركزية والتي ترسل الطاقة المنتجة إلى أماكن الاستهلاك لمسافات تصل إلى بضع المئات من الكيلومترات. ولذلك يمكن لمصادر التوليد الموزع أن تساعد على الاستقرار الزاوي للشبكة، مع امكانية أن تزيد من الاضطرابات التي من الممكن أن تؤدي إلى توقف مفاجئ للمصدر المستخدم .

١٤- زوايا التحميل لعقد التوليد تتأثر كثيراً بموقع ربط مصادر التوليد المتنوعة في شبكة التوزيع وأنه ينبغي ربط تلك المصادر على عقدة من عقد نظام التوزيع بحيث تبقى تغيرات زاوية الحمل ضمن منطقة الاستقرار .

٢-٣-٣ الأعطال في نظم التوزيع الكهربائية [1][3]:

يتم عزل النواقل في شبكات التوزيع عن الأرض وعن بعضها البعض باستخدام أنواع مختلفة من المواد العازلة كالهواء أو الورق أو البولييمير. وعند حدوث قصر بين النواقل أو بين النواقل والأرض يمر تيار العطل غير النظامي بين النواقل.

يوجد هناك نوعين من الأعطال: الأعطال المتوازنة والأعطال غير المتوازنة.

- فالأعطال المتوازنة تؤثر على الأطوار الثلاثة جميعها وبالتالي فإن التوترات والتيارات في الأطوار الثلاثة تكون متساوية، لذلك تتم الدراسة على طور واحد من الشبكة عند حساب الأعطال، بينما تخلق الأعطال غير المتوازنة حالة عدم توازن بالشبكة يتم ازلتها اعتماداً على نظرية المركبات المتناظرة. وتصنف الأعطال غير المتوازنة إلى:

أ- الأعطال التفرعية:

١- عطل طور مع الأرض: معظم الأعطال التي تحدث في الشبكات الكهربائية هي من هذا النوع وقد تنتشأ من أسباب كثيرة منها انهيار العازل الحامل للناقل أو نتيجة اهتزازات ما غيرها من الأسباب. ويمكن أن يؤدي هذا العطل في بعض الحالات إلى مرور تيار عطل أكبر من تيار العطل المتوازن.

٢- عطل طورين (طور مع طور)

٣- عطل طورين مع الأرض

ب- أعطال تسلسلية:

١- عطل انقطاع طور

٢- عطل انقطاع طورين

كما تصنف الأعطال إلى: أعطال ذاتية الزوال وأعطال عابرة وأعطال دائمة.

أ- العطل ذاتي الزوال: لا تستجيب الحماية لهذه الأعطال وهي أعطال ناتجة عن الرطوبة في الكابلات ويظهر تيار تسريبي لفترة قصيرة وتتولد حرارة في نقطة العطل تؤدي إلى تجفيف الرطوبة وزوال العطل ذاتياً قبل أن تستجيب أجهزة الحماية.

لا يحدث العطل ذاتي الزوال في الشبكات المؤرضة، بينما يتم إطفاء القوس الكهربائي في الشبكات غير المؤرضة لأجل تيارات بحدود ٣٠ إلى ٤٠ أمبير.

ب- العطل العابر: وهو العطل الذي يؤدي لاستجابة الحماية والعودة إلى التشغيل النظامي ولا يتطلب عمليات صيانة دورية. هناك مجموعة أسباب لتلك الأعطال:

- في الخطوط الهوائية يعتبر العازل هو الهواء، فبعد حدوث العطل يمكن استعادة التشغيل مباشرة بعد الفصل العابر للقواطع وتوقف تأين الهواء دون الحاجة إلى صيانة. ويعود التشغيل النظامي بعد فترة زمنية صغيرة. ومثل هذه الأعطال قد تحدث نتيجة قوس كهربائي ناجم عن ضربة برق على سبيل المثال. يمكن تحقيق إعادة الوصل باستخدام القواطع الرئيسية ولكن هذه الحالة تكون مرافقة بانقطاع القدرة عن المستهلكين، لذلك يتم تزويد الشبكة بمعيد الإغلاق الآلي، والذي يقوم بإعادة وصل المغذي المعطل بشكل آلي، وبالتالي يتم قطع التغذية عن جزء صغير من المشتركين.

- كما يحصل عطل زاحف بسبب الرطوبة وعند استمرار العطل لزمن طويل نسبياً فتفصل الدارة ثم يعاد وصلها بشكل آلي.

ج- العطل الدائم: وهو العطل الذي يؤدي إلى استجابة أجهزة الحماية، ولكن يجب إجراء الصيانة في هذه الحالة قبل العودة إلى حالة التشغيل النظامية.

والجدير بالذكر أن معظم الأعطال التي تحدث في الشبكات أعطال عابرة، وأكثرها أعطال طور مع الأرض.

الفصل الثالث

أنظمة الحماية والمراقبة

الكمربائية الأساسية لنظم

التوليد الموزع

تلعب الحماية دوراً حيوياً في الحفاظ على استقرار النظم الكهربائية ويتمثل دورها بالكشف الموثوق والسريع للعطل وفصل الجزء المعطل وحده دون أن يؤثر ذلك على الأجزاء السليمة من النظام ومع دخول أنظمة التوليد الموزع على الشبكات الكهربائية كان لابد في هذا الفصل من دراسة عدد من الجوانب المختلفة لحماية المولد الموزع وحماية الشبكة الكهربائية المضيفة له إضافة لتأثير التوليد الموزع على الحماية الراهنة لشبكات القدرة الكهربائية.

٣-١ الحماية الكهربائية:

٣-١-١ المبدأ العام:

يتعرض عمل أي نظام كهربائي إلى إمكانية ظهور زيادة في التيار بسبب الأعطال في دارة الأحمال أو بسبب زيادة الحمل في أي جزء من أجزاء الدارة أو النظام كحدوث قصر في الجهاز أحادي أو ثلاثي الطور. فعند ظهور عطل في قسم ما من أقسام جهاز فمن الضروري فصل هذا الجهاز بشكل آلي حتى لا يؤثر ذلك العطل على عمل وحالة الأقسام الأخرى غير المعطوبة . لذلك تجهز الأنظمة الكهربائية بدارات حماية تعمل على فصل قواطع الدارة وإعطاء إشارة إنذار يستطيع من خلالها المراقب ملاحظة الأعطال الحادثة ويتم ذلك باستخدام حواكم الحماية .

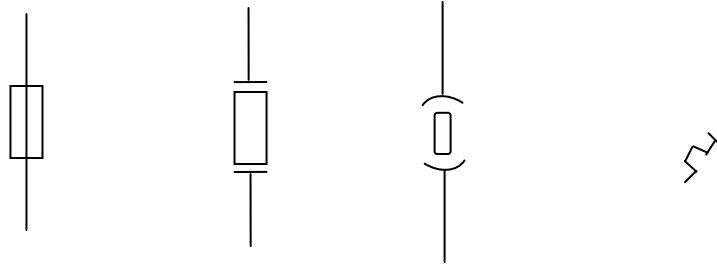
هذا ويمكن تمييز حالتين للحماية :

- ١- حماية كل عنصر كهربائي على حدة (كحماية المحول الكهربائي فقط).
- ٢- عند حدوث عطل في جزء من أجزاء النظام الكهربائي يجب أن تعمل الحماية الخاصة بهذا الجزء بعزل هذا العطل دون أن تتأثر بقية الحماية بالنظام ككل.

من هنا يطرح سؤال ما هي نوع الحماية المستخدمة؟

بشكل عام نميز نوعين من أجهزة الحماية:

- حمايات تستخدم بشكل مباشر كالفواصم الكهربائية أو القواطع الآلية الكهرطيسية حيث نلاحظ في هذه الحالة عند حدوث عطل كهربائي أو عطب جهاز الحماية يجب فصل التغذية الكهربائية للنظام من أجل تغيير جهاز الحماية كالفاصمة مثلاً . ويستخدم هذا النوع من الحماية في الدارات ذات التوتر المنخفض ويصل أحياناً إلى التوتر المتوسط (20KV).

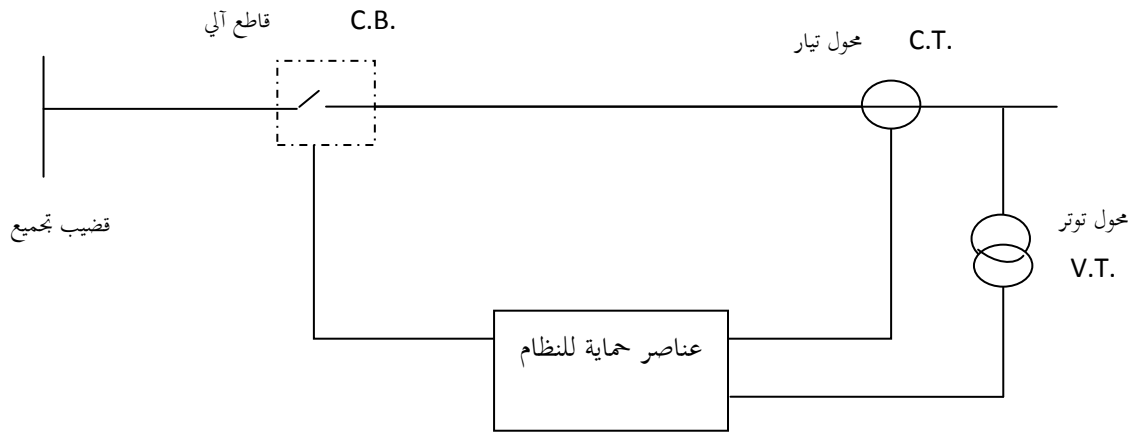


فواصم كهربائية

قاطع آلي كهربيسي

الشكل (١-٣) عناصر الحماية المباشرة

- حمايات تستخدم بشكل غير مباشر وذلك باستخدام محولات التوتر والتيار ونظام حماية يقوم بفصل القاطع الآلي بصورة أوتوماتيكية ويعاد هذا القاطع للخدمة بصورة يدوية أو آلية عند زوال العطل. ويستخدم هذا النظام في الشبكات ذات التوتر العالي 66 k.v وما فوق.



الشكل (٢-٣) عناصر الحماية التي تستخدم بشكل غير مباشر

٣-١-٢ المتطلبات العامة لأجهزة الحماية [5]:

منظومة الحماية يجب أن تكون لها معايير ومواصفات موحدة عامة لأجهزة الحماية وهي:

١- الوثوقية Reliability

إن المطلوب من أي جهاز حماية أن يقوم بالوظيفة التي صمم من أجلها .

٢- الانتقائية Selectivity

من المعروف أنه عند حدوث عطل فالكثير من الحماية تكشف العطل فهي تكون بالتالي قد حققت الوثوقية ، لكن ليس المهم فقط أن تكشفه، وإنما المهم أن تكون لها القدرة على أن تقرر هل هذا العطل يقع في حدود عملها ومنطقة تشغيلها أم أنه خارج عنها؟ وبالتالي فمن أهم المتطلبات لأجهزة الحماية أن تكون انتقائية. بمعنى آخر أن تكون لها القدرة على تحديد تسلسل فصل القواطع.

٣- الحساسية Sensitivity

كذلك المطلوب من أجهزة الحماية أن تكون لها حساسية معينة لاكتشاف الأعطال، فمن المعلوم أنه كلما ارتفعت قيمة تيار العطل كلما كان من السهل على الحماية أن تكتشفه، لكن كلما انخفضت قيمة تيار العطل كلما انخفضت حساسية جهاز الحماية، والمطلوب من الجهاز المركب في مكان ما أن لا تقل حساسيته عن قيمة أقل تيار عطل متوقع في هذه المنطقة.

٤- الملائمة Adequateness

إذا كانت الحماية الكهربائية مصممة بحيث يمكن اكتشاف جميع أنواع الأعطال فإن التكلفة تكون عالية جداً، ولذا يكفي في الغالب أن تكون الحاكمة مصممة بحيث تلائم مهمة محددة فقط، بمعنى آخر أن تكتشف فقط نوعية معينة من الأعطال.

٥- السرعة في عزل العطل Speed

إن سرعة عزل العطل تقلل من احتمال انهيار التجهيزات المراد حمايتها، كما أن هذه السرعة في عزل العطل تساعد على تحسين استقرار الشبكة الكهربائية، وعلى الرغم من أهمية عزل العطل بسرعة إلا أن التأخير الزمني Time Delay يكون مرغوب فيه في بعض الأحيان وذلك للأسباب التالية:

١- لإعطاء فرصة للتمييز بين الحماية الرئيسية والحماية الاحتياطية.

٢- للتغلب على التشغيل الخاطئ للحاكمة في الحالات التالية:

- التيارات الكبيرة الناتجة عند اقلاع التجهيزات الكهربائية.
- التيارات الناتجة عن الأعطال الطارئة والعابرة.
- التغير في الحمل.

٦- الاستقرار Stability

خاصية الاستقرار بالنسبة لنظام الحماية الكهربائية تعني أن يظل هذا النظام مستقراً عند حدوث تيارات قصر خارج المنطقة المحمية أو عند حدوث أعطال عابرة.

٣-٢ حماية نظم التوزيع المتكاملة مع التوليد الموزع [1]:

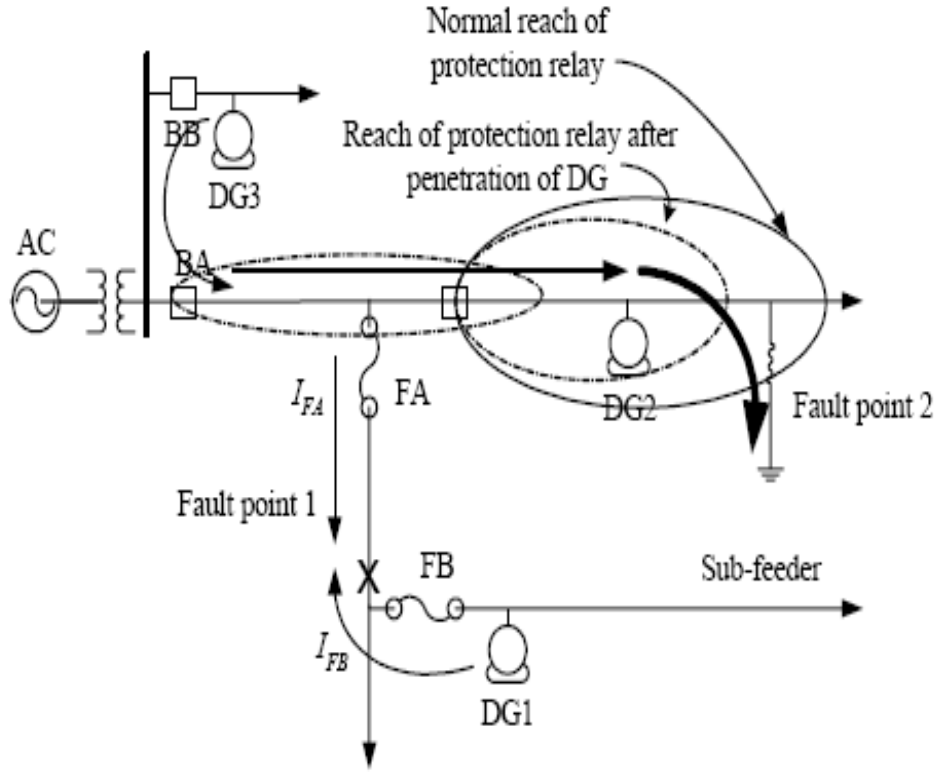
تفترض معظم أنظمة حماية شبكات التوزيع التقليدية أن جريان الاستطاعة يتم من نقاط تغذية الشبكة (جهة التوتر الأعلى) باتجاه شبكة التوتر المنخفض، ما يسهل عملية التحكم بالتوتر عند باسبارات الأحمال ويساعد في الحفاظ على جودة التغذية. إن حدوث عطل على مخارج التوتر المنخفض، يجب أن يؤدي إلى عمل الحماية الموجودة عند بداية هذا المخرج، ولا يجب أن يؤدي إلى عمل أي من حمايات الموجودة في جهة التوتر الأعلى مالم تفشل الحماية في جهة التوتر المنخفض من منع استمرار هذا العطل، وفي حال حدوث هذا فإن الحماية الأقرب مباشرة للعطل يجب أن تعمل لفصل العطل. وهذا سوف يؤدي لقطع التغذية الكهربائية عن جزء من الشبكة ليس من المفترض أن يتأثر بهذا العطل.

إذا تم إضافة توليد موزع على شبكة التوزيع، فإن تيار العطل الذي تراه الحاكمة قد ينقص أو يزداد وذلك حسب موقعها ومكان حدوث العطل واستطاعة المولدات.

حتى يتم تحقيق تنسيق مناسب بين الحاكمتين، يجب أن تتم دراسة أكبر وأصغر تيار مقدم من جميع المولدات الموزعة ومن نقاط ربط تغذية الشبكة.

إن مشكلة الحماية الرئيسية باستخدام التوليد الموزع ليست في حماية المولد نفسه، بل في حماية واجهة الربط بين المولد والشبكة. إن مخطط الحماية المستخدم لهذا الغرض يجب أن يضمن تنسيقاً دقيقاً مع حمايات الشبكة عند كل شروط التشغيل الممكنة. ويتطلب هذا معلومات عن شكل الشبكة وسيناريوهات التشغيل الممكنة

يبين الشكل (٣-٣) نظام قدرة مكون من مولد ومحول وقضبان تجميع تغذي مجموعة من الأحمال، تم إضافة مجموعة من عناصر التوليد الموزع إلى هذه الشبكة، وافترض مجموعة من الأعطال ودراسة سلوك النظام بعد إضافة عناصر التوليد الموزع DG.



الشكل (٣-٣) نظام قدرة كهربائي مع عناصر الحماية

بالعودة إلى الشكل السابق نجد الآتي:

١- تغيير تنسيق الحماية في الشبكة السابقة بعد إضافة التوليد الموزع DG، حيث يتألف النظام من ثلاث مجموعات توليد موزع موصلة على قضبان التجميع وهو نظام شعاعي مغذى من محطة فرعية 66 KV.

عند حدوث عطل في النقطة (١) قبل إضافة التوليد الموزع DG تفصل المنصهرة FA، ولكن بعد إضافة التوليد الموزع DG يتم تغذية العطل من مكانين وبالتالي تفصل المنصهرة FB، ويؤدي إلى قطع التغذية عن المخارج الفرعية السليمة (غير المعطلة).

٢- لنفرض أن DG3 باستطاعة كبيرة نسبياً، وعند حدوث عطل على قضيب التجميع الرئيسي المغذي للشبكة فإن DG3 تغذي العطل ويحدث جريان عكسي للاستطاعة ويؤدي إلى فصل القاطع الآلي BB وقطع التغذية عن تلك الأحمال، في حين أن التغذية تبقى مستمرة والقاطع مغلق قبل إضافة DG3.

٣- من ناحية الأمان قد يحدث فشل في نظام الحماية لأن التوليد الموزع المضاف يزيد تيار العطل، أي تصبح تيارات العطل أعلى من التيارات قبل إضافة العناصر الجديدة، وقد تكون أعلى من شدة القطع للقاطع الآلي، مما يؤدي إلى إلحاق الضرر بعناصر النظام، فيتوجب في هذه الحالة استبدال القواطع الآلية القديمة بقواطع جديدة ذات شدات قطع مناسبة.

٤- يؤدي إضافة عناصر التوليد الموزع إلى تغيير وصول الحاكومات: بفرض لدينا العطل في النقطة (٢) فإن الممانعة التي تراها الحاكمة تتغير، وبالتالي قد تمر تيارات عالية دون أن تستطيع الحماية كشف حالة العطل.

وقد حددت (IEEE Std 1547.2-2008) [25] أنواع الحماية المستخدمة في نظم التوليد الموزع المربوطة مع نظام القدرة الكهربائية معتمداً على حجم وعدد الأطوار لوحدة التوليد الموزع كما هو وارد في الجدول (٣-١).

الجدول (٣-١) أنواع الحماية المستخدمة في نظم التوليد الموزع [25]

Function and IEEE standard device number	Description
Sync-check (25)	Synchronizing or synchronism-check relay. A synchronizing device that produces an output that causes closure at zero phase angle difference between two circuits. It may or may not include voltage and speed control. A sync-check relay permits the paralleling of two circuits that are within prescribed limits of voltage magnitude, phase angle, and frequency.
Under/overvoltage (27/59)	A device that operates when its input voltage is less than a predetermined value (27). A device that operates when its input voltage exceeds a predetermined value (59).
Directional power (32)	A device that operates on a predetermined value of power flow in a given direction.
Negative phase sequence current (46)	A device in a polyphase circuit that functions upon a predetermined value of polyphase current in the desired phase sequence, when the negative phase-sequence current exceeds a preset value.
Negative phase sequence voltage (47)	A device in a polyphase circuit that functions upon a predetermined value of polyphase voltage in the desired phase sequence, when the negative phase-sequence voltage exceeds a preset value.
Neutral under/overvoltage (27G/59G)	A device, installed to specifically detect the voltage on the neutral of a three-phase system relative to system ground, that operates when its input voltage is less than a predetermined value (27). A device that operates when its input voltage exceeds a predetermined value (59).
Directional overcurrent (67)	A device that functions at a desired value of ac overcurrent flowing in a pre-determined direction.
Instantaneous phase overcurrent (50)	A device that operates with no intentional or coordinated time delay when the current exceeds a preset value.
Neutral overcurrent (50/51 N)	A device that operates with coordinated time delay when the current exceeds a preset value.
Phase overcurrent (51)	A device that functions when the ac input current exceeds a predetermined value and in which the input current and operating time are inversely related through a substantial portion of the performance range.
Undercurrent or under power (37)	A device that functions when the current or power flow decreases below a predetermined value.
Voltage-restrained overcurrent (51V)	An overcurrent relay that changes its sensitivity based on varying voltage levels.
Under/overfrequency (81 U/O)	A device that responds to the frequency of an electrical quantity and operates when the frequency exceeds or is less than a predetermined value.
Transformer differential (87T)	A device that operates on a percentage, phase angle, or other quantitative difference of two or more currents or other electric quantities.

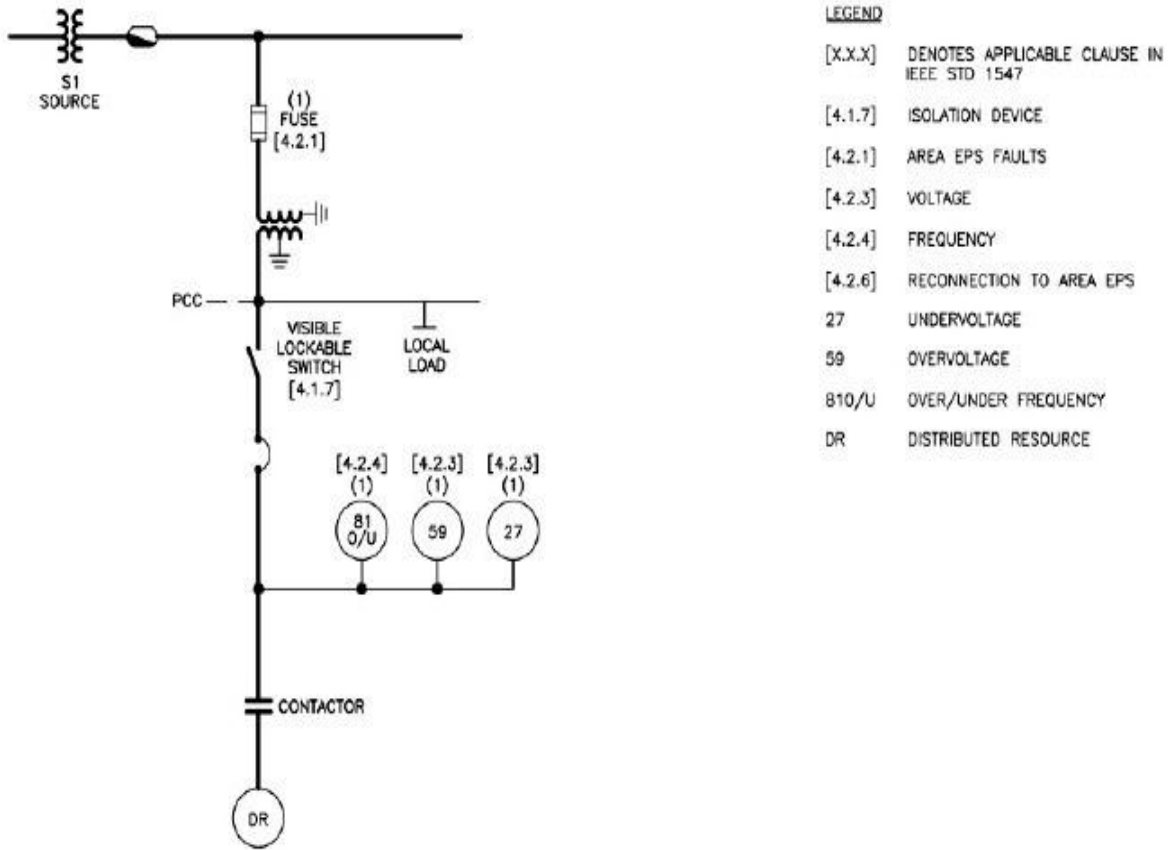
Source: IEEE Std C37.2™-1996 [B41].

٣-٣ متطلبات نظام الحماية للشبكة المستضيفة للتوليد الموزع [1]:

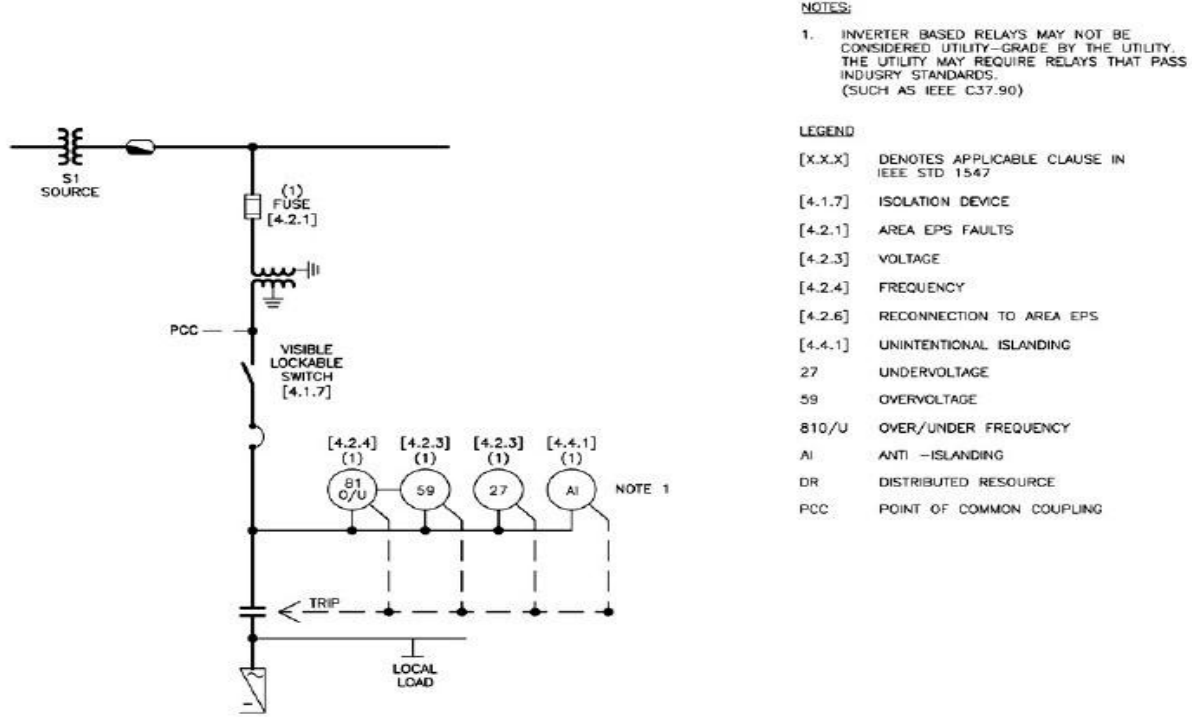
شركات الكهرباء ملزمة قانوناً بحماية شبكة التوزيع وإمداد المستهلكين من زيادة التيار وتيار التسرب الأرضي. يتطلب هذا حماية مناسبة من المصادر الموزعة إلى نقاط التغذية الرئيسية. يجب أن تحسب عيارات الحماية بالاعتماد على أحمال الشبكة ومجال تيارات الأعطال خلال ظروف التشغيل الطبيعية وغير الطبيعية. يشكل التوليد الموزع منبعاً للاستطاعة وبالنتيجة يجب على شركة الكهرباء أن تضمن تطبيق حماية مناسبة لعملية ارتباط المولد مع الشبكة لحماية الشبكة والمستهلكين. بالإضافة للحماية المتعلقة بالمولد الموزع نفسه، تطلب شركات الكهرباء من التوليد الموزع أن يقدم حماية مناسبة لتوافق المتطلبات التالية كافة:

- يمنع المولد من الارتباط بالشبكة ما لم تكن جميع أطوار الشبكة موضوعة تحت التوتر وتعمل وفق إعدادات متفق عليها.
- يتم فصل المولد عن الشبكة في حال فقدان طور أو أكثر في الشبكة عند نقطة الربط مع الشبكة المضيفة.
- يتم فصل المولد عن الشبكة في حال حدوث ظروف عمل غير طبيعية للنظام تؤدي إلى انحراف غير مقبول في التوتر والتردد.
- يجب فصل المولد عن الشبكة ألياً أو يدوياً إذا حدث فشل في تغذية أي حماية بحيث يمنعها من العمل بشكل طبيعي.

٣-٤ مخططات الحماية لبعض نظم التوليد الموزع [25]:



الشكل (٣-٤) مخطط حماية لنظام توليد موزع (مولد أحادي الطور) [25]



الشكل (٣-٦) مخطط حماية لنظام توليد موزع (معرج أحادي الطور) [25]

٣-٥ الحماية من انقطاع التغذية (الحماية ضد حالة الجزيرة) [1]:

يتم فصل الأعطال الحاصلة على شبكة التوزيع طبيعياً بواسطة الحاكمت المتوسطة قرب العطل. هذا يمكن أن يؤدي لأن تقوم المولدات الموزعة بتغذية قسم من الشبكة التوزيع التي تم عزلها ISLANDED عن مصدر التغذية الرئيسية. في معظم الحالات يكون احتمال استمرار المولد الموزع بالعمل بمعزل عن الشبكة قليلاً ولكن ليس صفراً. يصبح هذا الاحتمال أكبر عندما يكون المولد أو مجموعة المولدات الموصولة بالشبكة المعزولة قادراً على تقديم كامل الحمل. لأسباب تتعلق بالسلامة، يجب على الحماية المطبقة على الوصلة بين المولد والشبكة أن تكون قادرة على اكتشاف وتحسس فقدان شبكة التغذية، وهذا يدعى عادة فقدان المصدر (Loss Of Mains) وتقوم عندها بفصل القاطع الآلي عند الوصلة.

قد يؤدي عزل المولد الموزع لأن يبقى قسم من الشبكة بدون تأريض، وعندها قد لا يكون مستوى العطل ملائماً لأن تعمل حاكمت الحماية بشكل مقبول. لذلك يجب فصل المولدات الموزعة المتصلة مع قسم من الشبكة أوتوماتيكياً مباشرة بعد عزل هذا القسم عن التغذية الرئيسية إلى أن يتم إعادة

التغذية من الشبكة الأصلية. وتستخدم عادةً تقنيتان لتحسس فقدان المصدر وهما: معدل تغير التردد، وانزياح الشعاع.

٣-٥-١ معدل تغير التردد (ROCOF) :Rate Of Change Of Frequency

تعتمد تقنية معدل تغير التردد على الافتراض:

- أن معظم مخارج شبكة التوزيع المتوسط (11 or 20 kv) محملة بحدود 5Mw.
 - بعد حدوث فقدان شبكة التغذية فإن بعضاً من الحمل سوف يغذى من قبل التوليد الموزع.
- سوف يسبب عجز التوليد الناتج معدل تغير التردد يعطى بالعلاقة التالية، وذلك بإهمال تأثير الحاكم:

$$\frac{df}{dt} = -(plo * fr^2 - pto * fr^2) / (2 * H * Ptnom * fr)$$

حيث:

plo الحمل بالميجا واط عند التردد الاسمي

pto خرج محطة التوليد بالميجا واط

$Ptnom$ السعة الاسمية لمحطة التوليد بالميجا واط

H ثابت العطالة لمحطة التوليد

fr التردد الاسمي

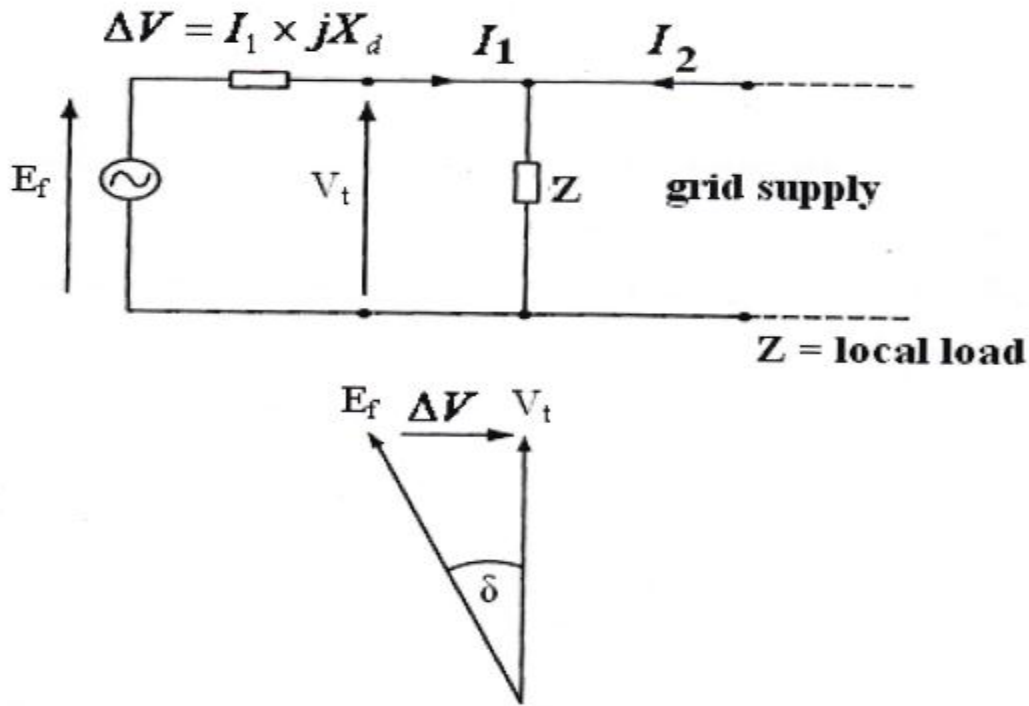
تم إثبات أن ROCOF حساس وأنه مرتبط بطريقة تحسس فقدان مصدر التغذية وذلك عندما يكون معدل تغير التردد بطيئاً. يحدث هذا عندما تكون استطاعة المولد الموزع مطابقة للحمل المعزول.

أحياناً يعتبر استقرار حاكمة ROCOF غير مناسب بسبب إمكانية حصول عمليات فصل مزعجة تنتج عن انحرافات تردد حاصلة بسبب فقدان كبير للتوليد في الشبكة الوطنية أو انزياحات في الطور ناتجة عن أعطال وعمليات فصل ووصل في الشبكة المحلية. يمكن لهذه الأخيرة أن تؤدي إلى حساب غير صحيح لمعدل تغير التردد خاصة عندما يكون مجال القياس صغيراً.

تعتبر ROCOF بشكل عام تقنية مناسبة لتحسس فقدان التغذية الرئيسية في شبكة التوزيع. وهي غير مثالية لتحسس فقدان مصدر تغية في شبكات ذات مستوى توتر عالي مثلاً 132KV في بريطانيا بسبب الخطر الزائد.

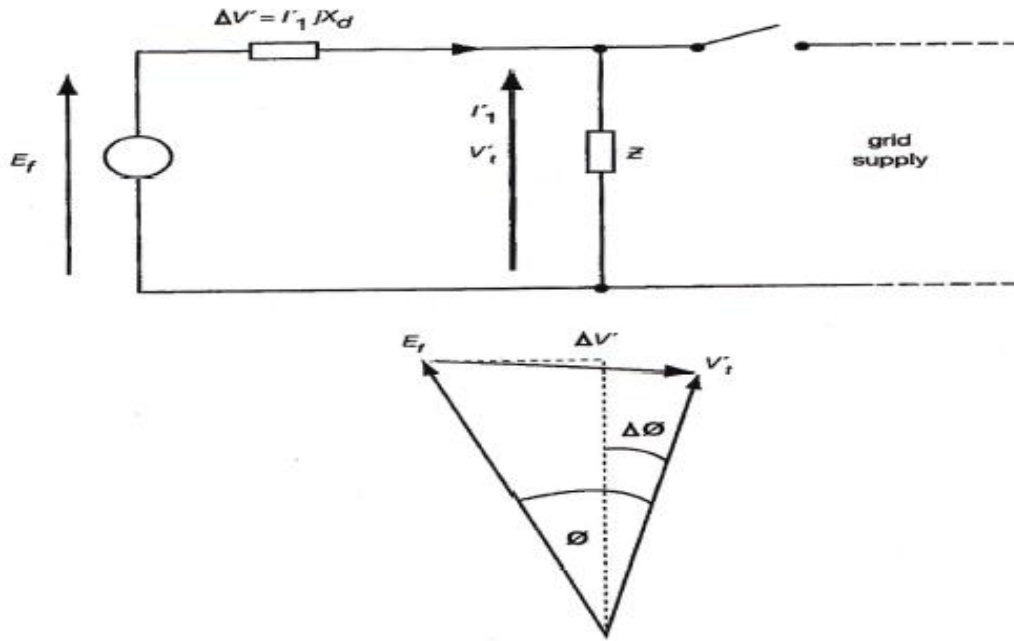
٣-٥-٢ انزياح الشعاع Vector Shift

خلال العمل الطبيعي لمولد تزامني موزع، سوف يتأخر توتر المرباط (V_t) عن القوة المحركة الكهربائية المتوافقة (E_f) بمقدار زاوية انزياح الدوار δ (كما يظهر في الشكل ٣-٧)، والتي تعرف بفرق التوتر بين (E_f و V_t)، أي $\Delta V = I_1 * jX_d$. إذا حدث فصل مفاجئ لشبكة التغذية عن القسم من الشبكة المغذاة من قبل التوليد الموزع، يزداد الحمل على المولد وهذا يسبب انحراف في زاوية إزاحة الدوار (كما يبين الشكل ٣-٨). يقفز توتر المرباط إلى قيمة جديدة ويتغير مكان الطور كما يبين الشكل (٣-٩).

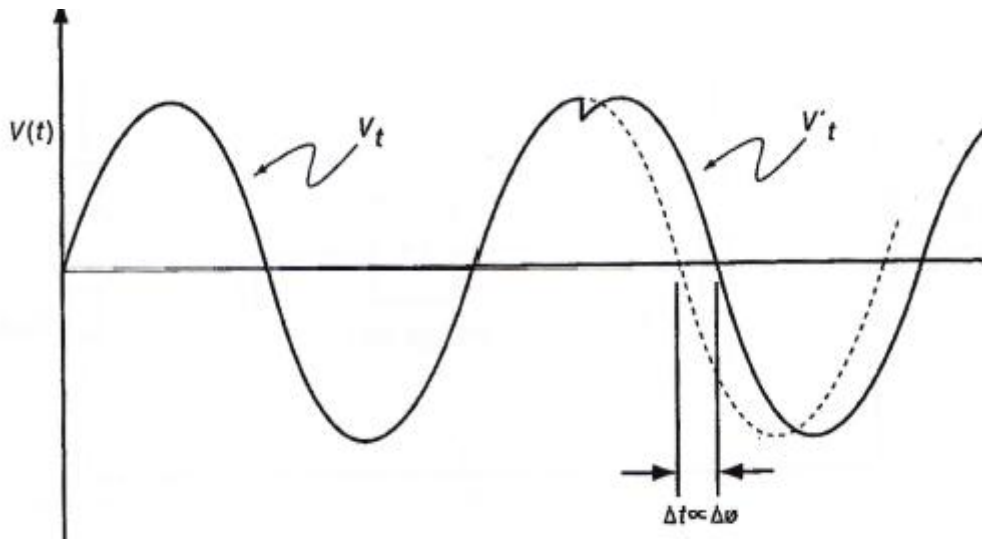


الشكل (٣-٧) التشغيل الطبيعي - زاوية انزياح الدوار [1]

تراقب حاكمت انزياح الشعاع باستمرار زمن كل دورة وتؤسس لفصل آني إذا تغير هذا الزمن بالمقارنة مع الدورة السابقة بزاوية أكبر من زاوية ضبط انزياح الشعاع ($\Delta\phi$) ينصح بتغيير قدره 7° ، لكن في الشبكات الضعيفة قدون من الضروري زيادته 12° لمنع التشغيل الخاطئ عند إدخال أو فصل حمل كبير.



الشكل (٨-٣) فقدان التغذية الرئيسية- زاوية انزياح الدوار [1]



الشكل (٩-٣) انزياح شعاع التوتر [1]

الفصل الرابع

تمثيل أنظمة التوليد

الموزع

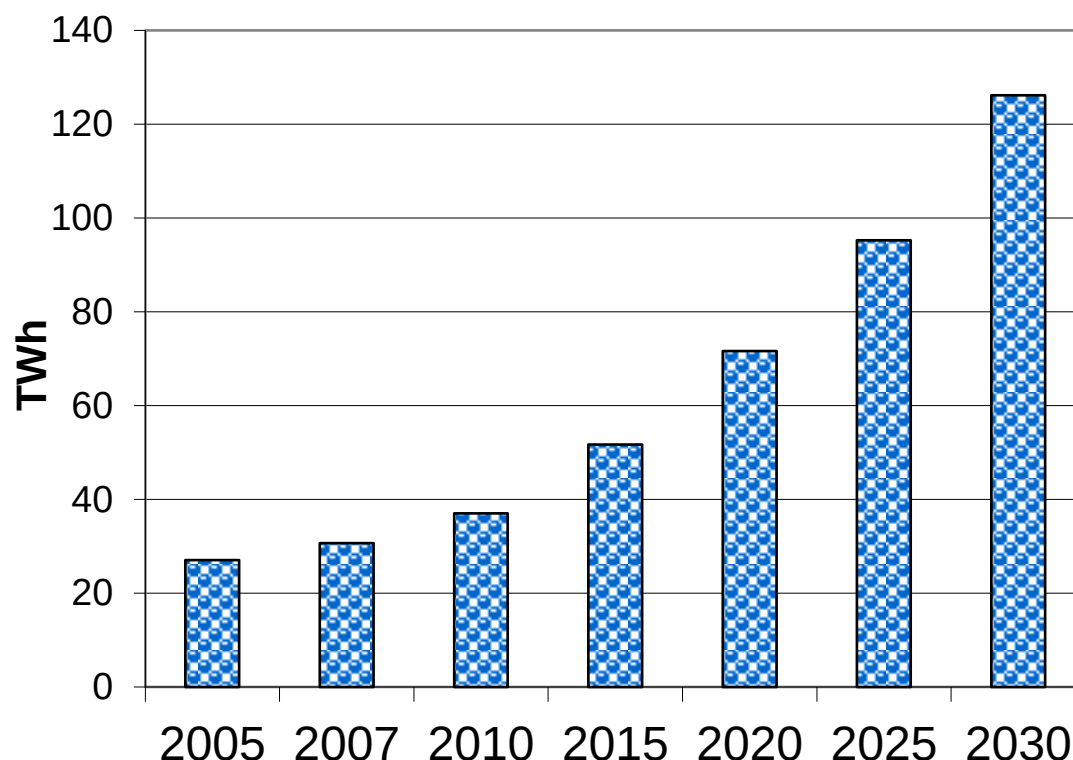
سعيًا من وزارة الكهرباء لتحقيق الهدف الاستراتيجي المتمثل بتأمين الطاقة الكهربائية من خلال الموارد المحلية المتاحة بما فيها الطاقات الجديدة والمتجددة لتغطية النمو المتوقع للأحمال الكهربائية واستمرار الطلب على الكهرباء وفقاً لمعايير الأداء الاقتصادي الأمثل، ويهدف الإنطلاق في مشاريع مزارع الرياح كان لا بد من إنشاء مزرعة رياح ريادية للبدء باستخدام هذه التكنولوجيا والتي باتت تنتج الطاقة الكهربائية بتكاليف مقبولة إقتصادياً، علماً بأن إستراتيجية وزارة الكهرباء هو الوصول إلى تركيب أكثر من (٢٥٠٠) ميغا واط من العنفات الريحية لغاية عام ٢٠٣٠ لإنتاج حوالي (٧) مليار كيلو واط ساعي/سنوياً من الطاقة الكهربائية. ولذلك سيتم في هذا الفصل دراسة تحليلية موسعة لمزرعة ريحية باستطاعة (٥٠) ميغا واط مربوطة على الشبكة الكهربائية في منطقة حمص محطة تحويل قطينة من خلال تمثيل هذه الشبكة باستخدام برنامج NEPLAN المتخصص في الشبكات الكهربائية ونمذجة أعطال مختلفة وبيان استجابة الحماية الكهربائية المناسبة.

٤-١ دراسة استراتيجية الطلب والتزود الأمثل بالطاقة في سورية

لغاية ٢٠٣٠ [7]:

٤-١-١ تحليل تطور الطلب على الكهرباء:

ستسجل الكهرباء أعلى معدل نمو بين أنماط الوقود النهائي بنسبة وسطية تبلغ ٦.٣٥ %، مما سيقود لزيادة حصتها الفعلية من مجمل حوامل الطاقة النهائية. وفقاً لذلك سينمو الطلب النهائي على الكهرباء من (٢٧.١) تيرا واط ساعي في السنة الأساس إلى حوالي ١٢٦ تيرا واط ساعي عام ٢٠٣٠.



الشكل (١-٤) تطور الطلب النهائي على الكهرباء [7]

وبين الجدول (١-٤) توزيع الكهرباء حسب قطاعات الاستهلاك حيث يُلاحظ أن الطلب في القطاع المنزلي-الخدمي سيبقى أعلى من القطاعات المنتجة حتى عام ٢٠٢٥ ليتجاوز عندها الطلب في القطاع الصناعي نظيره في القطاع المنزلي-الخدمي وهو ما يمكن اعتباره تحولاً نوعياً في نمط الاستهلاك.

الجدول (١-٤) الطلب على الكهرباء حسب قطاعات الاستهلاك [TWh] [7]

القطاع	2010	2015	2020	2025	2030
القطاعات المنتجة	16.60	24.19	34.94	47.76	78.64
المنزلي+الخدمي	20.31	27.09	35.95	46.37	59.82
المنزلي	14.25	18.19	22.94	28.20	34.50
الخدمي	6.06	8.90	13.01	18.17	25.33
المجموع	37.03	51.67	71.61	95.26	126.16
النمو السنوي [%]	6.74	6.89	6.74	5.87	5.78

كما يبين الجدول (٢-٤) التطور المستقبلي في حصة الفرد من الطاقة الكهربائية ومن الناتج المحلي الإجمالي، ويوضح الجدول (٣-٤) معدلات النمو السنوية الوسطى للناتج المحلي الإجمالي والطلب على

الطاقة الكهربائية عند المستوى النهائي. وقد بلغت حصة الفرد من الكهرباء في السنة الأساس حوالي ١٤٨١ ك واط ساعي وستتطور خلال فترة الدراسة لتصل إلى ٤٢٤٨ ك واط ساعي عند نهاية الدراسة. ويلاحظ أن استهلاك الفرد في سوريا من الكهرباء وبعد ٢٥ سنة سيبقى متدنٍ مقارنة بالدول الصناعية التي يبلغ فيها الاستهلاك الحالي أكثر من ٥٠٠٠ ك واط ساعي. ويبين الجدول ٣-١١ تطور معاملات المرونة للكهرباء والتي ينطبق عليها ما نوه عنه سابقاً عند الحديث عن معامل المرونة للطاقة النهائية، حيث سترتفع خلال الفترة الأولى من ٠.٩٩ إلى ١ تقريباً ثم تأخذ بالانخفاض التدريجي حتى تصل إلى ٠.٩٦ في نهاية فترة الدراسة.

الجدول (٤-٢) تطور حصة الفرد السنوية من الكهرباء و من الناتج المحلي الإجمالي [7]

السنة	عدد السكان [million]	حصة الفرد من الناتج المحلي [1000US\$/capita] ²⁰	حصة الفرد من الكهرباء [kWh/capita]
2005	18.27	1.35	1481
2007	19.10	1.46	1605
2012	20.35	1.65	1819
2015	22.50	2.10	2296
2020	24.76	2.67	2892
2025	27.17	3.26	3507
2030	29.70	3.99	4248

الجدول (٤-٣) تطور معامل المرونة الداخلية للكهرباء [7]

معامل المرونة Income Elasticity	معدل النمو السنوي	معدل النمو السنوي	
	للطلب على الكهرباء [%]	GDP [%]	
0.99	6.44	6.5	2005-2007
1.00	6.49	6.5	2007-2010
0.98	6.89	7	2010-2015
0.96	6.74	7	2015-2020
0.98	5.87	6	2020-2025
0.96	5.78	6	2025-2030

وقد بينت نتائج حسابات MAED-D للسيناريو المرجعي أن الطلب على الطاقة النهائية سينمو سنوياً بمعدل وسطي يبلغ ٥.٣%، انطلاقاً من الطاقة النهائية للسنة الأساس البالغة ١٥.٢٥ مليون طن مكافئ نفطي وسيفوق نمو الطلب السنوي على الكهرباء معدلات نمو الطاقة النهائية بحيث سيبلغ وسطياً ٦.٣٥%، انطلاقاً من الطاقة الكهربائية النهائية المستهلكة في السنة الأساس والبالغة ٢٧.١ تيرا واط ساعي.

وسيكون معدل نمو الناتج المحلي الإجمالي أعلى من معدل نمو الطلب على الطاقة النهائية وهو ما سيؤدي إلى تراجع معامل المرونة الداخلية إلى قيم تقرب من ٠.٨٤.

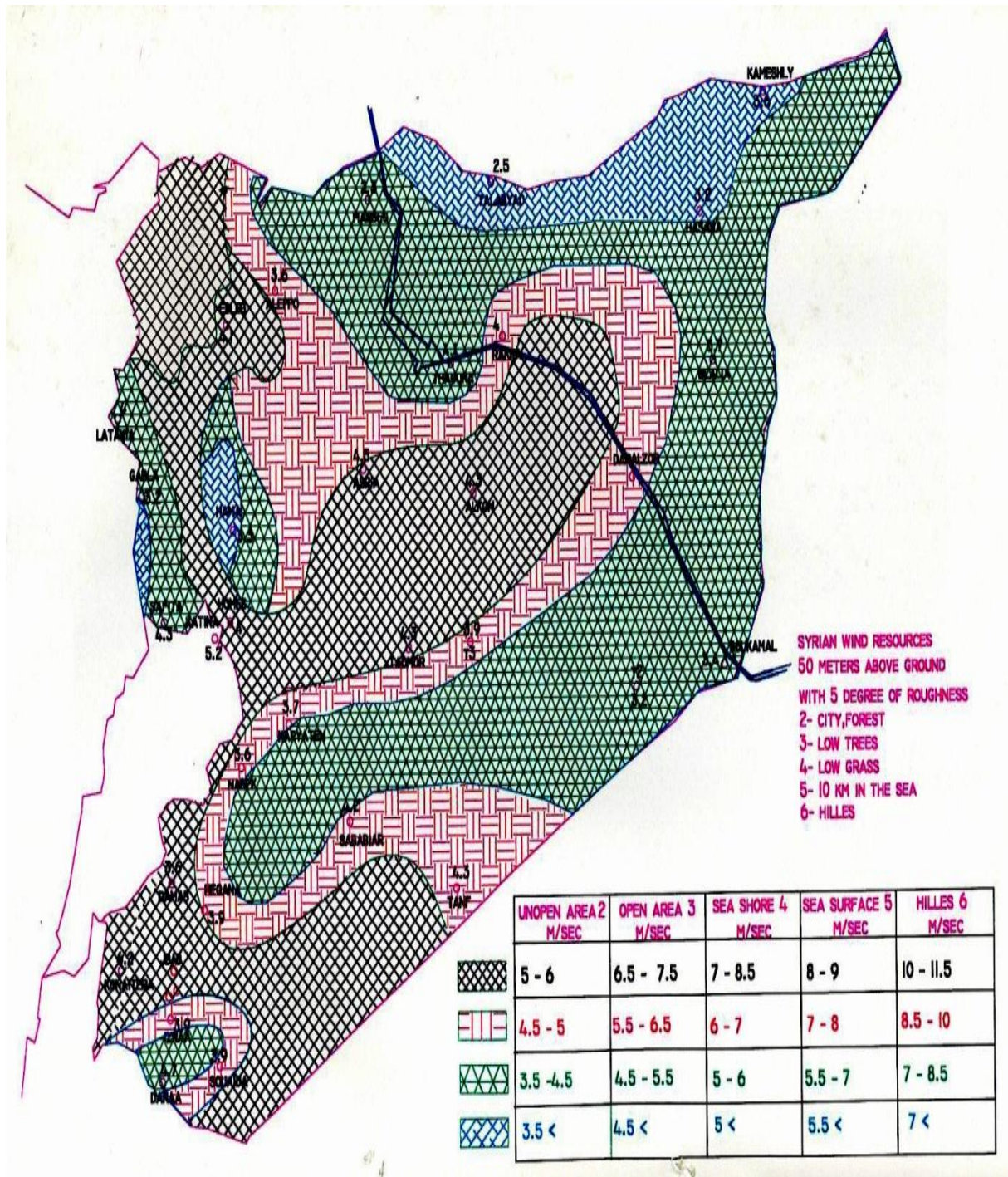
من جهة أخرى تدل النتائج أن كثافة الطاقة النهائية لنظام الطاقة السوري ستتراجع من مستوى السنة الأساس البالغ ٦٢٠ إلى حوالي ٤٦٦ كغ نفط مكافئ لكل ١٠٠٠ دولار قيمة مضافة، وتوضح هذه النتيجة مدى تأثير إجراءات ترشيد الاستهلاك وتحسين المردود في تخفيض الطلب المستقبلي مع الحفاظ على معدلات النمو الاقتصادية الضرورية.

٤-٢ طاقة الرياح في سورية [8]:

تتمتع الجمهورية العربية السورية بكمون ريحي نظري لإنتاج الطاقة الكهربائية يقدر بحوالي (٨٠٠٠٠) ميغا واط وتغنى سورية بالعديد من المناطق الواعدة ريحياً لإنتاج الطاقة الكهربائية حيث تم التقييم الأولي للمناطق الواعدة والذي على عدة مراحل:

- المرحلة الأولى

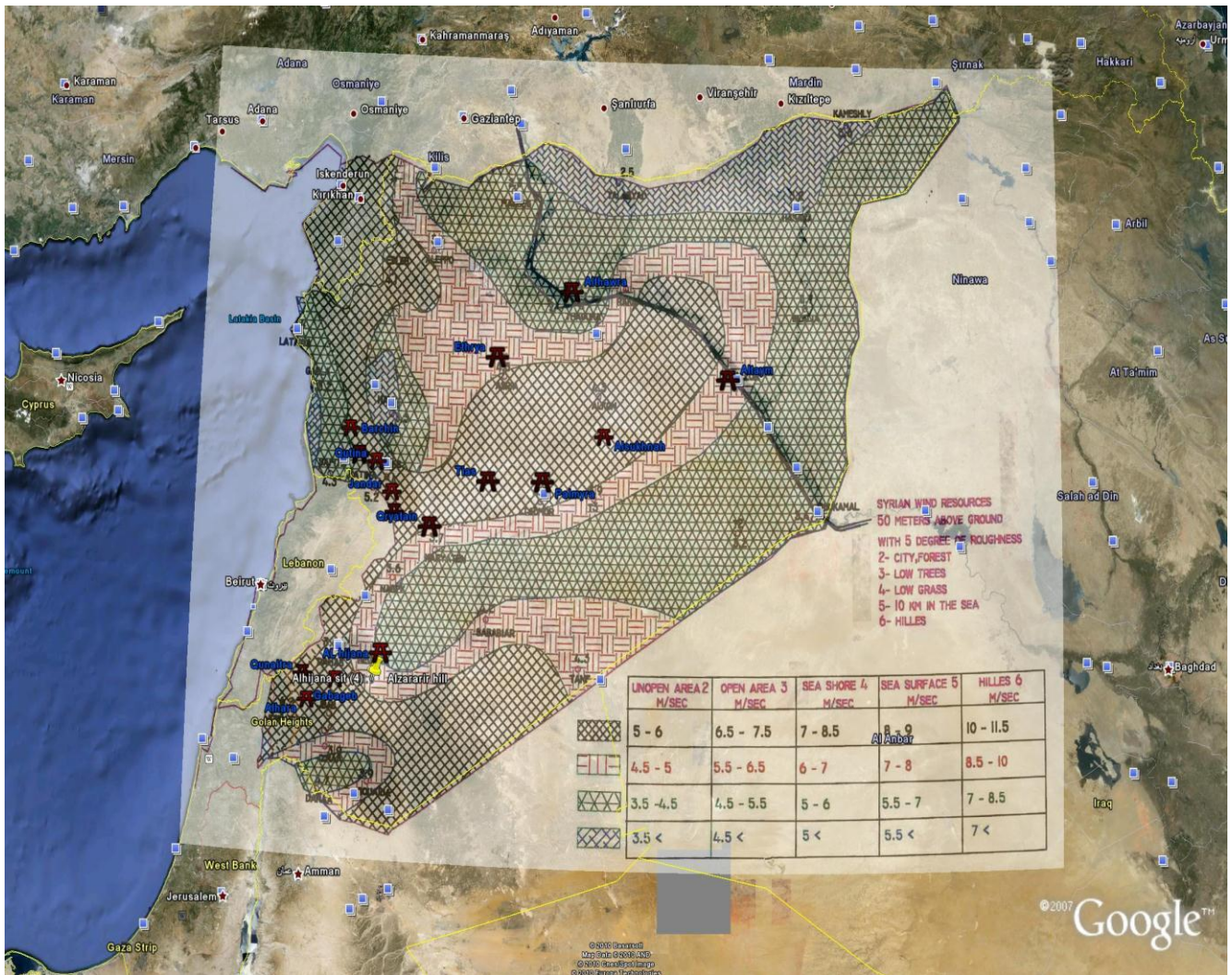
في عام ١٩٨٩ وتمويل من البرنامج الإنمائي للأمم المتحدة تم إنجاز أطلس للرياح في سورية من قبل مخبر " ريزو " الدانمركي حيث تضمن معلومات عن سرعات الرياح مأخوذة من ٦٠/ محطة رياح في سورية تغطي معظم المناطق المناخية ، وهذه المعلومات تتضمن نتائج القياسات الريحية لمدة ١٠/ أعوام (١٩٧٩-١٩٨٩). وفقاً لهذا الأطلس تم إعداد خارطة الرياح في القطر العربي السوري حيث تم تقسيم سورية إلى ٤/ مناطق ريحية موضحة في المرفق (٤-٢). ويمكن اعتبار المنطقة الأولى والتي تتوفر فيها سرعة رياح مجدبة تتراوح من (٥ - ١١.٥ م/ثا) مرشحة للدراسات التفصيلية اللازمة لاستخدام طاقة الرياح في بهدف توليد الكهرباء.



الشكل (٤-٢) أطلس رياح سورية [14]

- المرحلة الثانية:

ضمن منحة المجموعة الأوروبية المخصصة لقطاع الكهرباء في سورية تم لحظ مبلغ ٤٥٠ ألف يورو لتكوين محطات رصد ريفية لتحديد أفضل المواقع الملائمة فنياً واقتصادياً لإنشاء مزارع الرياح من خلال مسح مصادر الرياح في الجمهورية العربية السورية وتقييم الكمون الريحي. وقام المركز الوطني لبحوث الطاقة بتركيب ١٧ محطة رصد ريفية بارتفاع (٤٠م) في مناطق متعددة في سورية ويوضح الشكل (٤-٣) توزيع محطات الرصد الريفية بالنسبة لأطلس الرياح السوري.



الشكل (٤-٣) توزيع محطات الرصد الريفية بالنسبة لأطلس الرياح السوري [14]

وتضمنت كل من هذه المحطات التجهيزات التالية:

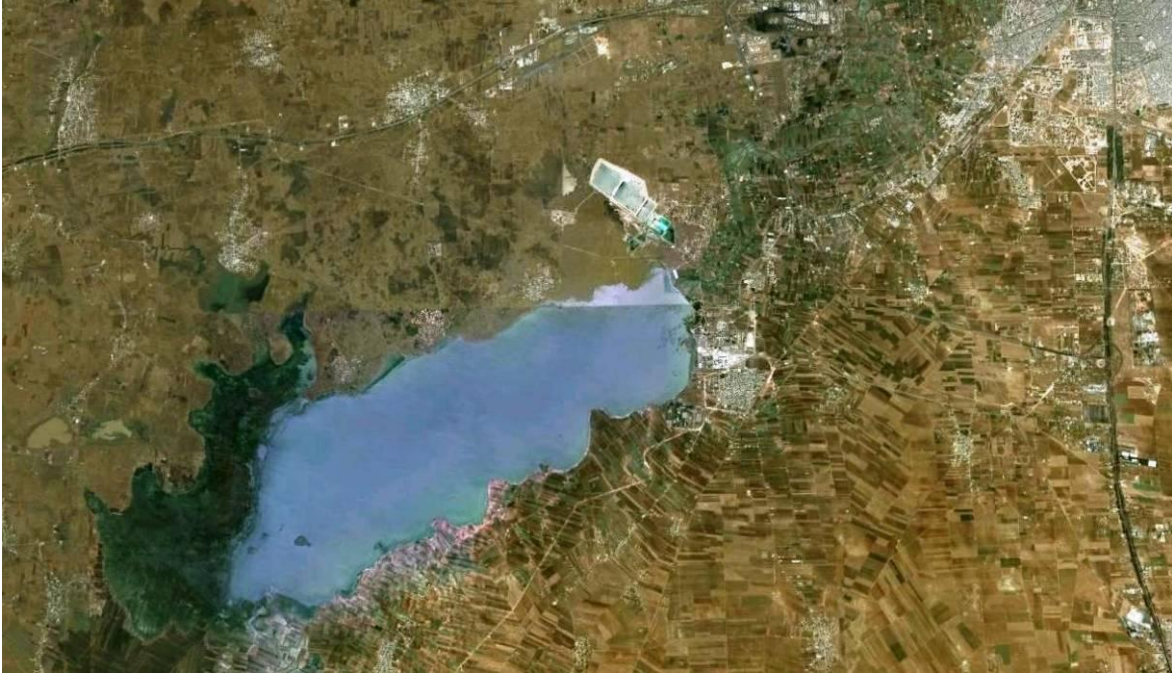
١. جهاز قياس سرعة الرياح عند الارتفاع ١٠ م
٢. جهاز قياس سرعة الرياح عند الارتفاع ٤٠ م
٣. جهاز تحديد اتجاه الرياح عند الارتفاع ٤٠ م
٤. جهاز قياس درجة الحرارة عند الارتفاع ١٠ م
٥. جهاز قياس الضغط الجوي عند الارتفاع ١٠ م

ومن خلال البيانات المتوفرة من محطات الرصد الريحية تم إعداد دراسات جدوى أولية لجميع المواقع الواعدة ريحياً، وتم من خلال هذه الدراسات تحديد المناطق المجدية لإنشاء مزارع الرياح ، ولتوفر مساحات مناسبة في حرم البحيرة تبين أن موقع قطينة من أهم المناطق ريحياً في سورية. تم إقرار إنشاء مزرعة رياح ريادية باستطاعة (٥٠) ميغا واط لإنتاج الطاقة الكهربائية في موقع قطينة حيث هو الموقع الأفضل وفق المعطيات المتوفرة، حيث أن المساحة المتوفرة من حرم البحيرة تقدر بأكثر من (٥٠٠) هكتار وبالتالي يمكن أن تتسع لأكثر من (٣٠٠) ميغا واط.

٣-٤ دراسة تفصيلية للموقع المحدد لتنفيذ محطة ريحية باستطاعة (٥٠) ميغا واط [8]:

١-٣-٤ موقع المشروع:

يقع المشروع على الحدود الشمالية لبحيرة قطينة الشكل (٤-٤) التي تبعد حوالي ١٥ كم غرب مدينة حمص وحوالي ٢ كم شمال غرب المنطقة الصناعية في قطينة. وسيتم توضع التوربينات ضمن المساحة المحصورة بين المنسوبين ٥٠٠ متر إرتفاع عن سطح البحر وحدود العقارات المحيطة بالبحيرة.



الشكل (٤-٤) صورة جوية لبحيرة قطينة [8]

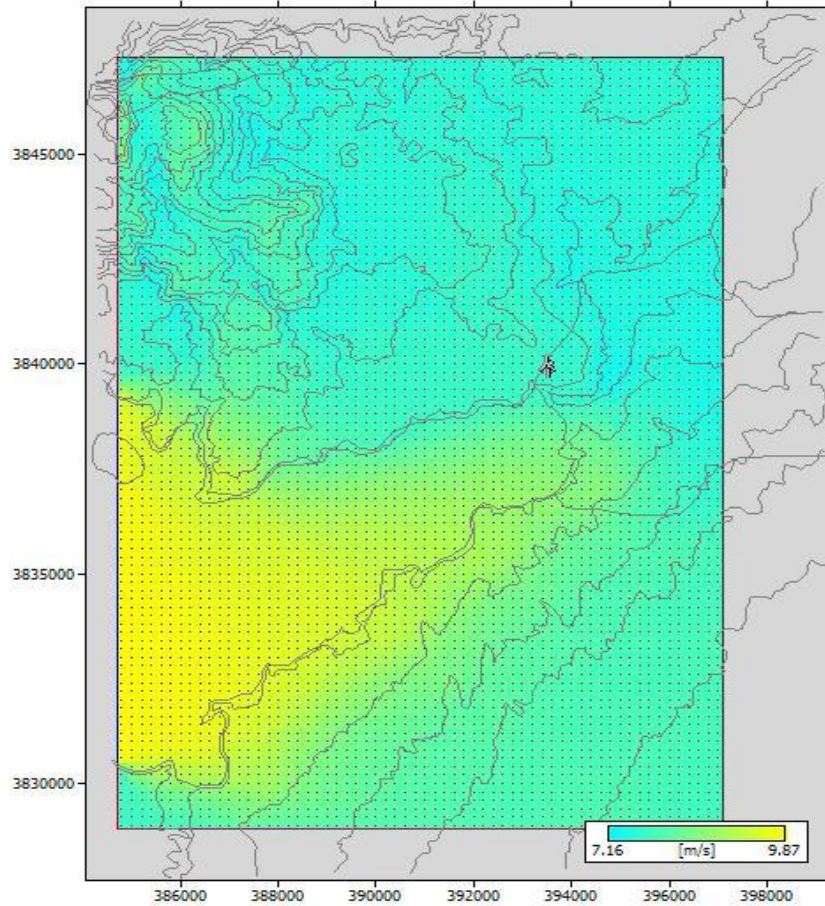
٤-٣-٢ التحليل الفني لموقع قطينة:

تم اعداد دراسات جدوى أولية لكافة المواقع وذلك اعتماداً على البيانات التي تم تحصيلها من المحطات المركبة، وتبين من خلال البيانات المحصلة من محطة الرصد الريحية في قطينة والمحطات المحيطة (السنديانة-جنדר) أن محيط بحيرة قطينة من المواقع المميزة ريحياً نتيجة توفر كمون ريحي جيد جداً في المنطقة. ويوضح الجدول (٤-٤) المتوسط الشهري لبيانات الرياح (أب ٢٠٠٥ - تموز ٢٠٠٧).

الجدول (٤-٤) المتوسط الشهري لبيانات الرياح (آب ٢٠٠٥ - تموز ٢٠٠٧) [8]

سرعة الرياح الوسطية (م/ثا) على ارتفاع ٤٠ متر - محطة قياس قطينة					
الشهر	2005	2006	2007	المتوسط الشهري	المتوسط الشهري العام
كانون الثاني		5,18	4,51	4,84	4,85
شباط		5,71	4,82	5,27	5,26
آذار		7,33	6,88	7,11	7,10
نيسان		8,15	6,95	7,55	7,55
أيار		7,86	7,50	7,68	7,68
حزيران		10,68	10,40	10,54	10,54
تموز		13,07	11,32	12,20	12,19
آب	11,65	11,77		11,71	11,71
أيلول	8,36	7,96		8,16	8,16
تشرين الأول	5,30	5,51		5,40	5,40
تشرين الثاني	4,64	4,27		4,46	4,45
كانون الأول	4,37	4,37		4,37	4,37
الوسطي من أجل كامل البيانات	6,88	7,68	7,51		7,46
وسطي الأشهر	6,86	7,65	7,48	7,44	

واعتماداً على البيانات الموضحة أعلاه تم إعداد أطلس الرياح الخاص بموقع قطينة ويوضح الشكل (٤-٥) أطلس الرياح الخاص بموقع قطينة حيث يتراوح متوسط سرعة الرياح في الموقع (١٦,٧-٨,٩) م/ثا.



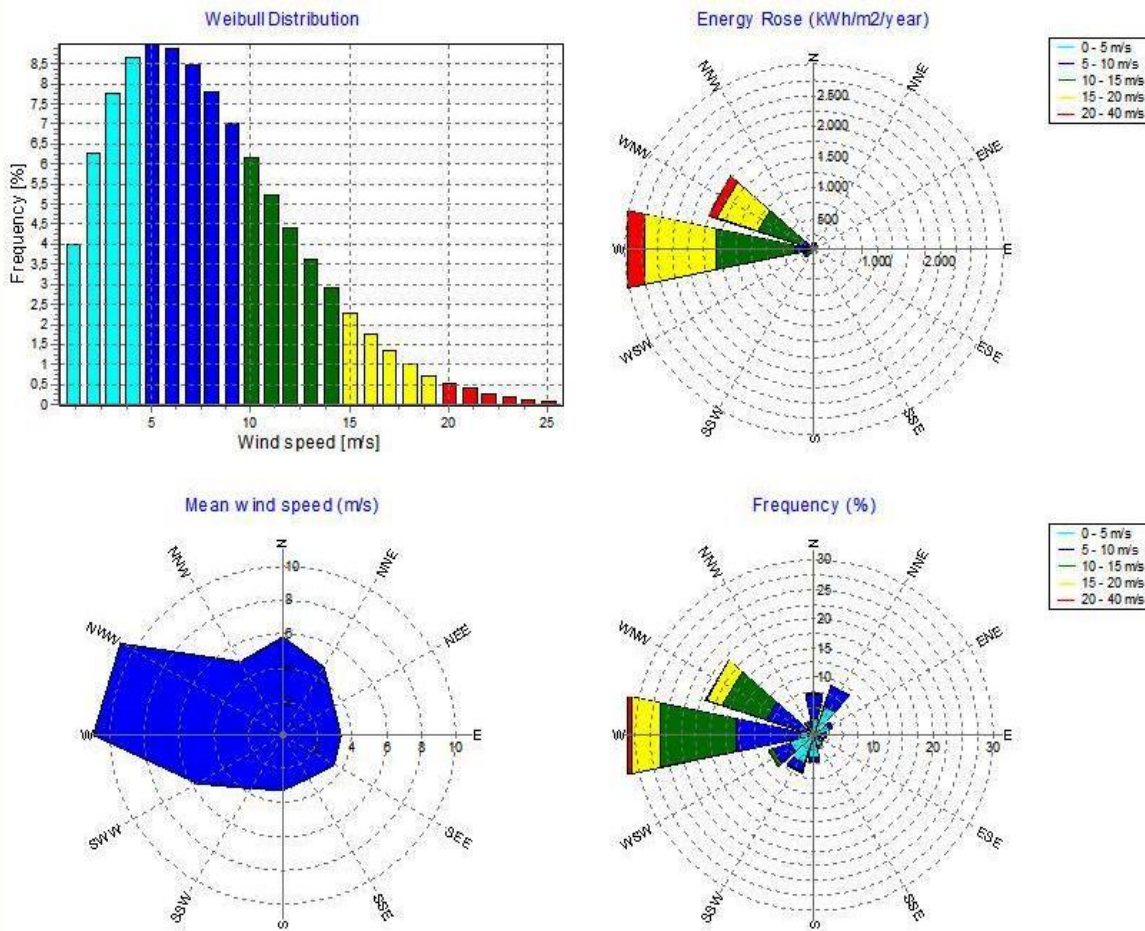
الشكل (٤-٥) أطلس الرياح في محيط بحيرة قطينة [8]

٤-٣-٣ اتجاه الرياح في الموقع

يعتبر شكل توزيع العنفات في الموقع من العوامل الأساسية المؤثرة على إنتاجية الطاقة وذلك لتلافي الضياعات الناجمة من تأثير العنفات على بعضها البعض، وبالتالي فإن تحديد الاتجاه السائد للرياح في المواقع المقترحة لإنشاء المزارع الريحية أمر ضروري جداً.

واعتماداً على البيانات المحصلة وباستفادة من المحطات المناخية القريبة من موقع المشروع في قطينة تم التأكيد إلى أن الاتجاه السائد للرياح في منطقة المشروع هو الاتجاه الغربي والشمالي الغربي.

وتوضح المخططات التالية نسبة تكرار سرعات الرياح والاتجاه السائد للرياح في موقع قطينة والمستنتجة من البيانات المحصلة من محطة الرصد الريحية القائمة في الموقع.



الشكل (٦-٤) ورده الرياح [8]

٤-٤ تصميم مزرعة الرياح المقترحة:

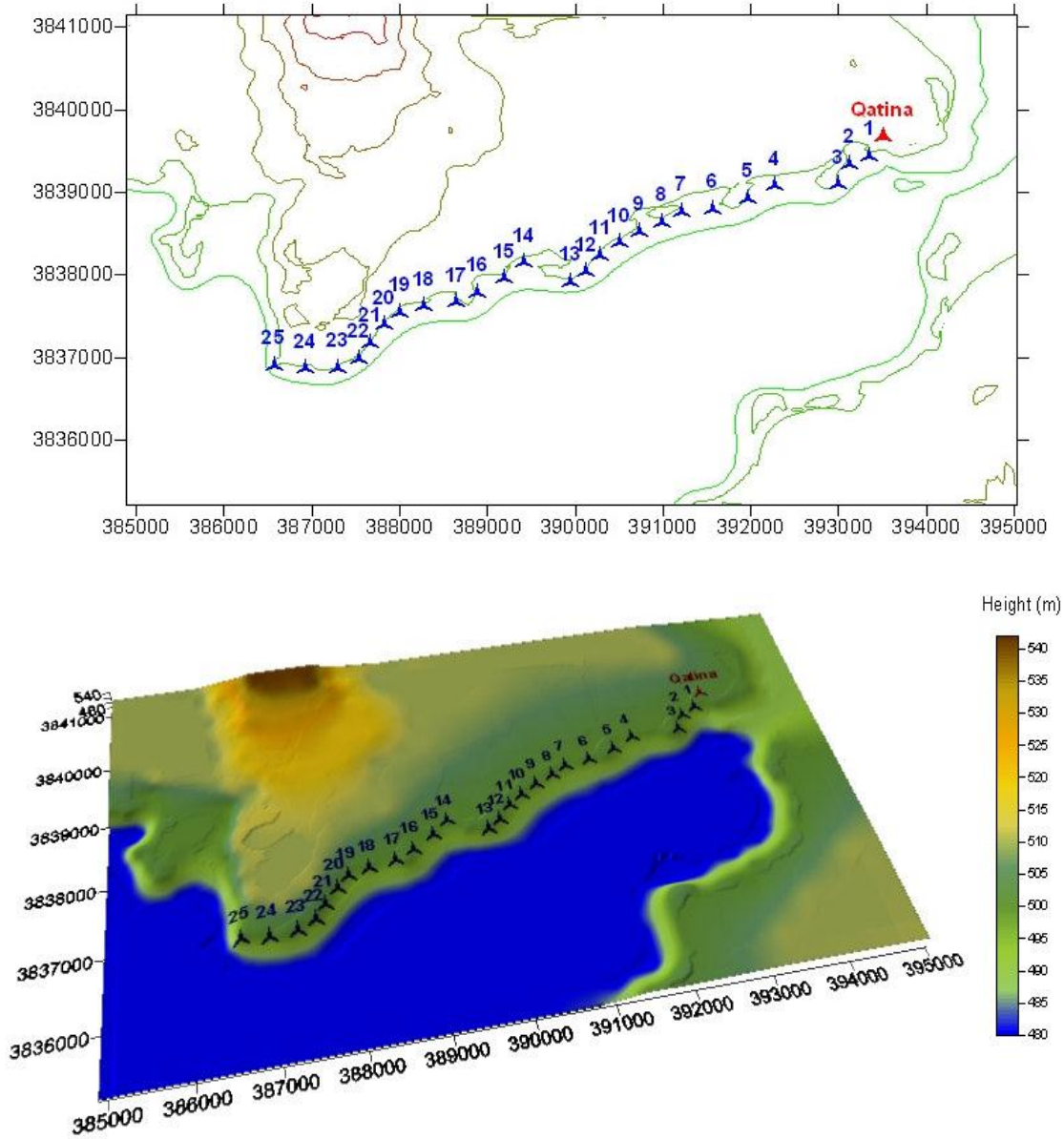
تتكون المزرعة من (٢٥) عنفة الشكل (٤-٧) من إنتاج شركة غاميسا الأسبانية وهي إحدى الشركات الكبرى على مستوى العالم في مجال إنتاج وتركيب تكنولوجيا إنتاج الطاقة الكهربائية من مزارع الرياح وذلك على الضفة الشمالية من حرم البحيرة.



الشكل (٤-٧) Gamesa G80 [8]

٤-٤-١ توزيع عنفات الرياح [9]:

سيتم توزيع عنفات الرياح المذكورة أعلاه على جزء من الحرم الشمالي للبحيرة كما هو موضح في الشكل (٤-٨).



الشكل (٤-٨) التوضع شبه النهائي المقترح لعنفات الرياح على محيط البحيرة [9]

٤-٤-٢ الإنتاج الإجمالي المتوقع من المزرعة [9]:

يبلغ الإنتاج الإجمالي المتوقع من المزرعة هو حوالي (١٧٠) مليون كيلو واط ساعي سنوياً على التوتر (٢٠) ك.ف. وسيتم ربطها مع محطة تحويل ٦٦/٢٠ ك.ف. سيتم إنشاءها في نفس الموقع. سيتم ربطها بخطي (كابلات أرضية) توتر ٦٦ ك.ف مع محطة تحويل قطينة الرئيسة في حمص، وسيتم تزويد الشبكة بطاقة كهربائية صافية تقدر بحوالي (١٧٠) مليون كيلو واط ساعي سنوياً.

الجدول (٤-٦) صافي الطاقة الكهربائية المنتجة من توربينات QATINEH W.F. - Hub height = 67 m

	QATINEH W.F. - Hub height = 67 m				
	Gross AEP (GWh)	Wake losses	Availability losses (3%)	Electrical losses (2%)	Net AEP (GWh)
AEP (GWh)	185.66	5.59 3.01%	5.41	3.51	171.15
Equivalent hours	3713	112	108	70	3423
Capacity Factor (%)	42.4	-	-	-	39.1

الجدول (٤-٦) صافي الطاقة الكهربائية المنتجة [9]

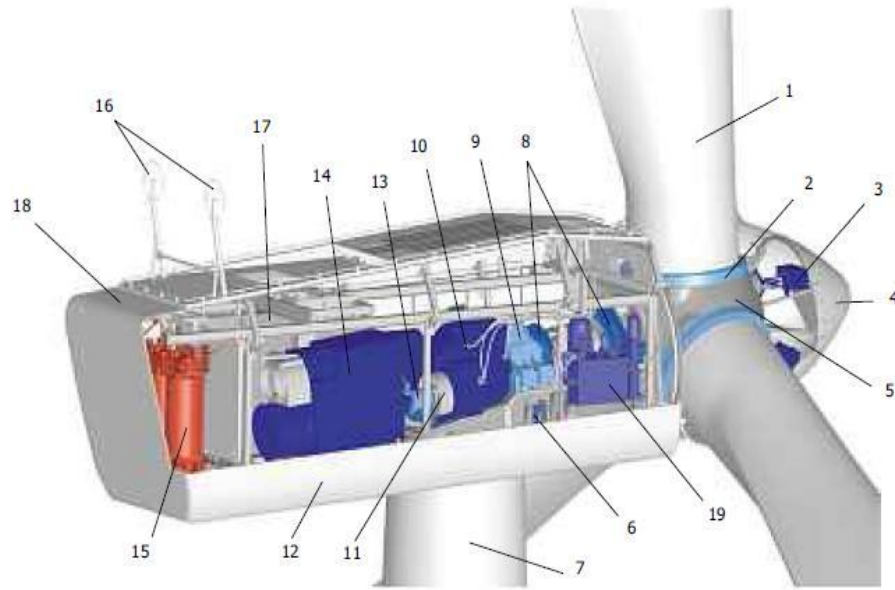
	25 G80-2.0 MW at 67 m hub height	
	Gross AEP	Net AEP
AEP (GWh)	185.66	171.15
Equivalent Hours	3713	3423

٤-٤-٣ النظام الكهربائي للمزرعة الريحية [8]:

١- المولد الريحي المستخدم:

تتكون المزرعة من (٢٥) عنفة ريحية من طراز GAMISA G80 استطاعة كل منها 2MW الشكل (٩-٤) ذات مولد تحريضي مضاعف التغذية (DFIG) Doubly Fed Induction Generator، يقوم بتوليد الكهرباء على توتر ٦٩٠ فولت، وكل عنفة مجهزة بمحولة كهربائية جافة تقوم برفع قيمة توتر التوليد إلى (٢٠) ك.ف، ويبين الجدول (٤-٧) بيانات المولد الريحي

- 1 Blade
- 2 Blade bearing
- 3 Hydraulic pitch actuator
- 4 Hub cover
- 5 Hub
- 6 Active yaw control
- 7 Tower
- 8 Main shaft with two bearing houses
- 9 Shock absorbers
- 10 Gearbox
- 11 Main disc brake
- 12 Nacelle support frame
- 13 Transmission: High speed shaft
- 14 Doubly fed generator
- 15 Transformer
- 16 Anemometer and wind vane
- 17 Top controller
- 18 Nacelle cover
- 19 Hydraulic unit



الشكل (٩-٤) شكل المولد الريحي [8]

الجدول (٧-٤) بيانات المولد الريحي [8]

Rotor

Diameter	80 m
Swept area	5,027 m ²
Rotational speed	9.0 - 19.0 rpm
Rotational direction	Clock Wise (front view)
Weight (incl. Hub)	Approx. 38 T
Top head mass	Approx. 108 T

Blades

Number of blades	3
Length	39 m
Airfoils	NACA 63.XXX + FFA-W3
Material	Glass fiber reinforced with epoxy resin
Total blade weight	6,500 kg

Tubular Tower

Modular type	Height	Weight
3 sections	60 m	127 T
3 sections	67 m	145 T
4 sections	78 m	201 T

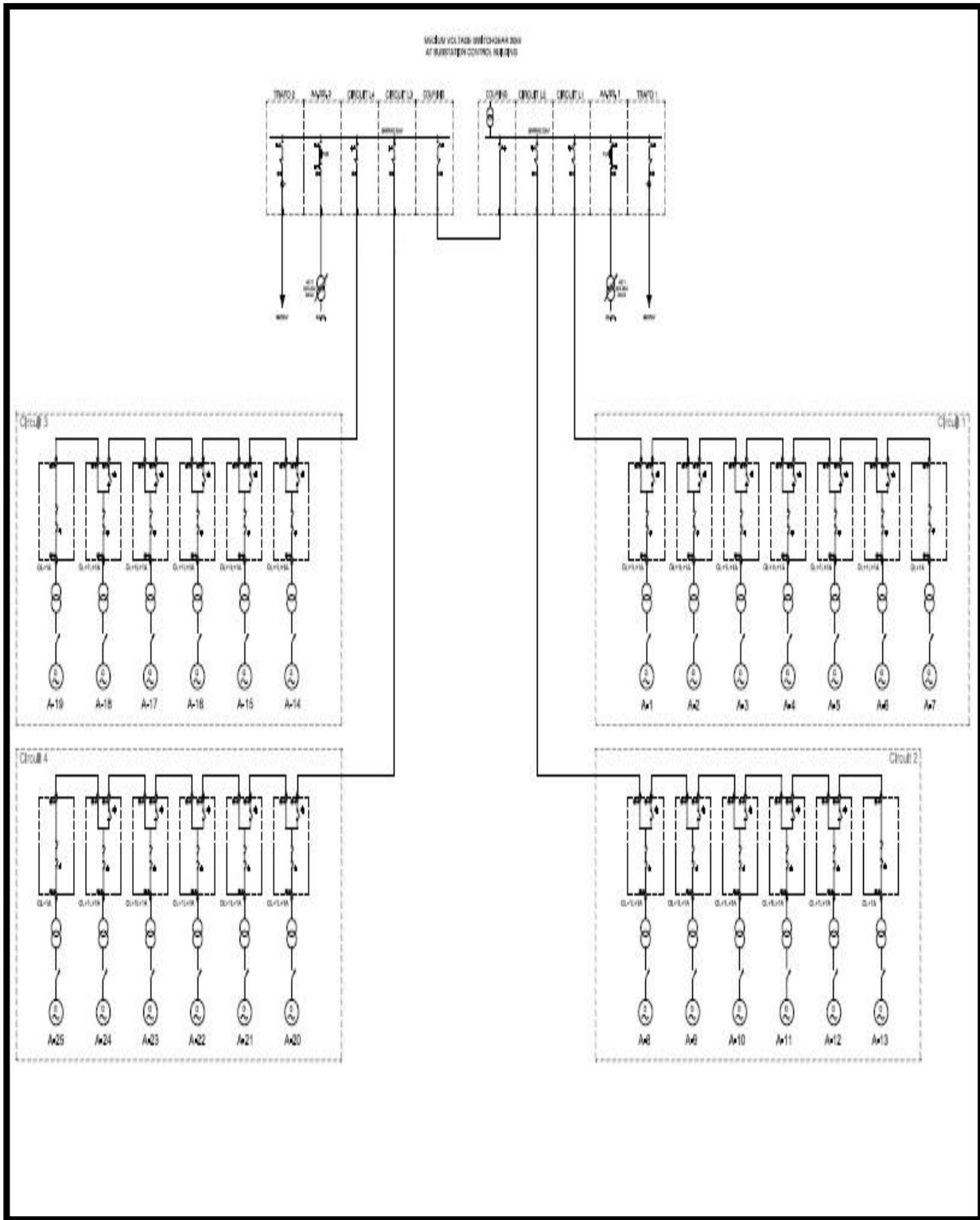
Gearbox	
Type	1 planetary stage / 2 parallel stages
Ratio	1:100.5 (50 Hz) 1:120.5 (60 Hz)
Cooling	Oil pump with oil cooler
Oil heater	2.2 kW
Generator 2.0 MW	
Type	Doubly-fed machine
Rated power	2.0 MW
Voltage	690 V ac
Frequency	50 Hz / 60 Hz
Protection class	IP 54
Number of poles	4
Rotational speed	900:1,900 rpm (rated 1,680 rpm) (50 Hz) 1,080:2,280 rpm (rated 2,016 rpm) (60 Hz)
Rated Stator Current	1,500 A @ 690 V
Power factor (standard)	0.98 CAP - 0.96 IND at partial loads and 1 at nominal power.*
Power factor (optional)	0.95 CAP - 0.95 IND throughout the power range.*

بحيث يتم توزيع هذه العنفات على مجموعة من الخطوط، مما يتيح إمكانية المناورة وخاصة عند حدوث الحالات الطارئة على بعض العنفات مما يسمح بفصل مجموعة العنفات المعطلة دون اللجوء إلى فصل كامل للمزرعة الريحية. ولذلك تم تقسيم هذه العنفات على أربع مجموعات بحيث تضم كل مجموعة عدد من العنفات.

الجدول (٤-٨) توزيع العنفات [8]

Circuit n°	N° of WECs	WEC ID	Max. Current (A)
1	7	7-6-5-4-3-2-1	425
2	6	13-12-11-10-9-8	365
3	6	19-18-17-16-15-14	365
4	6	25-24-23-22-21-20	365

وبحيث يتم ربط خرج كل مجموعة على باسبار توتر متوسط (٢٠) ك.ف ومن ثم يتم تجميعها لربطها على محولات الرفع في محطة تحويل ٦٦/٢٠ ك.ف كما هو موضح بالشكل (٤-١٠)



الشكل (٤-١٠) مخطط توزيع العنقات [8]

٢- الكابلات:

تم تحديد أماكن تركيب العنقات والمسافات بينها بحيث تحقق أعلى طاقة ممكن انتاجها. وبناءً على ذلك فإن أطوال كابلات التوصيل بين العنقات ضمن المجموعة الواحدة وبين كل مجموعة وباسبار الـ (٢٠) ك.ف كما هي محددة ضمن الجدول (٩-٤)

الجدول (٩-٤) أطوال كابلات الـ ٢٠ ك.ف [8]

<i>Circuit n°</i>	<i>Stretch Id</i>	<i>LENGTH (m)</i>
1	WF SST-WEC 1	496
1	WEC1-WEC2	461
1	WEC2-WEC3	295
1	WEC3-WEC4	736
1	WEC4-WEC5	386
1	WEC5-WEC6	476
1	WEC6-WEC7	391
TOTAL C1 m		3241
2	WF SST-WEC 8	3441
2	WEC8-WEC9	324
2	WEC9-WEC10	300
2	WEC10-WEC11	303
2	WEC11-WEC12	278
2	WEC12-WEC13	234
TOTAL C2 m		4880
3	WF SST-WEC 14	5566
3	WEC14-WEC15	310
3	WEC15-WEC16	370
3	WEC16-WEC17	450
3	WEC17-WEC18	445
3	WEC18-WEC19	323
TOTAL C3 m		7464
4	WF SST-WEC 20	7710
4	WEC20-WEC21	291
4	WEC21-WEC22	247
4	WEC22-WEC23	282
4	WEC23-WEC24	380
4	WEC24-WEC25	390
TOTAL C4 m		9300

واعتماداً على عدد العنقات في كل مجموعة والتيارات المارة في الكابلات فقد تم تحديد مواصفات ومقاطع الكابلات المستخدمة كما يلي:

الجدول (٤-١٠) مواصفات كابلات الـ ٢٠ ك.ف [8]

Cross section Cu (mm ²)	I max adm (A)	R (ohm/km)	X (ohm/km)
95	265	0,245	0,122
150	336	0,1588	0,115
240	438	0,0973	0,105
300	488	0,0781	0,102
400	547	0,047	0,098
500	635	0,049	0,095
630	746	0,0391	0,092

الجدول (٤-١١) أطوال ومقاطع كابلات الـ ٢٠ ك.ف [8]

Circuit n°	Stretch Id	Cable Size (mm2)	Cable Length (buried m per phase)
1	WF SST-WEC 1	400mm2	496 m
1	WEC1-WEC2	300mm2	461 m
1	WEC2-WEC3	240mm2	295 m
1	WEC3-WEC4	150mm2	736 m
1	WEC4-WEC5	95mm2	386 m
1	WEC5-WEC6	95mm2	476 m
1	WEC6-WEC7	95mm2	391 m
TOTAL C1 m		-	3241 m

2	WF SST-WEC 8	300mm2	3441 m
2	WEC8-WEC9	150mm2	324 m
2	WEC9-WEC10	95mm2	300 m
2	WEC10-WEC11	95mm2	303 m
2	WEC11-WEC12	95mm2	278 m
2	WEC12-WEC13	95mm2	234 m
TOTAL C2 m		-	4880 m
3	WF SST-WEC 14	300mm2	5566 m
3	WEC14-WEC15	240mm2	310 m
3	WEC15-WEC16	150mm2	370 m
3	WEC16-WEC17	95mm2	450 m
3	WEC17-WEC18	95mm2	445 m
3	WEC18-WEC19	95mm2	323 m
TOTAL C3 m		-	7464 m
4	WF SST-WEC 20	300mm2	7710 m
4	WEC20-WEC21	150mm2	291 m
4	WEC21-WEC22	95mm2	247 m
4	WEC22-WEC23	95mm2	282 m
4	WEC23-WEC24	95mm2	380 m
4	WEC24-WEC25	95mm2	390 m
TOTAL C4 m		-	9300 m

٣- محولات الرفع:

يربط خرج المجموعات الأربع إلى محولتين 66/20kV، باستطاعة 62.5MVA لكل محولة،

ذات المواصفات الفنية التالية:

الجدول (٤-١٢) مواصفات محولة الرفع [8]

Description	Value
Power (ONAN/ONAF) (MVA)	62.5 MVA ONAN
Primary voltage (kV)	66
Secondary voltage (kV)	20
Voltage regulation	On load 66kV Side
Regulation range	66 ± 10%
Vector group	YNd11
No load power losses at 100% Un (kW)	29,6
On load power losses (kW)	302,6
Impedance Voltage at 75°C at each end of tapping range	10
Lightning impulse withstand voltage HV (66kV)	350
Power frequency withstand voltage LV line (20kV)	125
Insulation	Oil
Tank	Strengthened steel
Tank Accessories	Draining valve Sampling valve Filter connection valve Lifting and dragging hooks Magnetic oil level Dehydrating breather for the transformer Shut off valve Removable covers for cleaning Radiators attached to the tank On Load Tap Changer 66kV
Expansion tank	
Cooling equipment	
Regulation equipment	
Protection devices	Thermometer with contacts Pressure-relief device with contacts Buchholz relay
Maximum temperature rise above ambient at IEC rated power, average(°C)	55
Maximum ambient temperature (°C)	45

ويربط خرج المزرعة النهائي إلى قضيب تجميع (٦٦) ك.ف في محطة تحويل قطينة الرئيسة

عن طريق خطين (٦٦) ك.ف أرضيان. كما هو موضح بالمخطط التالي:



٤ - نظام الحماية للمحطة:

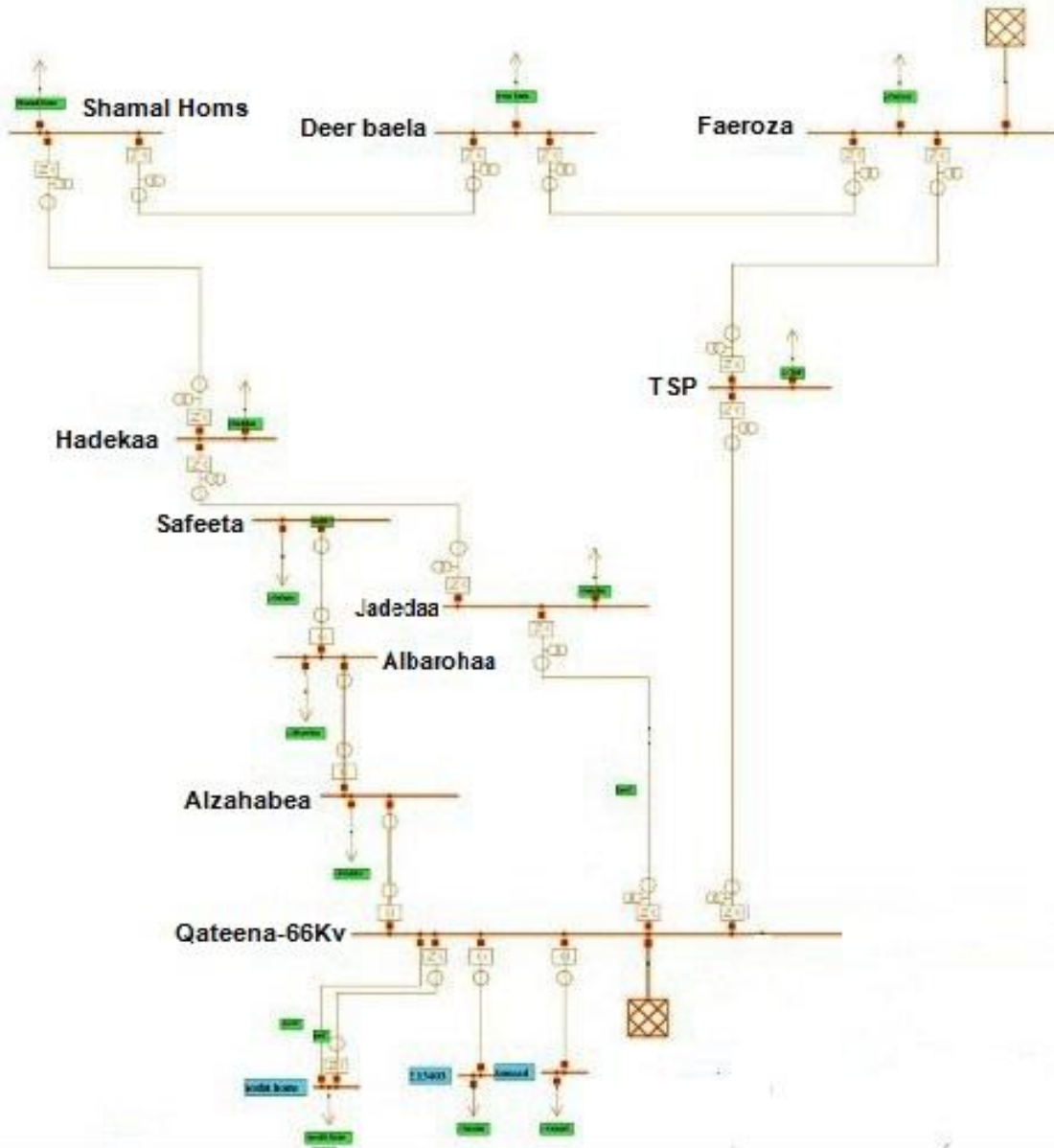
يتألف نظام الحماية لعناصر المزرعة الريحية مما يلي:

Wind turbine lines 20 kV	
.50, Instantaneous over current relay	حماية زيادة تيار لحظية
51, AC time over current relay	حماية زيادة تيار ذات تأخير زمني
50N, neutral instantaneous over current relay	حماية زيادة تيار لحظية لنقطة الحياد
51N, neutral AC time over current relay	حماية زيادة تيار ذات تأخير زمني لنقطة الحياد
3, checking or interlocking relay	حماية اقفال تبادلي
Coupling 20 kV	
50, instantaneous over current relay.	حماية زيادة تيار لحظية
51, AC time over current relay	حماية زيادة تيار ذات تأخير زمني
50N, neutral instantaneous over current relay	حماية زيادة تيار لحظية لنقطة الحياد
51N, neutral AC time over current relay	حماية زيادة تيار ذات تأخير زمني لنقطة الحياد
3, checking or interlocking relay.	حماية اقفال تبادلي
66/20 kV Transformer Protection Board (MV side)	
50, instantaneous over current relay	حماية زيادة تيار لحظية
51, AC time over current relay	حماية زيادة تيار ذات تأخير زمني
50N, neutral instantaneous over current relay	حماية زيادة تيار لحظية لنقطة الحياد
51N, neutral AC time over current relay	حماية زيادة تيار ذات تأخير زمني لنقطة الحياد
3, checking or interlocking relay	حماية اقفال تبادلي
90T, regulating device	جهاز تنظيم

66/20 kV Transformer Protection Board (HV side)	
50, instantaneous over current relay	حماية زيادة تيار لحظية
51, AC time over current relay	حماية زيادة تيار ذات تأخير زمني
50N, neutral instantaneous over current relay	حماية زيادة تيار لحظية لنقطة الحياد
51N, neutral AC time over current relay	حماية زيادة تيار ذات تأخير زمني لنقطة الحياد
87T, differential protective relay	حماية تفاضلية
Neutral earthing reactance:	
50N, neutral instantaneous over current relay.	حماية زيادة تيار لحظية
51N, neutral AC time over current relay.	حماية زيادة تيار ذات تأخير زمني لنقطة الحياد
66 kV Line Protection Board	
21, distance relay	حماية مسافية
50, instantaneous over current relay	حماية زيادة تيار لحظية
51, AC time over current relay	حماية زيادة تيار ذات تأخير زمني
67N, neutral AC directional over current relay	حماية زيادة تيار أرضية موجهة
25, synchronism-check device.	نظام تزامن
3, checking or interlocking relay	حماية اقفال تبادلي
27, Under voltage relay	حماية انخفاض توتر

[illegible]

109



الشكل (١٣-٤) تمثيل الشبكة الكهربائية لمنطقة حمص باستخدام برنامج NEPLAN في الحالة النظامية
أُخذت بيانات الأحمال المرتبطة بالشبكة السابقة من مديرية التشغيل والاستثمار - دائرة التنسيق في
وزارة الكهرباء، حيث تم الاعتماد على ذروة الحمل الشتوية في السنة الماضية ٢٠١٠-١٢-٣٠
والمبينة في الجدول (١٣-٤).

الجدول (٤-١٣) أحمال محطات التحويل في الشبكة المدروسة ليوم الذروة ٣٠-١٢-٢٠١٠ [12]

كامل محطة التحويل				إسم محطة التحويل
الحمل		الإسمي		
MVA	A	MVA	A	
32	920	40	1154	الباروكة
43	1260	70	2020	الجديدة
16	460	30	866	الذهبية
3	265	15	1375	السماذ الأزوتي
34	3150	40	3666	مصفاة حمص
23	665	40	1154	دير بعلبة
32	930	60	1732	شمال حمص
44	1270	60	1732	فيروزة
16	450	20	577	قطينة
10	945	50	4582	TSP
6	525	28	2566	أمونيا
17	505	60	1732	حديقة الشعب

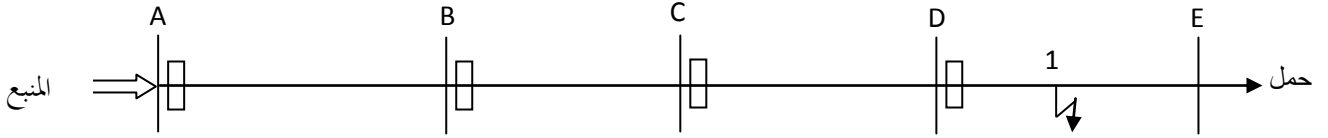
٦- حماية الخطوط الكهربائية

تستخدم لحماية خطوط النقل الكهربائية عدة أنواع من الحماية الكهربائية كالحماية المسافية وحماية زيادة الشدة الكهربائية الزمنية والحماية الاتجاهية ، وسوف نستعرض كل حماية من الحماية على حدی:

■ حماية زيادة التيار الزمنية [5]:

قبل البدء في شرح عنصر الحماية المستخدم لابد لنا من استعراض مبدأ عمل هذا العنصر وأهميته استخدامه في الشبكات الكهربائية.

❖ مبدأ عمل الحماية: لتكن لدينا الشبكة الكهربائية الشعاعية البسيطة والمغذاة من طرف واحد (الطرف A) وعلى الشكل التالي :

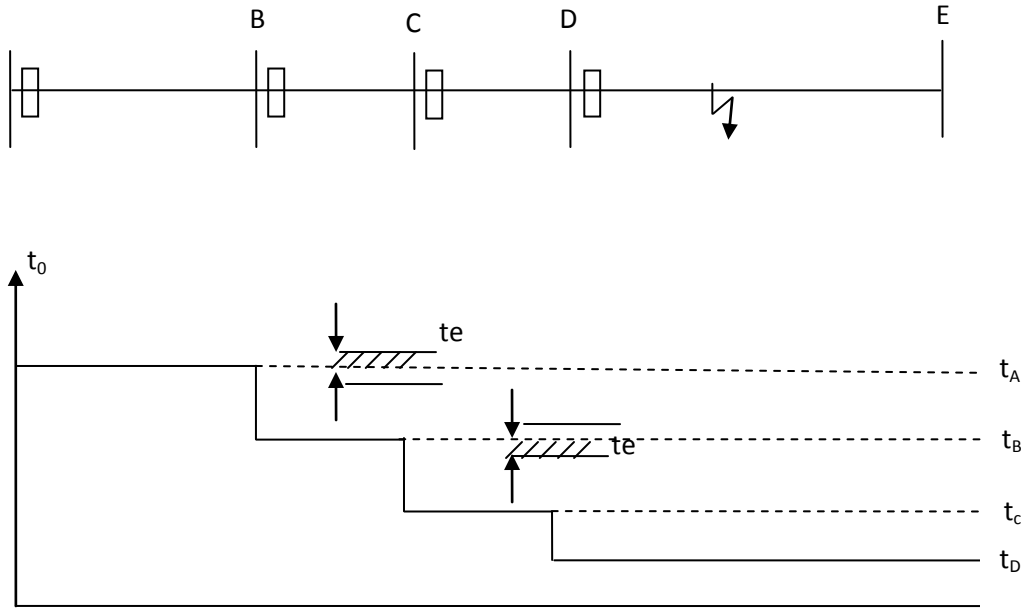


الشكل (٤-١٤) شبكة شعاعية

عند حدوث عطل كهربائي في جزء ما من أجزاء الشبكة وليكن العطل 1 الموضح في الشكل فإنه سيؤدي إلى مرور تيار كهربائي كبير ندعوه بتيار القصر (I_{sc}) مغذياً لنقطة العطل ماراً عبر الحماية (A,B,C,D) على التوالي . ولذلك لا بد لنا من عزل هذا العطل عن طريق عزل الجزء الذي حدث فيه العطل في هذا النظام وذلك بفتح القاطع الآلي في المحطة D بعمل الحماية الكهربائية التابعة له بعد فترة زمنية معينة معبر عليها العنصر الزمني.

وعادة يتم تعيين العنصر الزمني للحماية الكهربائية الموجودة في المحطة (D) بزمن أصغر من زمن تعيين عنصر الزمن للحماية (C) والذي بدوره أصغر من زمن عمل الحماية B وهكذا حيث تعمل كل حماية بحماية جزء معين من أجزاء النظام وفي حال عدم عمل الحماية المخصصة للجزء الذي حدث فيه العطل الكهربائي فإن الحماية التي تليها تقوم بعزل العطل بعد فترة زمنية معينة بحيث نحصل على عملية تناسق عمل للحمايات للنظام ككل .

وبناءً على ذلك يتم تعيين العنصر الزمني للحمايات بشكل تناسق والشكل التالي يوضح ذلك :



الشكل (٤-١٥) أزمنة تعيير الحماية

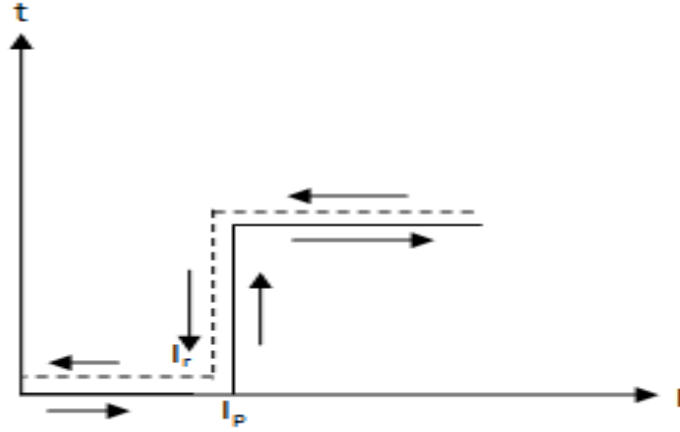
❖ الحسابات الخاصة بحمايات زيادة الشدة :

إن العنصرين الهامين واللذين يحددان عمل حماية زيادة التيار الزمنية هما التيار والزمن .

آ- تيار عمل الحاكمة I_p : وهو التيار المغذي لملف الحاكمة والذي عنده يتم تحريض الملف فيؤدي إلى جذب التماس الخاص به .

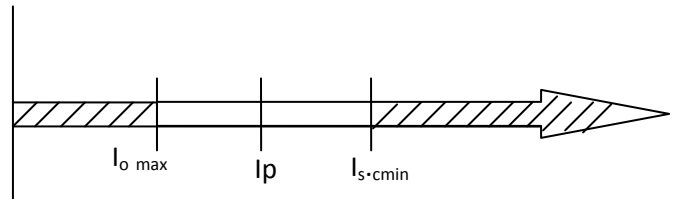
ب- تيار الرجوع لملف الحاكمة I_r : وهو التيار المغذي للحاكمة نحصل عليه عند إنقاص تيار عمل الحاكمة عند لحظة فتح التماسات المجذوبة عند عمل الحاكمة .

الشكل التالي يوضح تيار عمل الحاكمة وتيار الرجوع للحاكمة I_r حيث كما نلاحظ أن تيار الرجوع أصغر من تيار العمل I_p دوماً.



الشكل (٤-١٦) تيار عمل الحاكمة وتيار الرجوع للحاكمة

بعد أن تعرفنا على تيار عمل الحاكمة وتيار الرجوع لها يتم تحديد العلاقة التي تعطي قيمة هذا التيار، حيث يجب الأخذ بعين الاعتبار قيم التيارات الخاصة بالنظام المراد حمايته وهما تيارا الحمل العظمي ($I_{o \max}$) وتيار القصر الأصغري ($I_{s.c.min}$) والذي يمثل أصغر قيمة للتيار عند حدوث عطل كهربائي في النظام سواء كان هذا العطل أحادي أو ثلاثي الخ .



الشكل (٤-١٧) توضع قيمة تيار عمل الحاكمة

إذا نلاحظ من هذا الشكل يجب أن يكون تيار عمل الريليه (الحاكمة) أكبر من تيار الحمل الأعظمي

$I_{o \max}$ والذي غالباً ما يكون مساوياً للتيار الاسمي (I_{no}) للنظام وكذلك أصغر من تيار القصر الأصغري $I_{s.c.min}$.

وبذلك نستطيع أن نكتب العلاقة المحددة لقيمة تيار عمل الحاكمة :

$$I_p = I_{o \max} \cdot \frac{1}{K} \cdot \frac{1}{R} \cdot C$$

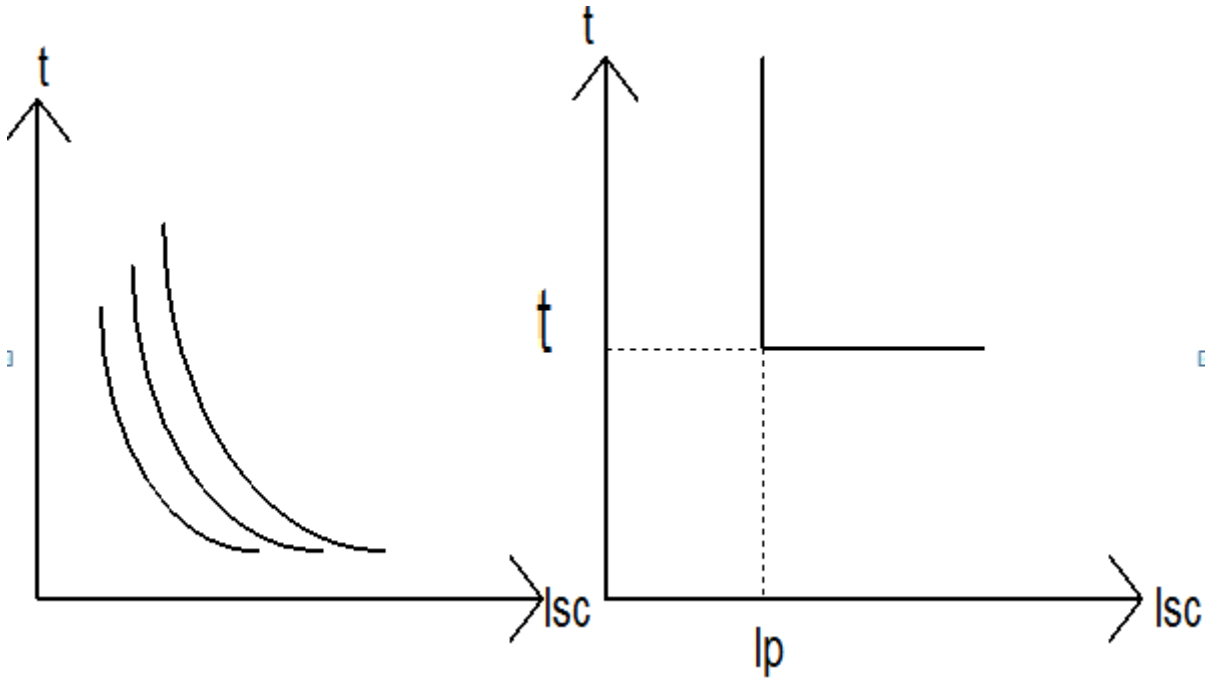
K_1 تمثل نسبة تحويل محول التيار

R تمثل نسبة تيار الرجوع للريليه I_r إلى تيار عمل الحاكمة I_p .

$$R = \frac{I_r}{I_p} < 1$$

C عامل أمان يتراوح ما بين ١.٢ إلى ١.٣

ويتم اختيار هذا العامل كعملية تصحيح عند وجود خطأ في تحديد تيار الحمل الأعظمي أو في تحديد نسبة تحويل التيار .

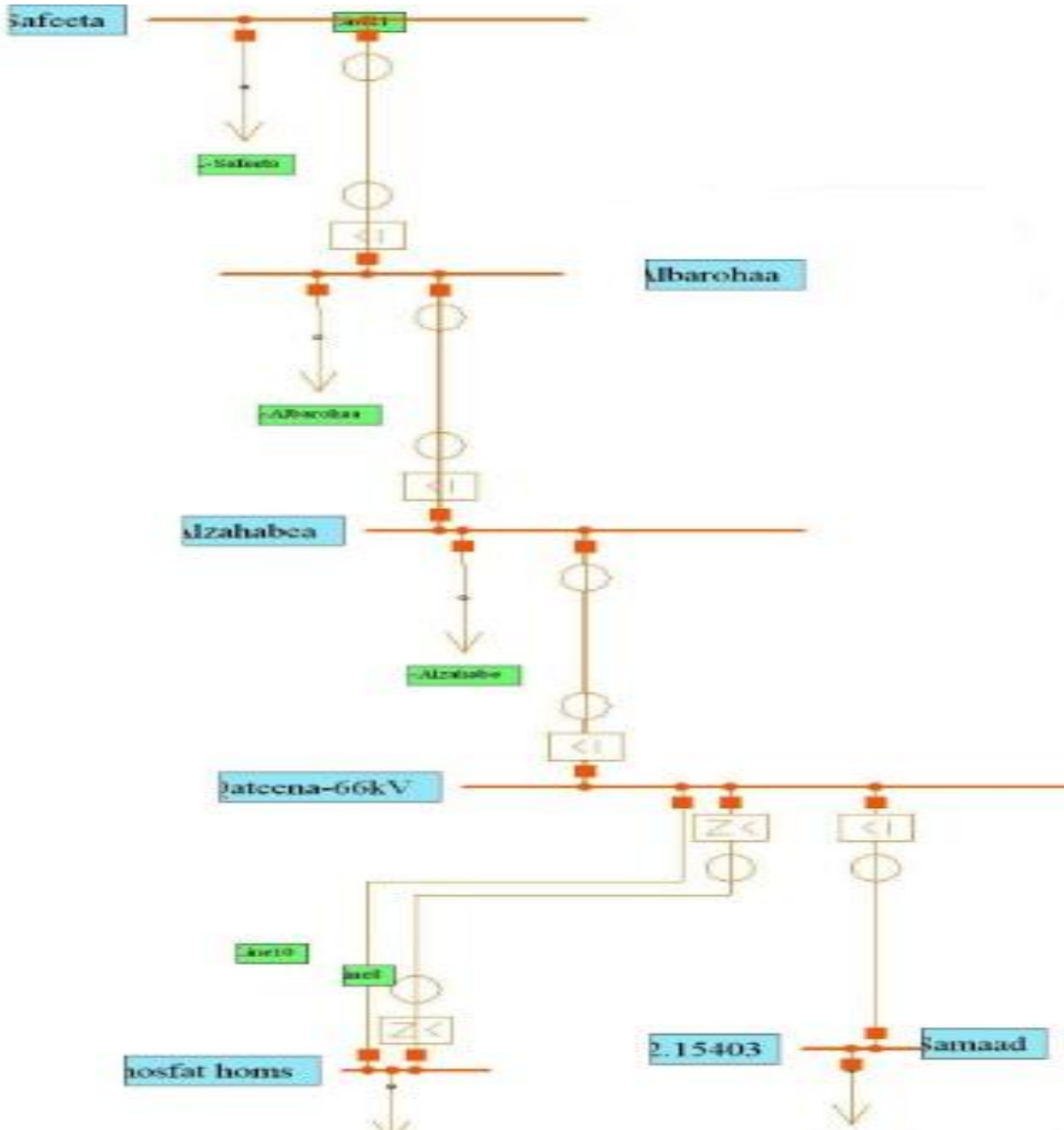


الشكل (١٨-٤) شكل مميزة حاكمة التيار

مما سبق نجد ان حماية زيادة الشدة الزمنية تستخدم في الشبكات الشعاعية. إلا أن هذا النوع من الحماية لا يمكن استخدامه في الشبكات الحلقية والتي يتم حمايتها من خلال استخدام حماية زيادة الشدة الاتجاهية الزمنية. إلا أن الشبكة السورية لا تستخدم أي نوع من الحماية الاتجاهية لحماية الخطوط وإنما تستعمل تلك الحماية كحماية أرضية موجهة فقط. حيث يتم اللجوء في هذه الحالات إلى عنصر حماية جديد يعطي شروط عمل مناسبة للشبكة وهو عنصر الحماية المسافية.

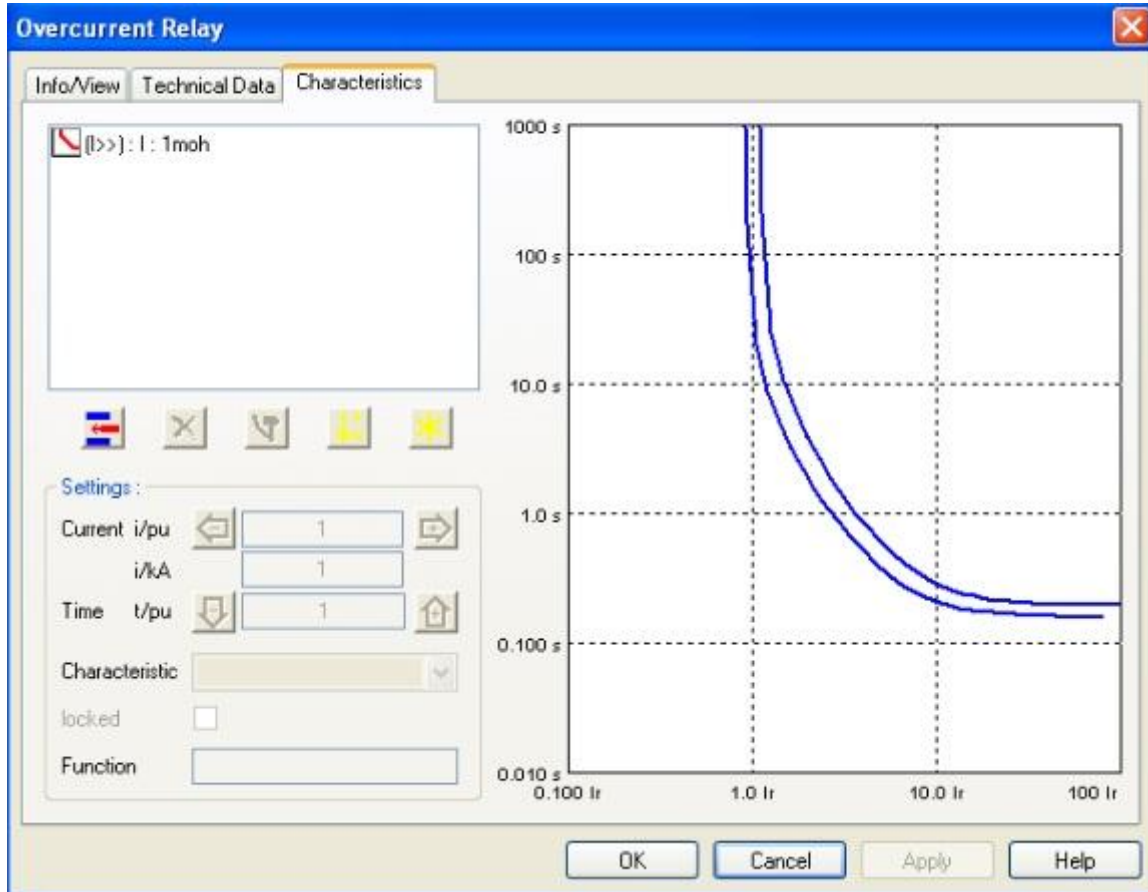
❖ تعبير الحماية من زيادة شدة التيار الكهربائي في الشبكة المدروسة باستخدام برنامج NEPLAN [10]:

يبين الشكل (٤-١٩) أمكنة توضع الحماية الكهربائية من زيادة شدة التيار الكهربائي في جزء من الشبكة الكهربائية لمنطقة حمص باستخدام برنامج NEPLAN في الحالة النظامية، ويوضح الشكل (٤-٢٠) ميزة (التيار- الزمن) لحماية زيادة شدة التيار الكهربائي المستخدمة في الشبكة، والتي تمت معايرتها بناءً على الدراسة السابقة وبشكل متطابق مع طريقة المعايرة المتبعة في الشبكة السورية.



الشكل (١٩-٤) حمايات زيادة شدة التيار الكهربائي في جزء من الشبكة الكهربائية لمنطقة حمص باستخدام برنامج

NEPLAN في الحالة النظامية [10]



الشكل (٤-٢٠) ميزة (التيار- الزمن) [10]

■ الحماية المسافية [26]:

تعتمد الحاكمة المسافية من حيث المبدأ على الحقيقة المتمثلة بأن حدوث عطل ما في الشبكة سيؤدي بشكل عام إلى إرتفاع في قيمة التيار وانخفاض في قيمة التوتر وذلك بقيمة تتعلق بقرب وبعد نقطة القياس عن موضع العطل وبقوة تغذية المنبع للعطل. وبما أن النسبة U/I تمثل قيمة الممانعة فإن زيادة التيار وانخفاض التوتر تكافئ انخفاضاً أكبر في قيمة الممانعة المقاسة وعلى هذه النقطة بالذات يعتمد عمل الحواكم المسافية.

لذا لا بد أن تكون الحاكمة المسافية قادرة أولاً على كشف العطل من خلال قياس ممانعة العطل (توتر وتيار القصر المقاسين عند نقطة توضع الحاكمة) وقادرة كذلك على تحديد نوع العطل وأخيراً قادرة على المقارنة بين ممانعة العطل المقاسة وممانعة الخط المعروفة (المعايرة) وبناء على نتيجة المقارنة هذه تقرر الحاكمة ما إذا كان العطل داخلياً أي على الخط المحمي فترسل أمر فصل إلى القاطع الآلي. أي أن الحاكمة قادرة على اتخاذ القرار فقط من خلال قياس قيمتي التوتر والتيار وقد شهد

تطور تصميم الحواكم العديد من المقاربات لتحقيق القياس الأمثل للممانعة وسنستعرض في هذا الفصل مراحل تطور الحواكم بشكل عام وبالأخص الحواكم المسافية، ثم نستعرض مبادئ العمل الأكثر شهرة للحواكم المسافية، وسنركز على الحواكم الرقمية التي تمثل الجيل الأحدث من الحواكم.

❖ أنماط الحواكم المسافية Distance Protection Types:

تصنّف الحواكم المسافية تبعاً لمميزاتها، وتبعاً لعدد مداخلها ولطريقة المقارنة التي تُجرىها. فالأنماط العامة من الحواكم تقوم بمقارنة قيمتي الدخل (توتر وتيار) إما بالمطال أو بالطور للحصول على المميزات والتي تكون إما مستقيمة أو دائرية عند تمثيلها على مستوي (R-X).

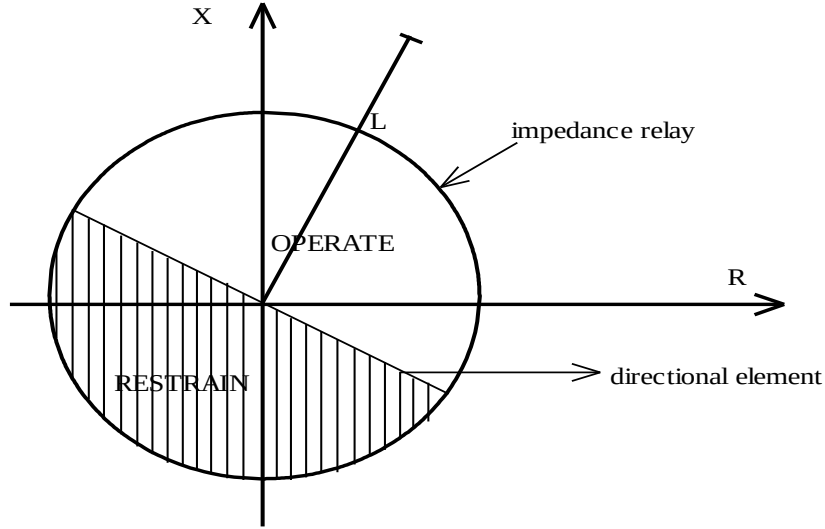
فالحاكمة الكهروميكانيكية ذات الذراع المتوازن مثلاً هي مقارن مطال لأن محصلة العزم تعتمد كلياً على قيمة مطال الدخل. فيما تشكل حاكمة المفاعلة مقارناً طورياً لأن محصلة العزم تكون باتجاه العمل فقط عندما تكون الزاوية بين قيم الدخل واقعة ضمن المجال $[0 \div \pm 90^\circ]$.

وبالمقابل فإننا نستطيع الحصول على أي نمط من المميزات باستخدام أي من المقارنين وكمثال فإن مقارنة التيار والتوتر بالمطال تعطي مميزات دائرية مركزها في نقطة المبدأ أما مقارنتهما بالطور فتعطي خطوطاً مستقيمة تمر من المبدأ، أما إذا طبقنا المقارنة الطورية على محصلة التوتر والتيار وفرقهما فسنحصل على مميزات دائرية مركزها في المبدأ...

وبشكل عام فقد تم تصنيف الحواكم على هذه الأسس منذ الاستخدامات الأولى للحواكم الكهروميكانيكية ويبقى هذا التصنيف مفيداً لأنه يلقي الضوء على المبادئ العامة لعمل الحاكمة المسافية وسنستعرض هذه الأنماط بسرعة:

- حاكمة الممانعة البسيطة Plain Impedance Relay :

المبدأ الأساسي لها هو مقارنة قيمة الجداء $(Z_{\text{setting}} \times I)$ مع قيمة التوتر أي مع القيمة $(Z_f \times I)$ ولا تأخذ هذه الحاكمة بالاعتبار الزاوية بين التوتر والتيار ولذا تعطي مميزات دائرية مركزها في المبدأ ونصف قطرها يساوي قيمة الممانعة المعاييرة وستقلع الحاكمة عندما تصبح قيمة $(Z_{\text{setting}} \times I)$ أكبر من قيمة $(Z_f \times I)$ بغض النظر عن موقع العطل أمام أو خلف الحاكمة لذا نحتاج عادة إلى إضافة عنصر اتجاهي لهذه الحاكمة، ويظهر الشكل (٤-٢١) المميزات الدائرية لهذه الحاكمة مع إضافة عنصر اتجاهي يعبر عنه الخط المستقيم:

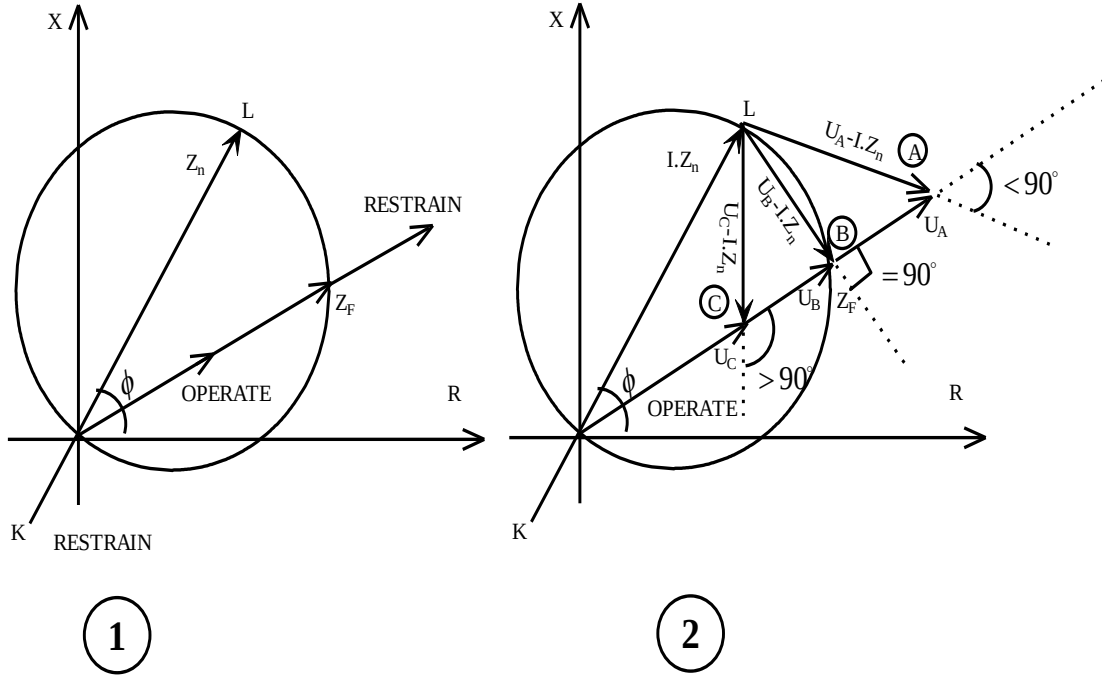


الشكل (٢١-٤): مميزات حاكمة الممانعة مع عنصر اتجاهي [26]

ومساوي هذه الحاكمة هي:

- ١- أنها لا اتجاهية فهي ترى الأعطال الواقعة أمامها أو خلفها وبالتالي تتطلب وجود عنصر اتجاهي إضافي لتنسيق عملها بشكل صحيح.
 - ٢- تتأثر بمقاومة القوس الكهربائي للعطل.
 - ٣- حساسة اتجاه تأرجح القدرة بسبب المساحة الكبيرة التي تغطيها دائرة المميزات.
 - الحاكمة MHO الاتجاهية (حاكمة السماحية) Self-Polarized MHO:
- تعرف بهذا الاسم لكون مميزاتها تشكّل خطأ مستقيماً في مستوى السماحية وتتميز بجمعها لمميزات الحاكمة الاتجاهية وحاكمة الممانعة.

ويقوم المبدأ الأساسي لعملها على مقارنة الزاوية بين شعاع الممانعة المقاسة Z_f وشعاع الفرق بين الممانعة المقاسة والممانعة المعاكسة $[U/I - Z_n]$ ، أو إذا ضربنا القيم السابقة بالتيار فالمقارنة تكون بين التوتر المقاس U_A وبين إشارة الفرق والتي تسمى إشارة الاستقطاب $PS = U - I \cdot Z_n$ ، وعندما نرسم مميزات هذه الحاكمة على مستوى الممانعة $(R-X)$ فإنها ستشكل دائرة يمر محيطها من المبدأ وقطرها يساوي $Z_{setting}$ كما في الشكل (٢٢-٤) والذي يظهر أن الحاكمة اتجاهية ضمناً:



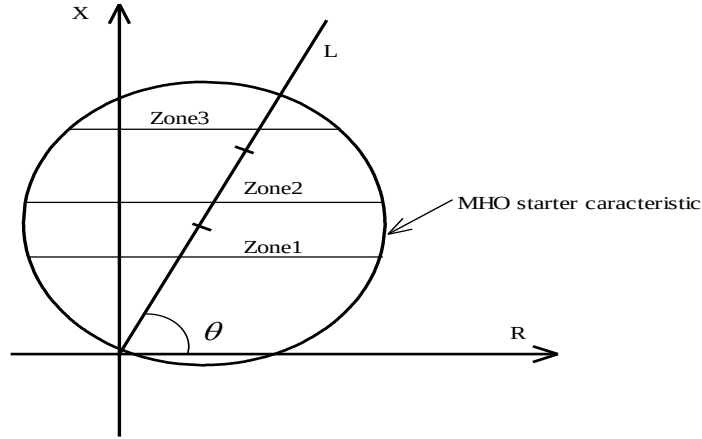
الشكل (٤-٢٢): مميزات حاكمة السماحية [26]

حيث $Z_{\text{setting}} = Z_n$ هي قيمة الممانعة المعيارية وتشكل قطر الدائرة، فيما الزاوية Φ هي زاوية مميزات الحاكمة (RCA)، ويمثل الشكل الثاني مميزات MHO الاتجاهية باستخدام مقارن طوري والذي يقارن إشارتي الدخل $(V - IZ_n)$ و V حيث تقطع الحاكمة عندما تصبح الزاوية بينهما $[90^\circ \div 270^\circ]$. ويجب ملاحظة أن وصول منطقة الحماية سيتغير مع تغير زاوية العطل وبالأخص في حال وجود مقاومة قوس كبيرة تزيد من قيمة المركبة الأومية لممانعة العطل، لذا من الضروري معرفة الفرق بين زاوية الخط وزاوية المميزات.

والمشكلة الأساسية لهذه الحواكم هي التنقل الكبير لوصول منطقة الحماية الأولى (Zone1) في حالة الأعطال الأرضية.

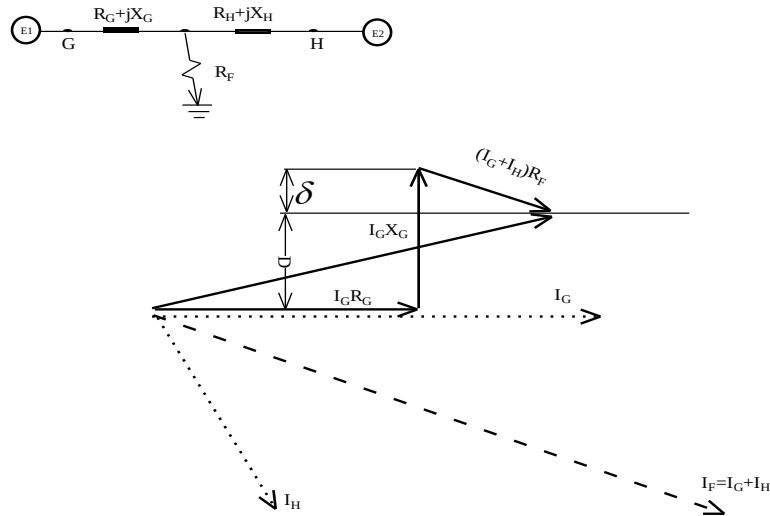
- حاكمة المفاعلة Reactance Relay :

تقوم هذه الحاكمة بمقارنة المفاعلة المقاسة مع قيمة المفاعلة المعيارية أو المرجعية، وبالتالي لا يتأثر قياس هذه الحاكمة بمقاومة القوس لأنها مصممة لقياس مركبة المفاعلة X فقط، وترسم مميزات هذه الحاكمة خطوطاً مستقيمة وموازية للمحور R على المستوي $(R-X)$ ويوضح الشكل (٤-٢٣) هذه المميزات:



الشكل (٢٣-٤): مميزات حاكمة المفاعلة [26]

لكن في الواقع يبقى لمقاومة العطل أثر على دقة قياس هذه الحاكمة وبالأخص عندما تكون مقاومة العطل كبيرة لدرجة يصبح معها تيار العطل قريباً من تيار الحمل الأعظمي، والسبب هو أن زاوية تيار العطل ستكون مختلفة عن زاوية التيار المقاس من الحاكمة في الخطوط المغذاة من طرفيها وبالتالي ستظهر مقاومة العطل للحاكمة على أنها ممانعة مركبة ويوضح الشكل (٢٤-٤) ذلك:

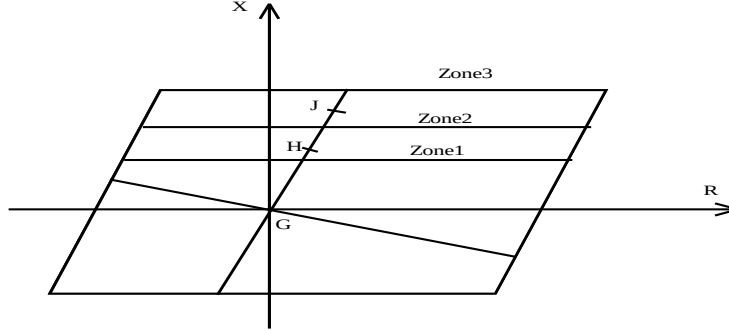


الشكل (٢٤-٤): أثر المركبة الأومية على الممانعة المقاسة [26]

- الحاكمة ذات المميزات المضلعة Quadrilateral Relay :

تحتوي هذه الحاكمة على مميزات الحاكمة السابقة بالإضافة إلى إمكانية التحكم بمناطق الحماية والاتجاهية.

وتكون هذه الحواكم فعالة عند تطبيقها على الخطوط القصيرة والمتوسطة بوجود تغذية قوية للعطل فهي تستطيع التغلب على المشكلة الأساسية لحاكمة المفاعلة أي تيار الحمل ماقبل العطل والذي يمكن هنا تعويضه، ويبين الشكل (٤-٢٥) مميزات هذه الحاكمة:



الشكل (٤-٢٥) : المميزات المضلعة للحاكمة المسافية [26]

❖ دراسة معايرة الحماية المسافية :

يعالج هذا الفصل الأساليب المقترحة لمعايرة الحواكم المسافية ويعتمد على ماتقدمه الشركات المصنعة للحواكم ، ويتم التركيز أثناء عرض منهجيات المعايرة على المعادلات الرياضية الحسابية من جهة وعلى قواعد المعرفة والنصائح المقدمة من جهة ثانية وخصوصاً المقترحات المقدمة لحل مشاكل أثر تغيرات الشبكة على قيم المعايرة .

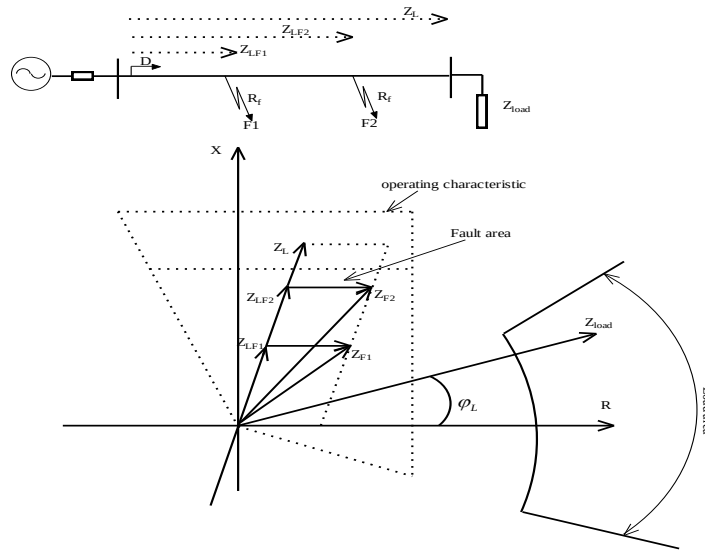
وسيتم التركيز على أثر ممانعة المنبع وأثر التيارات المساهمة في العطل على الباسبار البعيد، على قيم معايرة الحاكمة .

وبسبب عدم الدقة في قياس ممانعة العطل والناجم عن أخطاء القياس لمحولات التوتر والتيار وعن أخطاء نقل المعطيات وعن عدم دقة ممانعة الخط المدخلة والتي تعتمد عادة على الحساب لا على القياس، فليس من الممكن معايرة الحماية بحيث تحمي 100% من الخط في منطقة الحماية الرئيسية (الأولى) و بالتالي يؤخذ بعامل أمان (15-10%) من ممانعة الخط المحسوبة وذلك لضمان عدم وصول هذه المنطقة إلى مابعد نهاية الخط المحمي، وهذا الأمر هو من أولويات تنسيق عمل الحماية أي أن الفصل الأسرع هو للحاكمة الأقرب من موضع العطل مما يعني عزل الخط المصاب وحده. أما الجزء المتبقي من الخط فتتم حمايته من خلال منطقة الحماية الثانية (Zone2) والتي يتم تأخيرها زمنياً من أجل ضمان الانتقائية.

وفيما تؤمن حواكم المنطقة المغلقة (unit protection) انتقائية كاملة تقريباً للمنطقة المحمية (المنطقة الواقعة بين محولات التيار بالنسبة للحاكمة التفاضلية مثلاً) فإن الحواكم ذات المناطق المفتوحة (non-unit protection)، كالحاكمة المسافية لاتؤمن انتقائية مطلقة. ولابد بالتالي من تنسيق زمني

لعمل الحاكمة مع الحواكم المجاورة، وهكذا فنحن أمام أكثر من مستوى للتنسيق: الأول بين ممانعات مناطق الحماية للحاكمة ذاتها ومع المناطق المجاورة، والثاني التنسيق الزمني بين مناطق الحاكمة ذاتها وبينها وبين أزمنة الحواكم المجاورة.

ويتم استخدام مخطط الممانعة لتوضيح تنسيق عمل الحواكم المسافية وذلك بتمثيل مميزات الحاكمة وممانعة العطل والممانعة عند الحمل الطبيعي وممانعة الخط المحمي.. الخ، في المستوي (R-X)، وتقدم هذه المخططات تصوراً واضحاً وبيانياً عن أداء الحواكم المسافية، ويظهر الشكل (٢٦-٤) تمثيل عمل الحاكمة في المستوي (R-X):



الشكل (٢٦-٤) : مميزات الحاكمة ومناطق ممانعة العطل ومناطق ممانعة الحمل [26]

ويظهر في هذا الشكل منطقة الحمل الذي كلما ازداد كلما اقتربت الممانعة من منطقة إقلاع الحاكمة، وهي المنطقة المنقطة التي تدخل فيها الممانعة منطقة العطل، وبين الشكل كذلك منطقة ممانعة العطل (متوازي الأضلاع الداخلي) وعندما تدخل الممانعة المقاسة هذه المنطقة تصدر الحاكمة أمراً بالفصل بعد زمن تحدده المعايير، ويتضح ذلك من أجل عطلين على الخط المحمي في F_1 و F_2 . تتطلب معايير الحاكمة المسافية من حيث المبدأ تحقيق حل وسط يلبي مقتضيات الحساسية للأعطال والسرعة في اتخاذ القرار والانتقائية وهي مقتضيات متناقضة في معظم الأحيان. فكشف العطل يقتضي تحقيق المدى الأعظمي الممكن للحماية بدون المخاطرة باستقرار النظام أثناء الحمل والحالات العابرة، وكذلك يجب أن يكون كشف العطل انتقائياً بالطور لضمان تحديد حلقة العطل الصحيحة والفصل الصحيح للطور المعطل فقط.

فيما تقتضي الدقة في كشف العطل أن تغطي منطقة الحماية الخط المحمي مع هامش أمان 20% تقريباً وهنا لا بد من الأخذ بالاعتبار أثر القيمة الأكبر للتيار المساهم في العطل على الباسبار البعيد وكذلك أثر جريان الحمل على زاوية الممانعة المقاسة

❖ معايير الحماية المسافية:

- القوانين المستعملة في تعبير الحماية المسافية :

بفرض لدينا خط نقل قدرة كهربائية و نريد تعبير الحماية المسافية الموضوعة على هذا الخط و المعطيات المتوفرة لدينا هي : Z_1, Z_0, CT, VT

حيث أن :

- Z_1 : الممانعة الموجبة لخط النقل المحمي.
- Z_0 : الممانعة الصفريّة لخط النقل المحمي.
- CT : نسبة تحويل محولة التيار المربوطة مع الخط المحمي.
- VT : نسبة تحويل محولة التوتر المربوطة مع خط النقل المحمي.
- حساب معدل الممانعة K :

$$K = CT / VT$$

حيث أن : K معدل الممانعة لخط النقل .

- حساب ممانعة الخط Z_L :

$$Z_L = Z_1 * L * K$$

حيث أن :

L : طول خط النقل المحمي.

Z_L : ممانعة خط النقل منسوبة للثانوي.

- حساب ممانعة الزون الأول Z_{zone1} :

$$Z_{zone1} = 0.85 * Z_L$$

حيث أن :

Z_{zone1} : ممانعة الزون الأول .

- حساب ممانعة المنطقة الثانية Z_{zone2} :

$$Z_{zone2} = Z_L + 20\% Z_{L2} \text{ (for short line)}$$

حيث أن :

Z_{zone2} : ممانعة المنطقة الثانية.

Z_{L2} : ممانعة أقصر خط يلي خط النقل المحمي.

ومن الناحية العملية

- يجب ألا تصل منطقة الحماية الثانية إلى نهاية منطقة الحماية الأولى للحاكمة اللاحقة مع هامش أمان.
- يجب أن تغطي الحاكمة 20% من الخط المحمي خلف الباسبار البعيد وفي حالة وجود كابل قصير متبوع بخط هوائي طويل لا يمكن تحقيق هذا الشرط ولا بد من إبطاء زمن الفصل.
- يجب ألا تعابر المنطقة الثانية على قيمة أقل من 120% من ممانعة الخط المحمي تحت جميع الظروف (عدا حالة كون الخط اللاحق قصير جداً) وذلك لضمان حماية كاملة للخط المحمي.

• حساب حساب ممانعة المنطقة الثالثة Z_{zone3} :

$$Z_{zone3} = ZL + 80\% ZL2 \text{ (for longest line)}$$

حيث أن :

Z_{zone3} : ممانعة المنطقة الثالثة.

$ZL2$: ممانعة أطول خط يلي خط النقل المحمي.

تعبيرات الزمن للمناطق المختلفة :

بالنسبة للزمن فإن تعبيراته تتبع لتنسيق الشبكة حتى لا يصبح هناك تداخل بعمل الشبكة .

ويجب أن يتحقق التنسيق التالي :

$$Tz1 < Tz2 < Tz3$$

❖ تعبير الحماية المسافية في الشبكة الشبكة المدروسة باستخدام برنامج NEPLAN [10]:

١- يبين الشكل (٤-٢٧) نوع الحاكمة المسافية (ABB REL 316) المستخدمة في حماية

خطوط النقل في جزء من الشبكة الكهربائية لمنطقة حمص باستخدام برنامج NEPLAN. كما

يوضح الشكل (٤-٢٨) قيمة الممانعة وزاوية التعيير لكل منطقة من مناطق الحماية للحماية

المسافية الموجودة على الخط (٣) من قضيب تجميع الجديدة.

أما بالنسبة لتعابير الزمن للمناطق المختلفة في الحماية فهي موضحة بالشكل (٢٩-٤) وتلك التعابير متطابقة مع القيم المعايير عليها في الشبكة السورية.

Distance Relay

Parameters Starting Measurements Binary Signals Backup Setting Fault Find ABB REL 316 Info User Data

Starter

RA .. Ohm: 0 RB .. Ohm: 0 RLoad .. Ohm: 0
XA .. Ohm: 0 XB .. Ohm: 0 AngleLoad .. °: 45

Tripping

	1. Zone	2. Zone	3. Zone	Overreach	Backward
X .. Ohm:	4.43057	6.65523	7.72741	0	0
R .. Ohm:	1.23694	1.78326	2.07055	0	0
RR .. Ohm:	1.23694	1.78326	2.07055	0	0
RRE .. Ohm:	1.23694	1.78326	2.07055	0	0
k0:	0.6992	0.6992	0.6992	0.6992	0.6992
k0Angle .. °:	6.026	6.026	6.026	6.026	6.026
k0m:	0				
k0mAngle .. °:	0				

Copy Paste Library Export
OK Cancel Help Color

الشكل (٢٧-٤) نوع الحاكمة المسافية (ABB REL 316) [10]

Distance Relay

Parameters Starting Measured

Tripping schedules with relay to

Fig.Nr.	Desc
REL-line7-Faeroza	
REL-line21-Hadekaa	
REL-Line3-Jadedaa	

Arc and tower earthing resistance

R_arc_LL .. Ohm: 0

R_arc_LE .. Ohm: 0

Rm .. Ohm: 0

Zone settings

Zone 1 .. %: 80

Zone 1 ext .. %: 120

Zone 2 .. %: 120

Zone 3 .. %: 150

Zone 4 .. %: 80

Backward .. %: 50

☐ absolute ☒ relative

Calculated Settings

	R / Ohm	X / Ohm	Z / Ohm	Zang / °	Active
Zone 1	1.237	4.431	4.6	74.4011	☒
Zone 1 ext	0	0	0	0	☐
Zone 2	1.783	6.655	6.89	75	☒
Zone 3	2.071	7.727	8	75	☒
Zone 4	0	0	0	0	☐
Backward	0	0	0	0	☐

Precision

Z, R, X precision / Ohm: 3

Angle precision /°: 2

Round

Display

☐ R and X

☒ Z and Zangle

Close and create characteristic

Cancel

Automatic setting...

Show setting...

Copy Paste Library Export

OK Cancel Help Color

الشكل (٤-٢٨) قيمة الممانعة وزاوية التعيير [10]

Distance Relay

Parameters Starting **Measurements** Binary Signals Backup Setting Fault Find ABB REL 316 Info User Data

Measurements

	Time Delay	Z Diagram	Status
Zone 1	0.1 s	Edit	☒ Active
Zone 1 ext	0.1 s	Edit	☐ Active
Zone 2	0.4 s	Edit	☒ Active
Zone 3	0.7 s	Edit	☒ Active
Zone 4	1 s	Edit	☐ Active
Backward	0 s	Edit	☐ Active
Auto reclosure	0 s	Edit	☐ Active

Wait Time for enabling signal 0 s

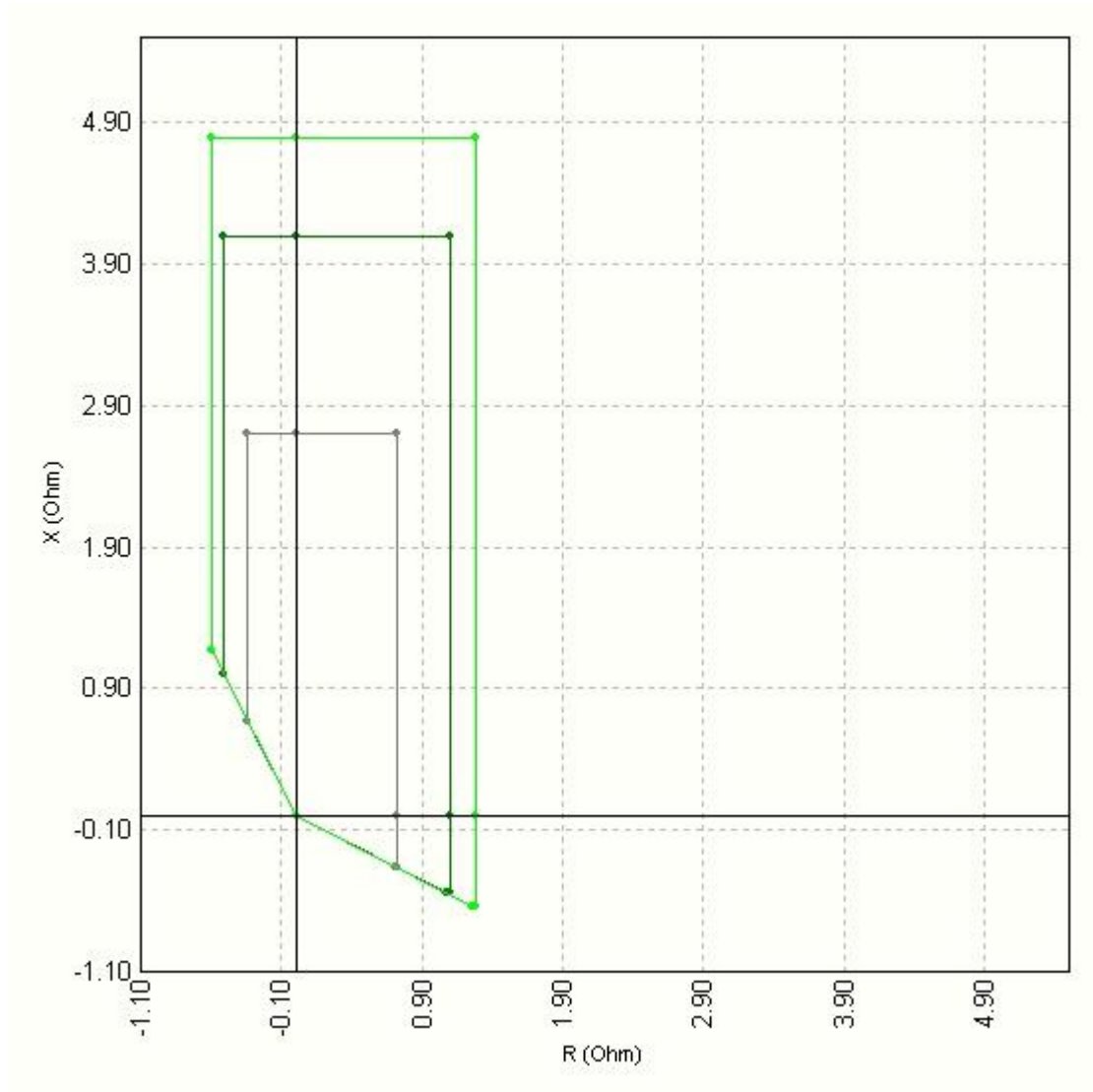
Circuit Breaker opening Time 0 s

Copy Paste Library Export

OK Cancel Help Color

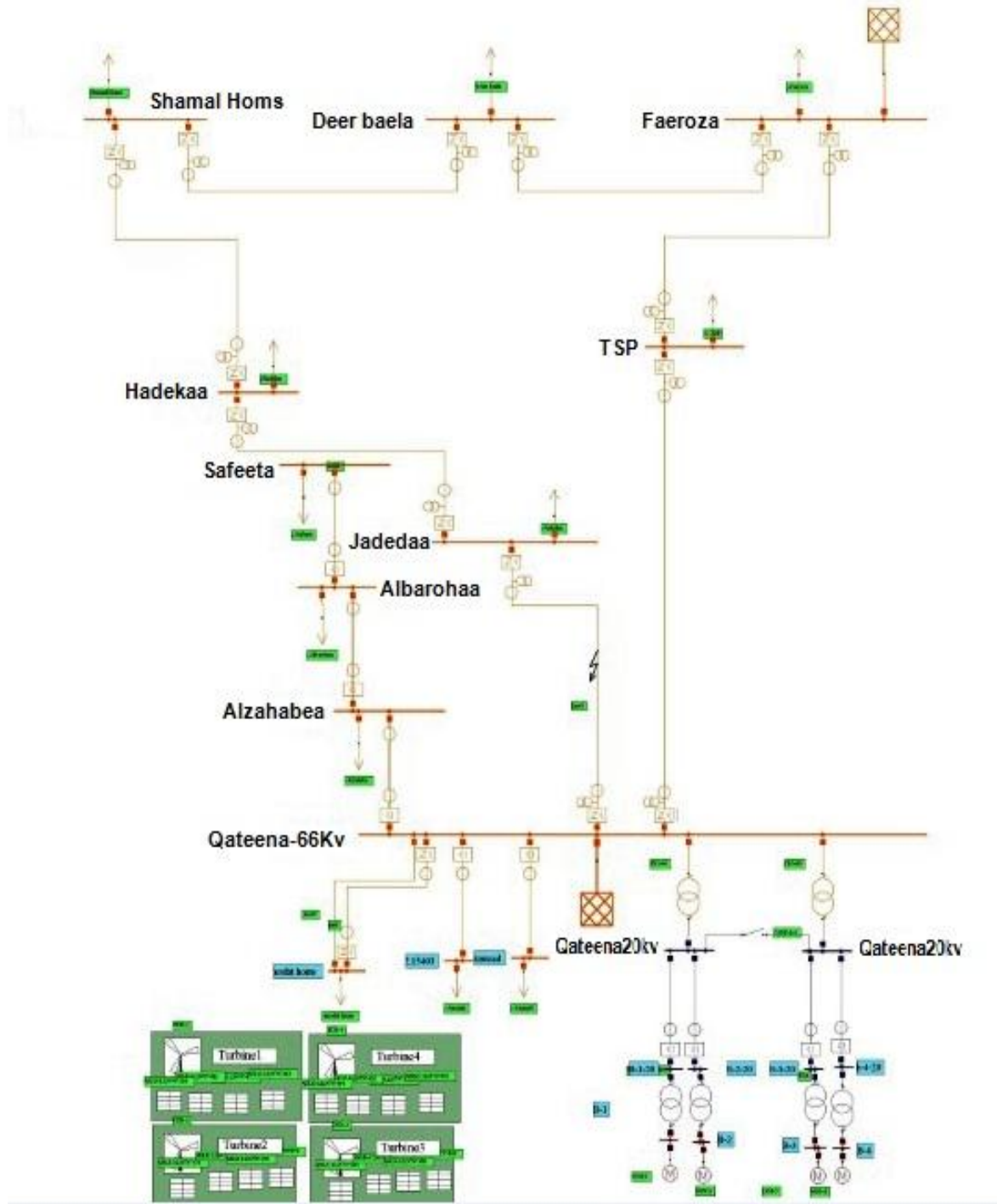
الشكل (٤-٢٩) تعبيرات الزمن لمناطق الحماية المسافية [10]

وبناءً على قيمة التعبيرات التي تم تحديدها تكون المميزات المضلعة للحاكمة المسافية المستخدمة موضحة بالشكل (٤-٣٠)



الشكل (٣٠-٤) المميزات المضلعة للحاكمة المسافية [10]

٤-٥ دراسة تأثير المزرعة الريحية في قطينة على سويات العطل في حالة الأعطال المختلفة [10]:



الشكل (٤-٣١) جزء من الشبكة الكهربائية لمنطقة حمص مربوط عليها مزرعة ريحية نمذجة باستخدام برنامج

[10] NEPLAN

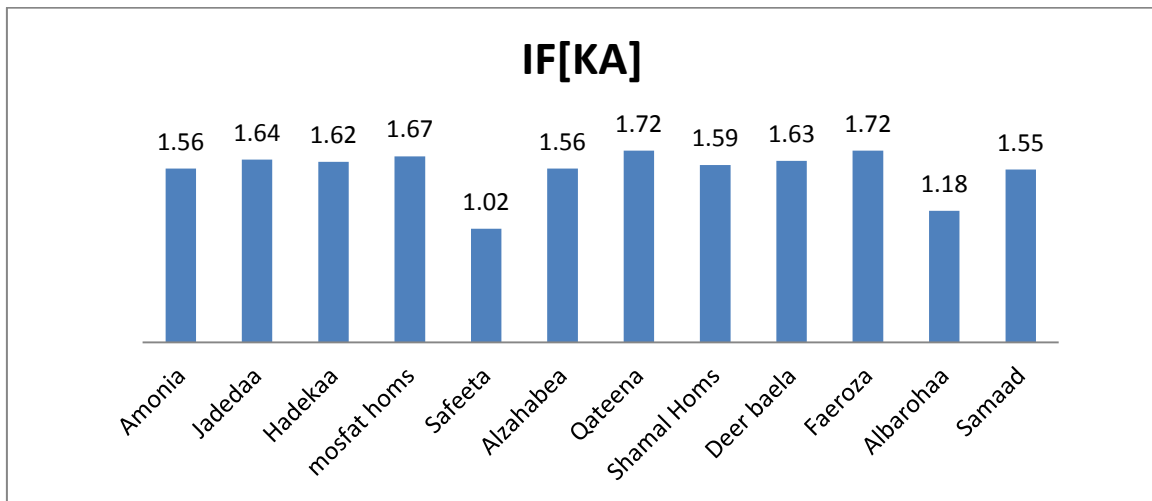
سنقوم الآن بدراسة تأثير إضافة المزرعة الريحية إلى الشبكة الكهربائية المضيفة في حالات الأعطال وفقاً للآتي:

٤-٥-١ حدوث أعطال متوازنة على كل قضيب من قضبان الشبكة (قبل إضافة المزرعة الريحية) [10]:

يتم حساب تيارات العطل لكافة قضبان التجميع باستخدام برنامج NEPLAN ، ويبين الجدول قيمة تيارات العطل لقضبان التجميع في الشبكة المدروسة.

الجدول (٤-١) تيار العطل لقضبان التجميع للشبكة المدروسة بدون توليد موزع [10]

BUSES	Un [KV]	Ik"(L1) [KA]	Ik"(L2) [KA]	Ik"(L3) [KA]	Sk"(L1) [KVA]	Sk"(L2) [KVA]	Sk"(L3) [KVA]
Samaad	66	1.556	1.556	1.556	177.926	177.926	177.926
Albarohaa	66	1.188	1.188	1.188	135.776	135.776	135.776
Shamal Homs	66	1.591	1.591	1.591	181.904	181.904	181.904
Deer baela	66	1.637	1.637	1.637	187.104	187.104	187.104
Faeroza	66	1.728	1.728	1.728	197.491	197.491	197.491
Qateena-66kV	66	1.726	1.726	1.726	197.304	197.304	197.304
Alzahabea	66	1.569	1.569	1.569	179.402	179.402	179.402
Safeeta	66	1.028	1.028	1.028	117.477	117.477	117.477
mosfat homs	66	1.674	1.674	1.674	191.39	191.39	191.39
Hadekaa	66	1.62	1.62	1.62	185.144	185.144	185.144
Amonia	66	1.56	1.56	1.56	178.283	178.283	178.283
Jadedaa	66	1.641	1.641	1.641	187.62	187.62	187.62



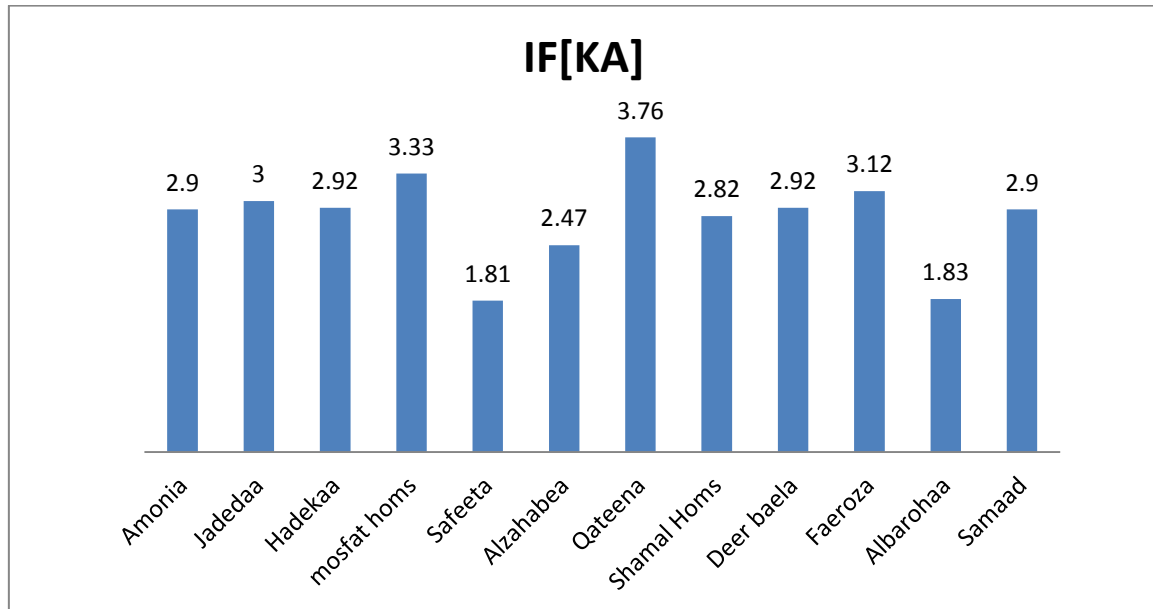
الشكل (٤-٣٢) تيارات العطل المتوازنة للشبكة المدروسة قبل إضافة التوليد الموزع بيانياً

٤-٥-٢ حدوث أعطال متوازنة على كل قضيب من قضبان الشبكة (بعد إضافة مزرعة ريحية باستطاعة MW ٥٠ إلى قضيب تجميع قطينة) [10]:

يتم حساب تيارات العطل لكافة قضبان التجميع باستخدام برنامج NEPLAN ، ويبين الجدول قيمة تيارات العطل لقضبان التجميع في الشبكة المدروسة بوجود توليد موزع.

الجدول (٤-١٥) تيار العطل لقضبان التجميع للشبكة المدروسة بوجود توليد موزع [10]

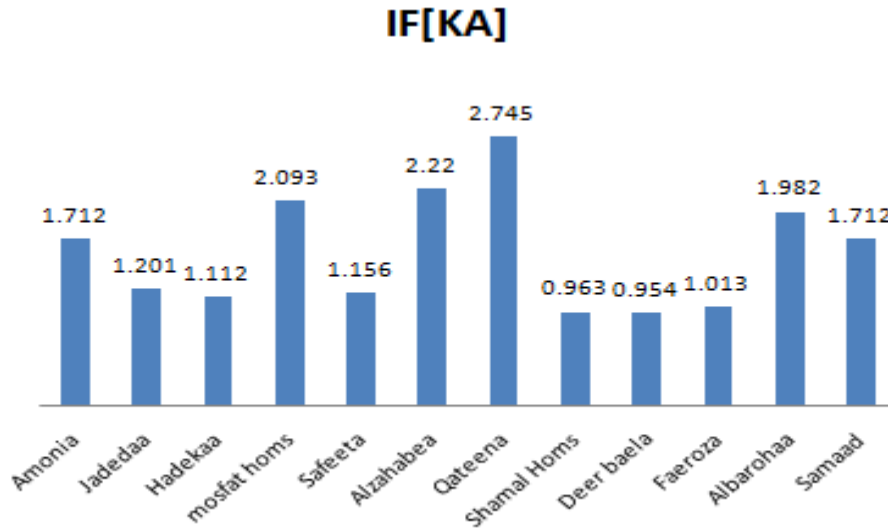
BUSES	Un [KV]	Ik"(L1) [KA]	Ik"(L2) [KA]	Ik"(L3) [KA]	Sk"(L1) [KVA]	Sk"(L2) [KVA]	Sk"(L3) [KVA]
Samaad	66	2.901	2.901	2.901	331.6	331.629	331.63
Albarohaa	66	1.834	1.834	1.834	209.7	209.686	209.69
Faeroza	66	3.12	3.12	3.12	356.7	356.68	356.68
Deer baela	66	2.922	2.922	2.922	334	333.986	333.99
Shamal Homs	66	2.829	2.829	2.829	323.4	323.356	323.36
Qateena-66kV	66	3.761	3.761	3.761	430	429.983	429.98
Alzahabea	66	2.478	2.478	2.478	283.3	283.259	283.26
Safeeta	66	1.811	1.811	1.811	207	207.01	207.01
mosfat homs	66	3.339	3.339	3.339	381.7	381.717	381.72
Hadekaa	66	2.928	2.928	2.928	334.7	334.703	334.7
Jadedaa	66	3.005	3.005	3.005	343.5	343.54	343.54
Amonia	66	2.906	2.906	2.906	332.2	332.188	332.19



الشكل (٤-٣٣) تيارات العطل المتوازنة للشبكة المدروسة بعد إضافة التوليد الموزع بيانياً

٤-٥-٣ حدوث عطل طور مع الأرض على كل قضيب من قضبان الشبكة (بعد إضافة مزرعة ريحية باستطاعة ٥٠ MW إلى قضيب تجميع قطينة) [10]:

يتم حساب تيارات العطل لكافة قضبان التجميع باستخدام برنامج NEPLAN، و لدينا نتائج حساب سويات العطل بيانياً.



الشكل (٤-٣) تيارات العطل الأحادي الطور للشبكة المدروسة بعد إضافة التوليد الموزع بيانياً

٤-٥-٤ أثر إضافة التوليد الموزع على تيارات الأعطال في الشبكة المدروسة [1]:

يتم حساب تزايد سوية العطل من خلال المؤشر FLRI مؤشر تزايد تيار العطل (Fault Level Rise Index) والمعروف بالعلاقة التالية:

$$FLRI \% = \frac{FL_{+DG} - FL_{-DG}}{FL_{-DG}} \times 100$$

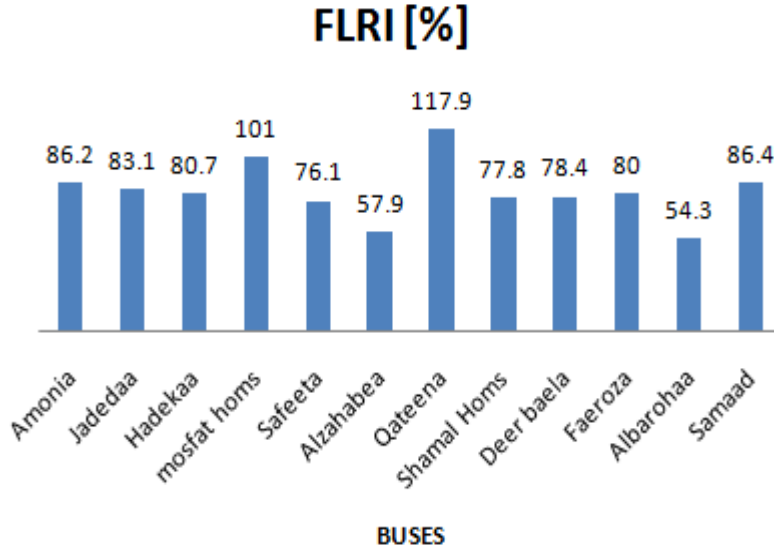
حيث:

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.

وبناءً على هذه العلاقة نقوم بحساب مؤشر تزايد سوية العطل على كل قضيب تجميع نتيجة إضافة التوليد الموزع، و تمثيل النتائج في الشكل (٤-٣٥) الذي يبين مقدار تزايد تيار العطل عند كل قضيب تجميع من قضبان الشبكة المدروسة نتيجة إضافة المولد الجديد.



الشكل (٤-٣٥) مؤشر تزايد سوية العطل للشبكة المدروسة

حيث نلاحظ من الشكل أن إضافة المزرعة الريحية باستطاعة 50[MW] أدت إلى زيادة قيمة تيار العطل على كافة قضبان التجميع وبنسب مختلفة حيث بلغت أكبر قيمة لمؤشر تزايد العطل على قضيب تجميع قطينة وهو نفس قضيب التجميع المربوط عليه المزرعة الريحية، أما بالنسبة لباقي قيم مؤشر تزايد العطل فإنها تختلف بين قضيب تجميع وآخر، وتتعلق قيمة هذا الاختلاف ببعد قضبان التجميع عن قضيب التجميع المربوط عليه نظام التوليد الموزع (قضيب تجميع قطينة). إن هذه الزيادة في قيمة تيار العطل تعتبر أحد مساوئ التوليد الموزع التي تظهر أثناء الأعطال.

٤-٦ دراسة تأثير المزرعة الريحية في قطينة على أداء الحماية الكهربائية [10]:

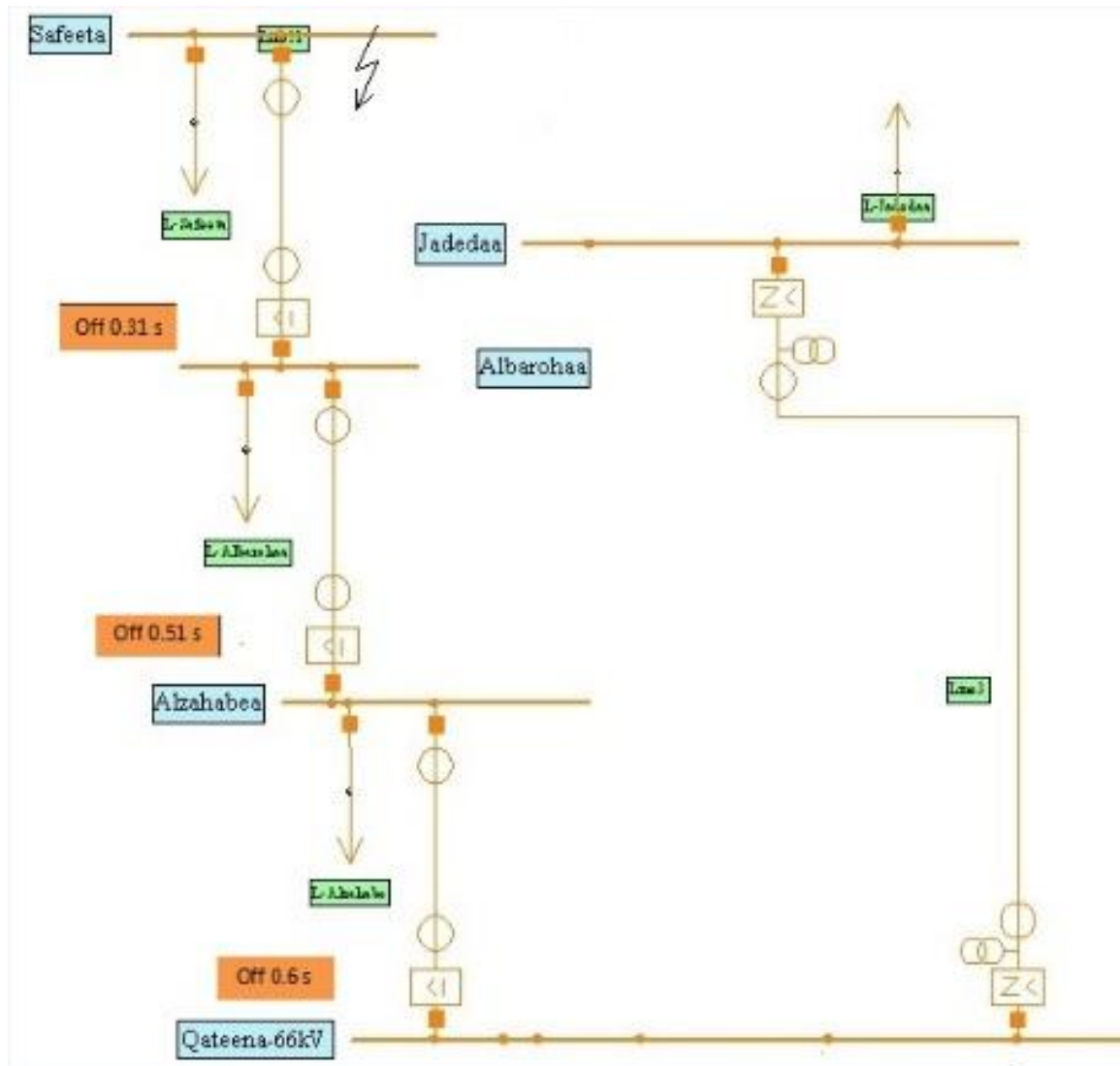
٤-٦-١ دراسة تأثير المزرعة الريحية في قطينة على أداء الحماية الكهربائية لزيادة شدة التيار الكهربائي:

سنقوم الآن بدراسة تأثير إضافة المزرعة الريحية إلى الشبكة الكهربائية المضيفة على أداء الحماية الكهربائية لزيادة شدة التيار الكهربائي وذلك عند حدوث عطل على قضيب التجميع (صافيتا)، وتم

اختيار العطل على قضيب تجميع صافيتا لبيان كيفية استجابة أكبر مجموعة من حواكم التيار لتيار العطل وذلك وفقاً للآتي:

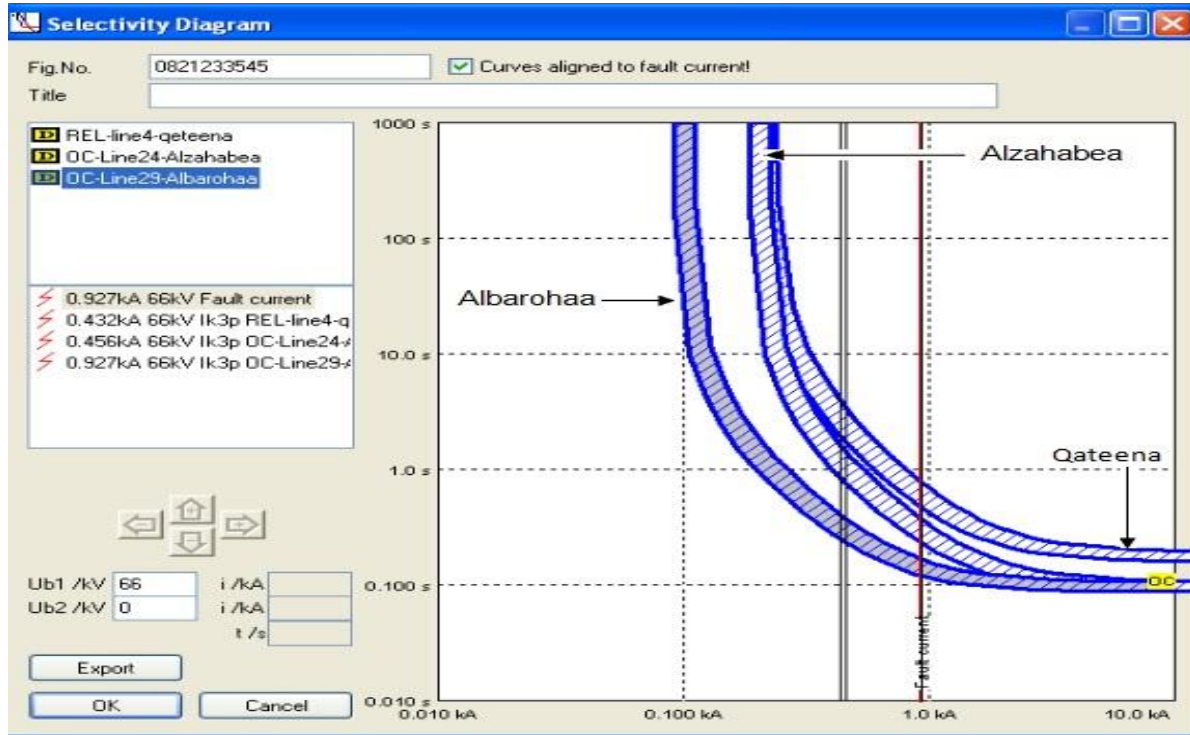
١ - عطل ثلاثي متوازن قبل إضافة المزرعة الريحية:

بفرض حدوث عطل ثلاثي متوازن على أحد قضبان التجميع وليكن (صافيتا) سنقوم بنمذجة العطل باستخدام برنامج NEPLAN، حيث يظهر الشكل (٤-٣٦) مكان تواضع العطل في الشبكة المدروسة وزمن عمل كل حاكمة من حواكم التيار (الباروحة، الذهبية، قطينة).



الشكل (٤-٣٦) عطل على قضيب التجميع صافيتا [10]

بينما تكون مميزات العمل لحمايات زيادة شدة التيار الكهربائي تابعة لكل من التيار و الزمن على كل من قضيب التجميع الباروحة، الذهبية وقطينة كما هي موضحة في الشكل (٤-٣٧)

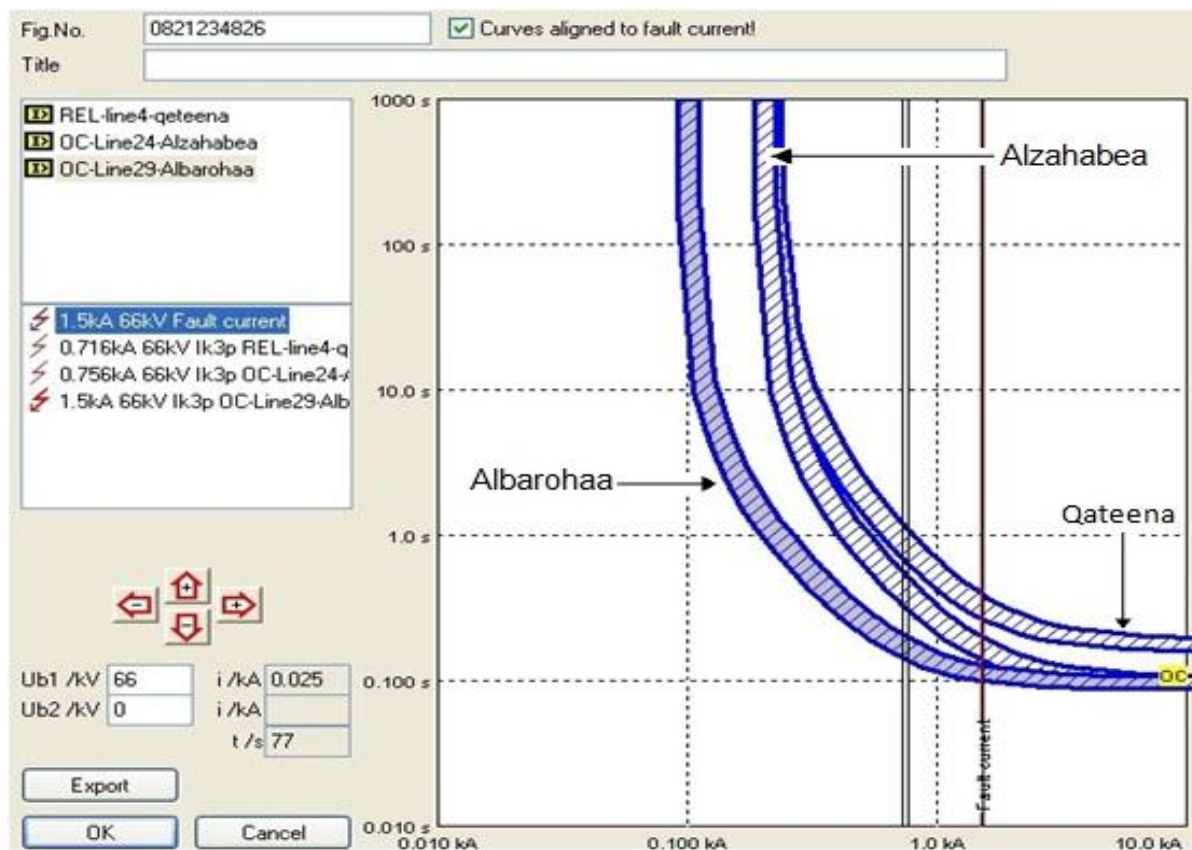


الشكل (٤-٣٧) منحنيات العمل لحمايات زيادة شدة التيار الكهربائي [10]

نلاحظ أنه عند حدوث عطل على قضيب التجميع صافيتا سوف تقوم الحماية الأساسية الموجودة على قضيب التجميع الباروكة بفصل العطل بأقصر زمن ممكن وفي حال فشلها سوف تعمل الحماية الموجودة على قضيب التجميع الذهبية كحماية احتياطية بزمن فصل أكبر من الأول. كما تعمل حماية زيادة التيار الموجودة على قضيب التجميع قطينة كحماية احتياطية أخرى تفصل في حال فشل عمل كلاً من الحمايتين الأولى والثانية وبزمن فصل أكبر من كلاهما.

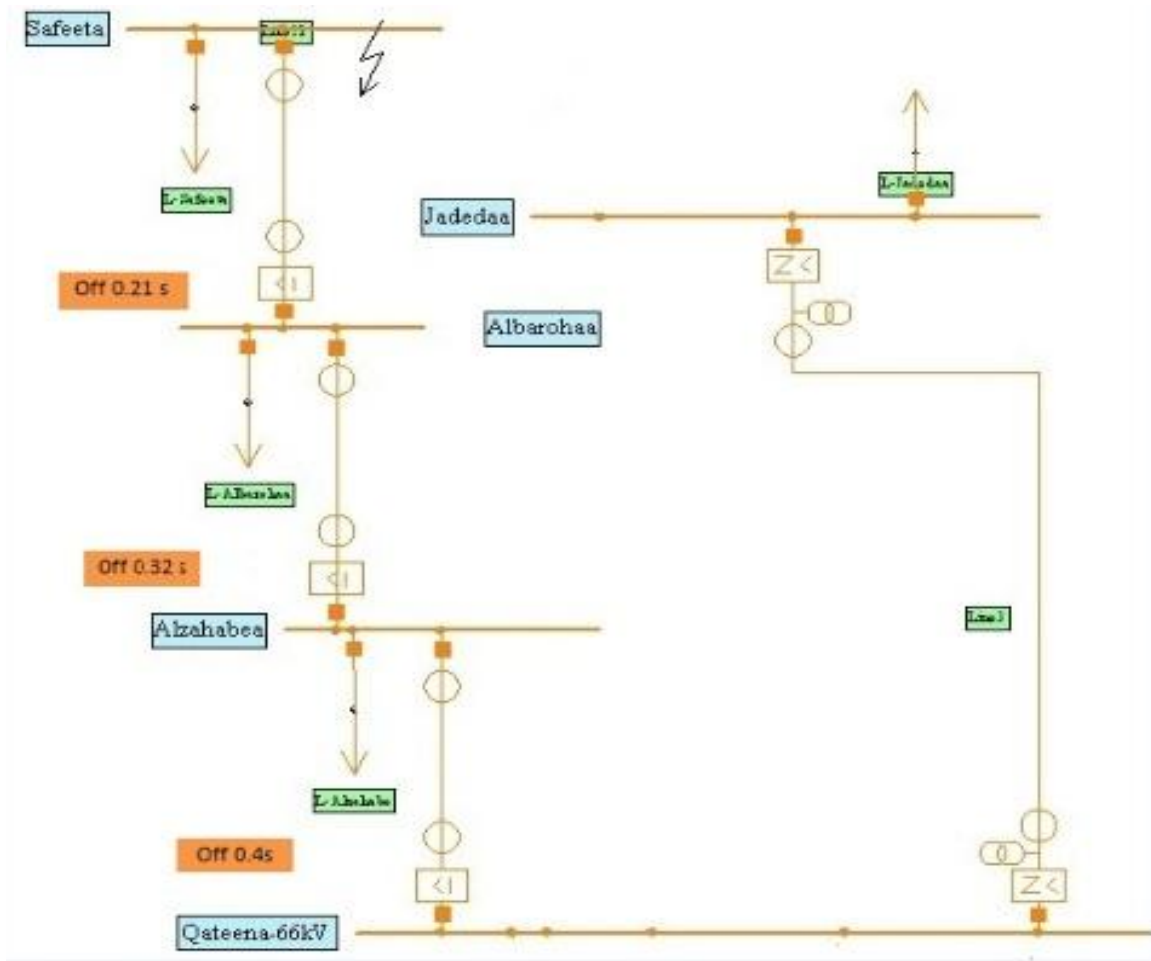
٢- عطل ثلاثي الطور متوازن بعد إضافة المزرعة الريحية:

بإضافة مزرعة ريحية باستطاعة ٥٠ MW إلى قضيب تجميع قطينة وبفرض حدوث عطل ثلاثي متوازن على قضيب التجميع (صافيتا) وبنمذجة العطل المذكور باستخدام برنامج NEPLAN، يظهر لدينا مميزات العمل لحمايات زيادة شدة التيار الكهربائي تابعة لكل من التيار و الزمن على كل من قضيب التجميع الباروكة، الذهبية وقطينة كما هي موضحة في الشكل (٤-٣٨).



الشكل (٣٨-٤) منحنيات العمل لحمايات زيادة شدة التيار الكهربائي [10]

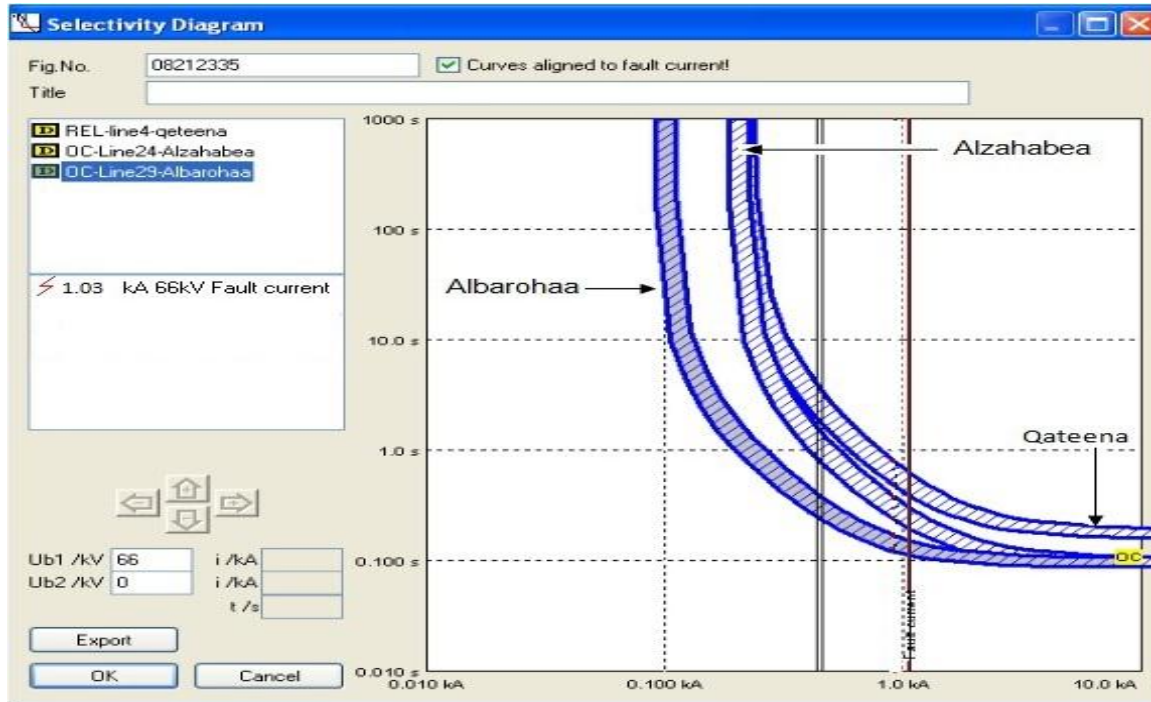
أما بالنسبة لأزمنة عمل الحواكم تكون كما هي موضحة بالشكل التالي:



الشكل (٤-٣٩) أزمنة عمل الحواكم عند حدوث عطل متوازن بوجود مزرعة ريحية [10]

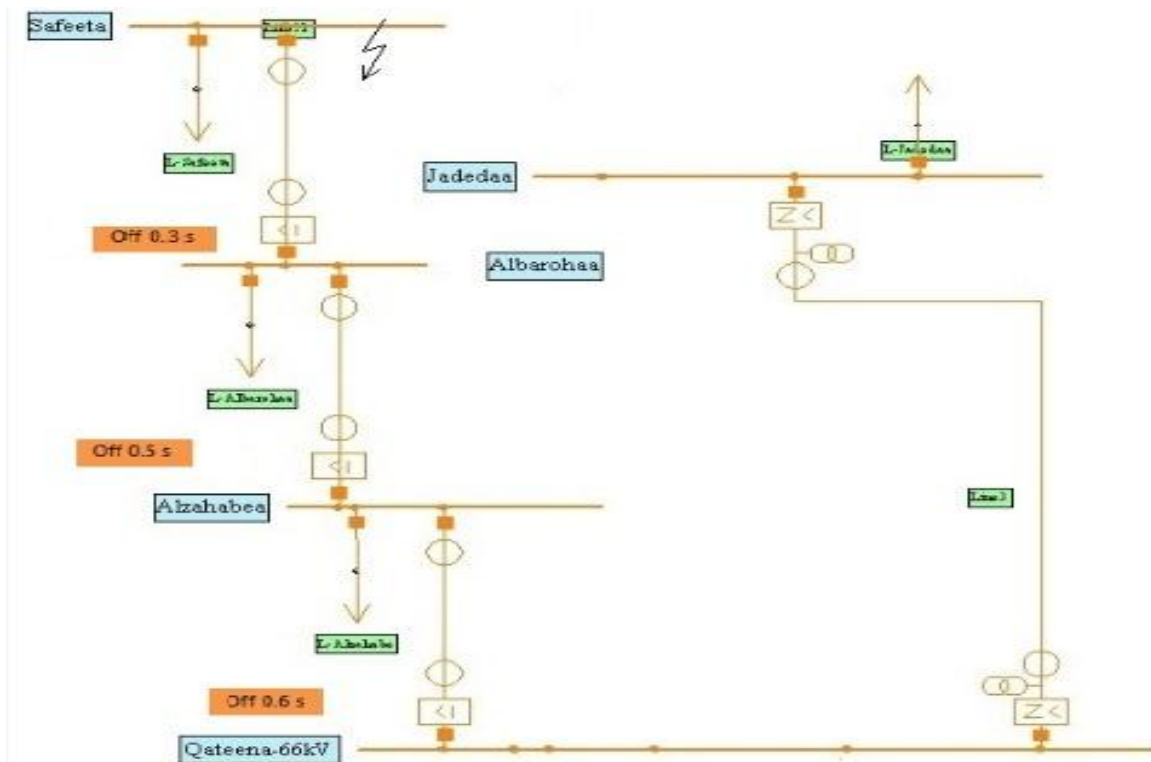
٣- عطل طور مع الأرض بعد إضافة المزرعة الريحية:

بإضافة مزرعة ريحية باستطاعة ٥٠ MW إلى قضيب تجميع قطينة وبفرض حدوث عطل طور مع الأرض على قضيب التجميع (صافيتا) وبمنذجة العطل المذكور باستخدام برنامج NEPLAN، يظهر لدينا مميزات العمل لحمايات زيادة شدة التيار الكهربائي تابعة لكل من التيار و الزمن على كل من قضيب التجميع الباروحة، الذهبية وقطينة كما هي موضحة في الشكل (٤-٤٠).



الشكل (٤-١٠) منحنيات العمل لحمايات زيادة شدة التيار الكهربائي [10]

أما بالنسبة لمكان توضع العطل وزمن عمل الحواكم تكون موضحة بالشكل التالي:



الشكل (٤-١١) أزمنة عمل للحواكم عند حدوث عطل طور مع الأرض بوجود مزرعة ريحية [10]

مما سبق يتبين أنه عند حدوث عطل على قضيب التجميع صافيتا وذلك بوجود مزرعة ريحية باستطاعة ٥٠ MW مربوطة على قضيب التجميع قطينة:

١- ستكون قيمة تيار العطل أكبر من القيمة التي كانت عليها عند حدوث ذات العطل قبل إضافة المزرعة الريحية.

٢- تدرج عمل الحماية الموجودة على قضبان التجميع (الباروحة، الذهبية، قطينة) لم يتغير عما كان عليه قبل إضافة المزرعة الريحية. ولكن زمن فصل الحماية انخفض مع ازدياد تيار العطل. كما هو موضح بالجدول التالي:

الجدول (٤-١٦) قيمة تيار العطل وأزمنة عمل الحواكم في الحالات المدروسة

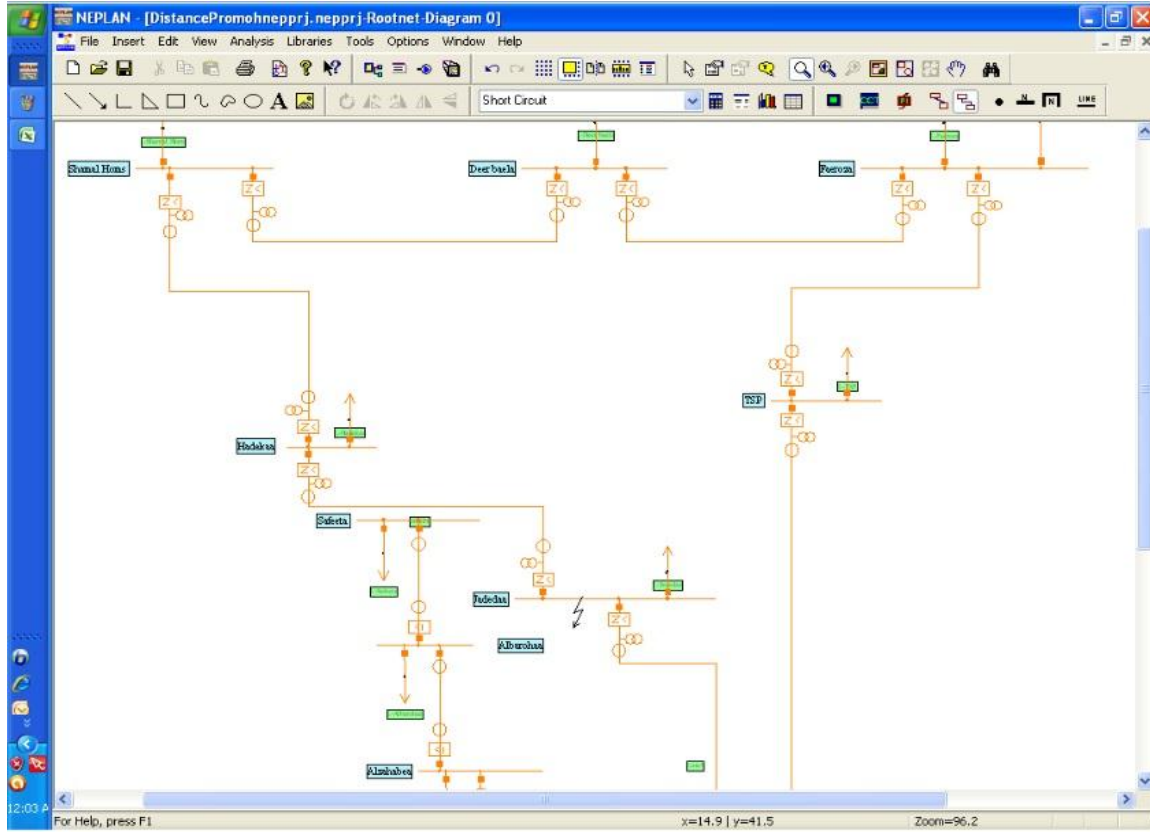
الحالة	ISC [KA]	زمن فصل الحماية على قضيب التجميع الباروحة [S]	زمن فصل الحماية على قضيب التجميع الذهبية [S]	زمن فصل الحماية على قضيب التجميع قطينة [S]
3ph with out DG	1.02	0.31	0.51	0.6
3phwith DG	1.81	0.21	0.32	0.4
SLGwith DG	1.15	0.3	0.5	0.6

٤-٦-٢ دراسة تأثير المزرعة الريحية في قطينة على أداء الحماية المسافية:

سنقوم الآن بدراسة تأثير إضافة المزرعة الريحية إلى الشبكة الكهربائية المضيفة على أداء الحماية المسافية وذلك عند حدوث عطل على قضيب التجميع (الجديدة) وفقاً للآتي:

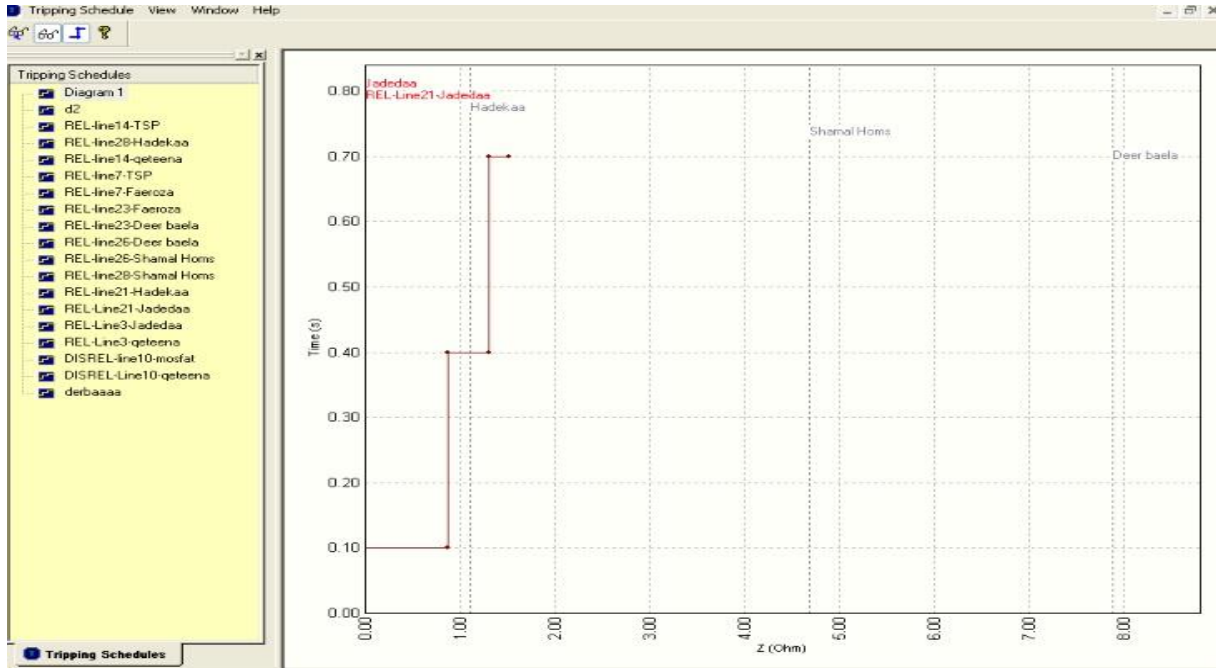
١- قبل إضافة المزرعة الريحية:

بفرض حدوث عطل ثلاثي متوازن على أحد قضبان التجميع وليكن (الجديدة) سنقوم بنمذجة العطل باستخدام برنامج NEPLAN، حيث يظهر الشكل (٤-٤٢) مكان توضع العطل في الشبكة المدروسة

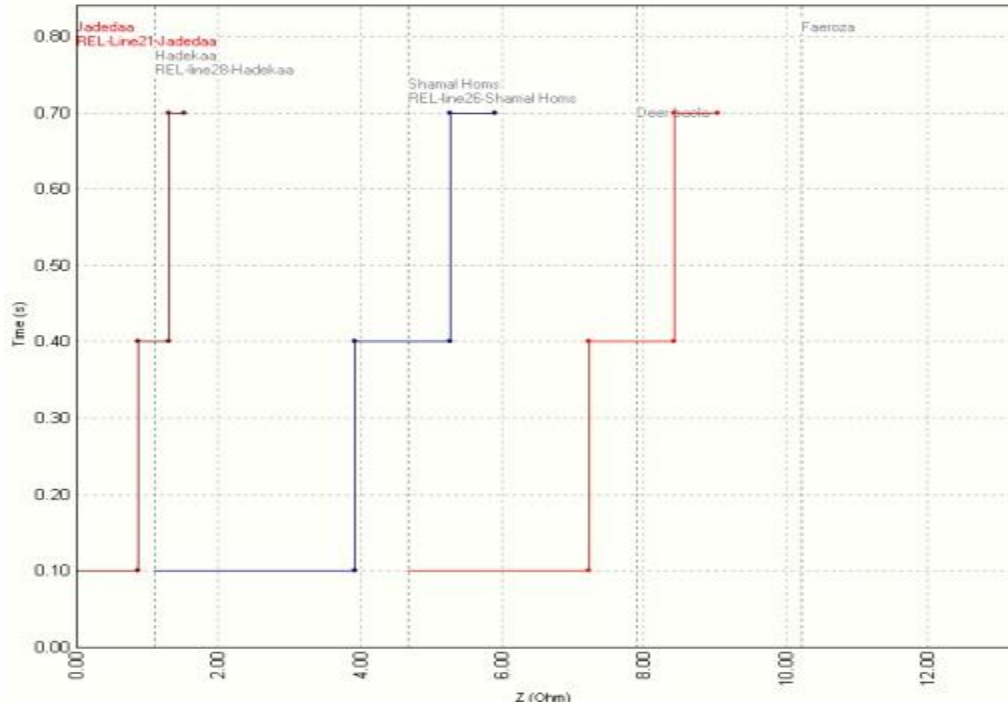


الشكل (٤-٢) عطل على قضيب التجميع الجديدة [10]

بينما تكون مناطق الحماية المسافية الموجودة على قضيب التجميع الجديدة تابعة لكل من ممانعة الخط و الزمن كما هي موضحة في الشكل (٤-٣)



الشكل (٤-٣) مناطق الحماية المسافية للحماية الموجودة على قضيب التجميع الجديدة [10]

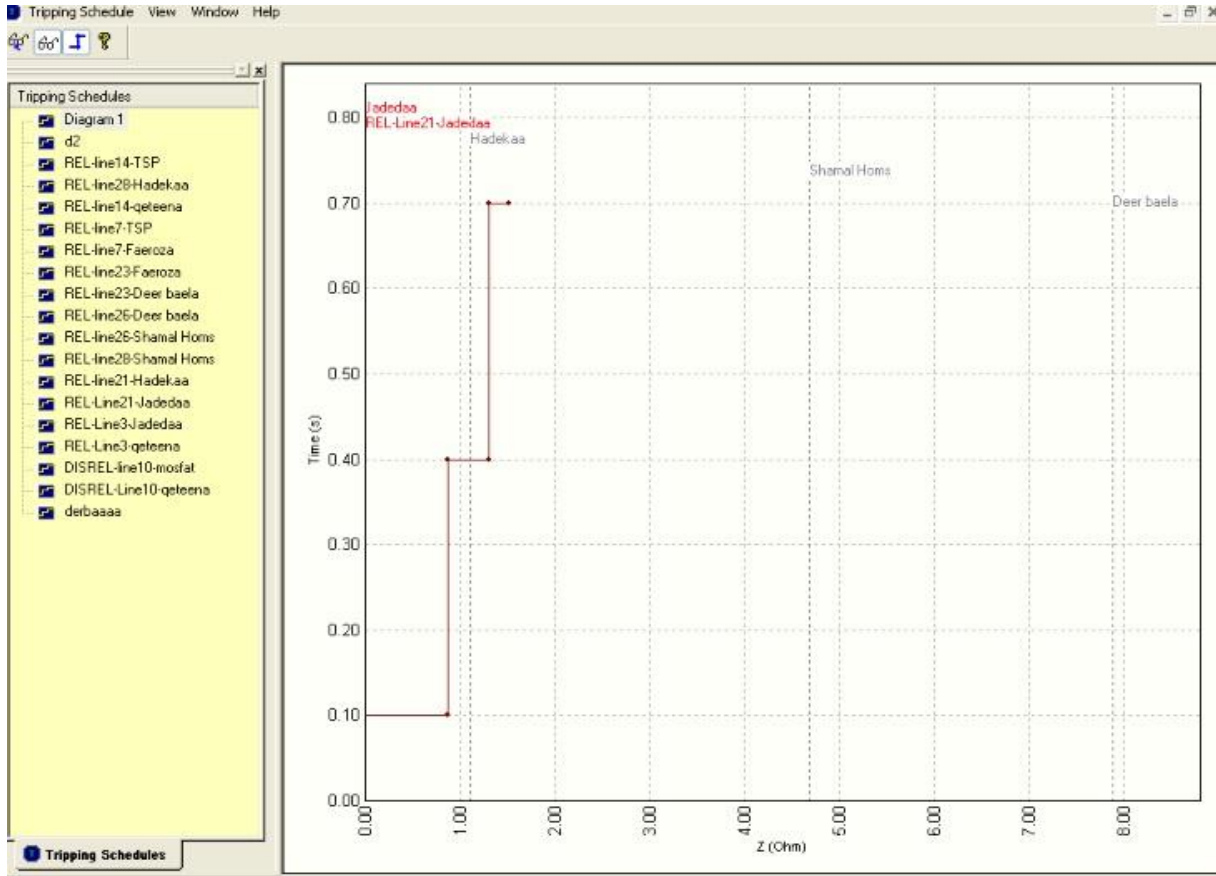


الشكل (٤-٤) مخطط تدرج مناطق الحماية الموجودة على الخط المعطل [10]

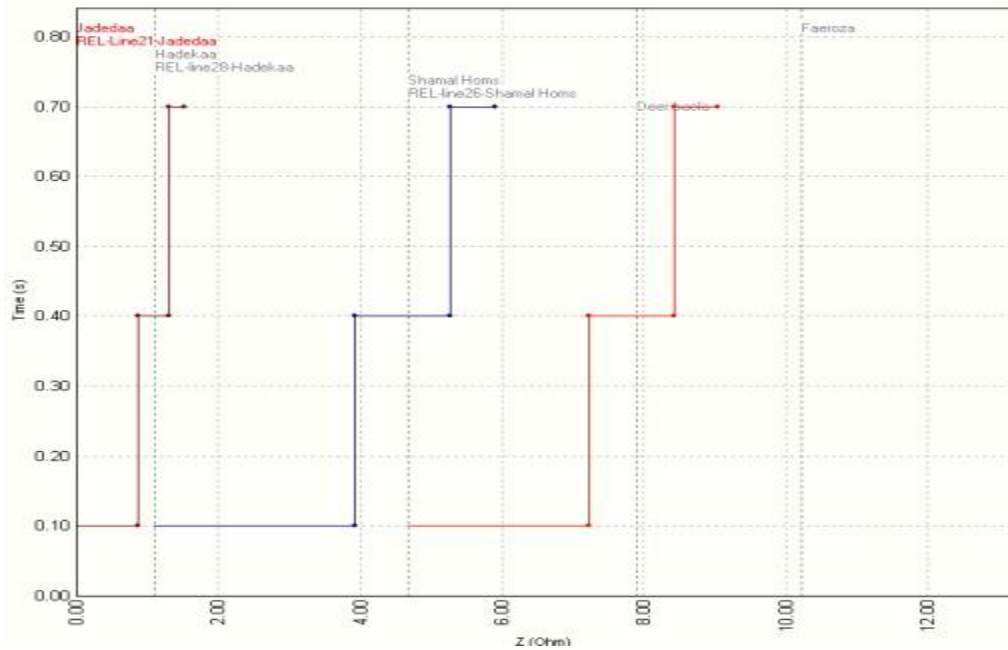
نلاحظ أنه عند حدوث عطل على قضيب التجميع الجديدة سوف تقوم الحماية الأساسية الموجودة على قضيب التجميع الجديدة بفصل العطل من خلال عمل الحاكمة بالمنطقة الأولى لتعابير الحماية وفي حال الفشل سوف تعمل قضيب التجميع الحديثة سوف تعمل من خلال المنطقة المعاييرة الأولى.

٢- بعد إضافة المزرعة الريحية:

بإضافة مزرعة ريحية باستطاعة ٥٠ MW إلى قضيب تجميع قطينة وبفرض حدوث عطل ثلاثي متوازن على قضيب التجميع (الجديدة) وبمنمجة العطل المذكور باستخدام برنامج NEPLAN، تكون مناطق الحماية المسافية الموجودة على قضيب التجميع الجديدة تابعة لكل من ممانعة الخط و الزمن موضحة في الشكل (٤-٥)



الشكل (٤-٥) مناطق الحماية المسافية للحماية الموجودة على قضيب التجميع الجديدة [10]



الشكل (٤-٦) مخطط تدرج مناطق الحماية الموجودة على الخط المعطل [10]

مما سبق يتبين أنه عند حدوث عطل على قضيب التجميع صافيتا وذلك بوجود مزرعة ريحية باستطاعة ٥٠ MW مربوطة على قضيب التجميع قطينة تبين أن معايرة الحماية المسافية الموجودة ضمن الشبكة لا تتأثر بإضافة المزرعة الريحية لأن معايرة مناطق الحماية فيها تعتمد فقط على طول خطوط النقل وممانعتها. إلا أن الزيادة في قيمة تيار العطل الناتج عن إضافة المزرعة الريحية ممكن أن تغيير في تعبير حماية زيادة التيار الموجودة في الحماية المسافية نفسها ولكن في الواقع العملي للشبكة السورية لا يتم معايرة هذا الخيار الموجود في الحماية المسافية المستخدمة.

الفصل الخامس

النتائج العامة والتوصيات

٥-١ النتائج العامة:

نتيجة لتزايد اختراق نظم التوليد الموزع بأنواعها المختلفة لشبكة توزيع القدرة الكهربائية وما يسببه في زيادة التعقيد لهذه الشبكات فكان لابد من التطرق إلى نظم التوليد الموزع من كافة جوانبه وتم في هذا البحث مايلي:

- تحديد شروط الربط والقيم الحدية المسموح بها في نظم التوليد الموزع للتأثير على جودة التغذية الكهربائية.
- تبين أنه عند إضافة نظام توليد موزع (مزرعة ريحية باستطاعة ٥٠ ميغ واط) إلى الشبكة الكهربائية المدروسة، فإن قيمة تيار العطل زادت بشكل كبير وتتعلق هذه الزيادة باستطاعة ومكان ربط المزرعة الريحية مع الشبكة المضيفة.
- معايرة الحمائيات المسافية الموجودة ضمن الشبكة لا تتأثر بإضافة المزرعة الريحية لأن معايرة مناطق الحماية فيها تعتمد فقط على طول خطوط النقل وممانعتها. وتبين ذلك نتيجة إجراء دراسة تحليلية لمعايرة الحمائيات المسافية المتوضعة على جزء من شبكة توزيع منطقة حمص وقضبان التجميع المجاورة لها على التوتر 66Kv وذلك قبل وبعد اضافة مزرعة ريحية باستطاعة (٥٠) ميغا واط.
- إن زمن فصل الحماية من زيادة شدة التيار الكهربائي المعايير عليها قبل اضافة المزرعة الريحية سوف ينخفض نتيجة ارتفاع تيار القصر بعد ربط المزرعة الريحية مع الشبكة الكهربائية. وتبين ذلك نتيجة إجراء دراسة تحليلية لمعايرة الحمائيات من زيادة شدة التيار المتوضعة على جزء من شبكة توزيع منطقة حمص وقضبان التجميع المجاورة لها على التوتر 66kv وذلك قبل وبعد اضافة مزرعة ريحية باستطاعة (٥٠) ميغا واط.
- من الناحية العملية إرتفاع قيمة تيار العطل بنسبة معينة ممكن أن لا تؤثر على أداء عمل الحماية لأن قيمة تيار عمل الحماية تتم معايرته حسب تيار القصر الأصغري والذي يكون عادة أكبر بقليل من تيار الحمل الاسمي، إلا أنه عندما تزداد استطاعة المزرعة الريحية إلى قيمة كبيرة سوف يؤدي ذلك إلى زيادة كبيرة في تيارات العطل وعندها يجب إعادة تعيير الحمائيات من زيادة شدة التيار الكهربائي الموجودة في الشبكة، وإهمال هذه التيارات يمكن أن يؤدي إلى انهيار بعض عناصر نظام القدرة الكهربائي وخروجه عن الخدمة

٥-٢ التوصيات:

- نظراً لصدور قانون الكهرباء رقم ٣٢ لعام ٢٠١٠ والذي نص على السماح للقطاع العام وللقطاع المشترك وللقطاع الخاص الوطني والمحلي والعربي والاجنبي بالاستثمار في مجالي التوليد والتوزيع، والترخيص للراغبين من القطاع الخاص بالاستثمار في مجالات التوليد والتوزيع ومنح التصاريح للتوليد الذاتي والاحتياطي وخاصة في مجال الطاقات المتجددة. فلا بد من اصدار قواعد وشروط ربط مشاريع التوليد الموزع على شبكة التوزيع.
- دراسة استطاعة الشبكات المضيفة واستطاعة الأحمال لها بشكل دقيق لتحديد استطاعة أنظمة التوليد الموزع الممكن ربطها على هذه الشبكات.
- إعادة دراسة واختبار القواطع الآلية المستخدمة في الشبكة السورية واستبدال القواطع القديمة بقواطع آلية حديثة قادرة على الاستجابة السريعة للأوامر الصادرة عن الحماية بفصل الأعطال بالزمن المناسب دون أن يلحق بالشبكة أي ضرر ناتج عن الظواهر المرافقة للعطل وذلك لأن كامل أمان منظومة القدرة السورية يعتمد على هذه القواطع.
- الاستفادة من كامل الامكانيات والميزات الموجودة في الحماية الكهربائية وخاصة الحديثة منها لضبط أية أعطال اضافية ممكن أن تظهر نتيجة دخول أنظمة التوليد الموزع للشبكة الكهربائية.
- العمل على تشجيع كافة المشتركين الذين يقومون باستثمار الكهرباء على التوتر المتوسط او المنخفض بتركيب أنظمة توليد موزعة لديهم تعمل بالطاقات المتجددة، ولاسيما أن قانون الكهرباء قد أجاز للمشاركين بالاستثمار في هذا المجال اضافة إلى صدور نشرة الأسعار التشجيعية لشراء الكهرباء المنتجة من مصادر الطاقات المتجددة.

المراجع العربية والأجنبية

- [1]. علي حمزة "تكامل التوليد الموزع في أنظمة التوزيع الكهربائية"، منشورات جامعة دمشق ٢٠١٠-٢٠١١
- [2]. لانا كنجو، رامي جورج "تطبيقات الطاقة الشمسية الحرارية" - جامعة تشرين.
- [3]. علي حمزة - حسان سويدان "نظم القدرة الكهربائية- جريان الحملات والأعطال الكهربائية" - جامعة دمشق ٢٠٠٧-٢٠٠٨.
- [4]. سميح الجابي، خالد زيدان "حمايات نظم القدرة الكهربائية" - جامعة دمشق.
- [5]. محمود جيلاني "نظم الحماية الكهربائية"، كلية الهندسة - جامعة القاهرة، ٢٠٠٦.
- [6]. المكتب الاستشاري decon "دراسات جدوى أولية لكافة مواقع الرياح في سورية".
- [7]. اللجنة الوطنية لدراسة الطاقة "دراسة استراتيجية الطلب والتزود الأمثل بالطاقة في سورية لغاية 2030"، رئاسة مجلس الوزراء ٢٠١١.
- [8]. بيانات من المركز الوطني لبحوث الطاقة NERC "المزرعة الريحية في قطينة" May-2010
- [9]. شركة (EMD International A/S) "تقنية تحديد توزع عنفات الرياح و حساب الإنتاج الإجمالي للطاقة الكهربائية المتوقع انتاجها من المزرعة في برنامج Wind Pro"، الإصدار (2.7) 2010.
- [10]. "تقنية حساب تيار العطل وتعيير تنسيق الحمايات الكهربائية في برنامج NEPLAN".
- [11]. بيانات من مديرية التشغيل والاستثمار - دائرة التنسيق - شعبة الدراسات والتطوير الفني وتبادل الطاقة، دمشق ٥-٤-٢٠١١.
- [12]. بيانات ذروة الحمل من مديرية التشغيل والاستثمار - دائرة التنسيق - شعبة الدراسات والتطوير الفني وتبادل الطاقة، دمشق ٣٠-١٢-٢٠١٠.
- [13]. خالد زيدان "حلقات بحث ومشاريع التخرج لطلاب قسم هندسة الطاقة الكهربائية"، جامعة دمشق.

- [14]. أطلس الرياح في سوريا، ١٩٩٨.
- [15]. المركز العربي للتعريب والترجمة والتأليف والنشر "نظم الطاقات المتجددة التكنولوجيا- الحسابات " دمشق - سوريا، ٢٠٠٤.
- [16]. Bin Huang: " Stability of Distribution Systems with a Large Penetration of Distributed Generation", Universität Dortmund, 2006.
- [17]. Natthaphob Nimpitiwan Gerald Heydt: "Consequences of Fault Currents Contributed by Distributed Generation ", Power Systems Engineering Research Center, June 2006.
- [18]. Umar Naseem Khan "Impact of Distributed Generation on Electrical Power Network ".
- [19]. G.B. Gharehpetian , Farhad Shahnia , Faculty of Electrical Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran Eastern Azarbayjan Electric Power Distribution Company, Tabriz, Iran" Short Circuit Fault Transient Studies of Power Distribution Systems Including Dispersed Generation".
- [20]. Thomas Ackermann, Göran Andersson, Lennart Söder "Distributed generation: a definition", Electric Power Systems Research (2001).
- [21]. N. KASMAS, S. PAPATHANASSIOU, A. KLADAS: "Evaluation of the Distributed Generation Effect on the Power Quality of the Grid ", School of Electrical and Computer Engineering National Technical University of Athens.
- [22]. Resource Dynamics Corporation February "Assessment of Distributed Generation Technology Applications" Prepared for: Maine Public Utilities Commission, 2001.
- [23]. BP Statistical Review of World Energy June 2012.
- [24]. Natural Resources Canada (NRCan) "PROTECTION COORDINATION PLANNING WITH DISTRIBUTED GENERATION" June 2007.
- [25]. IEEE Application Guide for IEEE STD 1547™, "IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems" Approved 10 December 2008.

- [26]. Protection of Electrical Networks First published in Great Britain and the United States in 2006 by ISTE Ltd.
- [27]. ABB , Distance Protection.
- [28]. Distributed Generation: System Interfaces An Arthurd. Little White Paper 1999.
- [29]. Ali Keyhani : " Integration of Green Energy in Distributed Generation Systems ", Professor of Electrical and computer Engineering Ohio State University, Columbus Ohio.
- [30]. ZTE Corporation "Feasibility Analysis of PV Power System in Syria" Ministry of Electricity 2011.
- [31]. M. M. El-Saadawi "Impact of Distributed Generation on Coordination of Protective Devices" Dept. of Electrical Engineering, Mansoura University.
- [32]. Dieter Deublein, Angelika Steinhauser; "Biogas from waste renewable resources"; ISBN 2008.
- [33]. Kari Mäki, Sami Repo, Pertti Järventausta; "Network Protection Impacts of Distributed Generation – A Case Study on Wind Power Integration "; NORDIC WIND POWER CONFERENCE, 22-23 MAY, 2006, ESPOO, FINLAND.

Abstract:

electrical power through the high and medium voltage grids to the end user by the low-level voltage substations, while the distributed generation systems required more efficient distribution grids which allow to transfer the electrical power to the following directions:

- 1- First direction: to the end users for the purpose of consumption.
- 2- Second direction: to the grid which is happen when the end user injects the electrical power to the grid.

This new grid's conditions imposes some technical effects that it might be positive, negative or neutral , such as the power electric quality, fault level, reliability, stability, protection, and the personnel safety.

However, it's expected for this technique to take an active and growing role in the power generation in the near future, especially those technologies which use renewable energies in power generation.

We presented through this research an overview on the main power generators used in the distributed generation and on the main technical effects which been made by the distributed generation on the distribution system such as the electrical quality, fault level and the stability.

In addition to study the connecting mechanism between the distributed generation resources and the distribution grids taking into consideration the protection system, so that we made a comparison study of protection of the electrical transfer lines for a part of Homs city grid before and after adding distributed generation resource (50 MW wind farm), and we have simulated that over mentioned case using the NEPLAN software.

In addition to achieve a detailed study of the effect of adding the wind farm on the fault levels and to coordinate the protective devices particularly the distance relay, and the over current relay and to study the ability of regular protective system to operate in the existence of distributed generation units.

**Syrian Arab Republic
Damascus University
Faculty of Mechanical and Electrical
Engineering
Power Engineering Department**



Electrical protection systems for distributed generation systems

**Thesis Prepared for Master's Degree in Electrical Power
Engineering Department**

**Prepared By:
Eng. Wasim alsabbagh**

**Supervised by
Dr. kh.Zidan**

**Academic Year
2012-2013**