التحكم في استقرارية الجهد لشبكة توزيع القدرة الكهربائية باستخدام محول مغير للجهد عند التحميل

د. مصطفى علي الشريف

د. أحمد عبد الحميد بعيو

كلية الهندسة - جامعة مصراتة

أ. عبد اللّه مصطفى بن غزي

كلية التقنية الصناعية - مصراتة

الملخص:

يزداد الطلب على استهلاك الطاقة الكهربائية بصورة كبيرة؛ وذلك نظراً للتوسع العشوائي في إنشاء المجمعات السكنية والتجارية والازدياد الكبير في حجم الأنشطة التجارية والصناعية والخدمية. هذا التوسع الغير منظم والغير مدروس سبب في ظهور مشاكل هبوط الجهد في شبكة الكهرباء الليبية، والذي بدوره يشكل عاملا أساسيا في الانقطاع المنتظم في تزويد الطاقة الكهربائية، وقد يؤدي في المدى البعيد إلى انهيار في شبكة التوزيع العامة الليبية. في هذا السياق، يهدف هذا البحث إلى محاكاة جزء من شبكة توزيع 11 كيلو فولت الحقيقية لمنطقة وسط المدينة لمدينة مصراتة باستخدام برنامج (MatlapSimpower) في الحالة الطبيعية وفي حالة وجود محول مغير الجهد، ومن ثم عرض النتائج والاستنتاجات التي تم الحصول عليها، والتي تمثلت في إمكانية معرفة مدى تغير مستويات الجهد بالشبكة المتوقعة بعد سنتين، وإمكانية استخدام محول مغير الجهد للتغلب على مشاكل الهبوط في شبكة توزيع 11 كيلو فولت لشبكة وسط المدينة بمدينة مصراتة، والحفاظ على مستويات الجهد بها عند المستوى المطلوب باستخدام محول مغير الجهد. ويخلص هذا العمل بالتوصية لدراسة إمكانية المحافظة

على مستويات الجهد ضمن (±6%) من الجهد المرجعي بالشبكة عند الأحمال المستقبلية لفترة طويلة المدى (10 سنين مثلا) وكذلك دراسة إمكانية دمج محولات القدرة مع مولد عند المستوى 11 كيلو فولت في حالة تجاوز محول مغير الجهد لكافة خطواته بالرغم من الحاجة إلى زيادة الجهد.

الكلمات المفتاحية:

هبوط مستوي الجهود، الأحمال المستقبلية، شبكة توزيع القدرة الكهربائية 11 كيلو فولت بمدينة مصراتة، محول مغير الجهد عند التحميل.

1- المقدمة:

تشهد ليبيا زيادة كبيرة في الأحمال على شبكات نقل وتوزيع القدرة الكهربائية الليبية بمعدل (6-8%) لكل سنة من الأحمال الحالية، حيث وصلت الأحمال إلى (5.8 قيقا وات) في سنة 2010، ويتوقع بأن تصل إلى (8 قيقا وات) في سنة 2020[1]. الاستمرار في زيادة الأحمال في ليبيا سيؤدي حتما إلى زيادة في مستوى هبوط الجهود في شبكات نقل وتوزيع القدرة الكهربائية، والتي قد تؤدي إلى انهيار في شبكة نظام القدرة الكهربائية. هنالك عدة طرق تستخدم للتغلب على مشاكل هبوط الجهد في أنظمة القدرة الكهربائية من أهمها معوضات القدرة الغير فعالة، ومنظم الجهد التلقائي، والحاكم في مولدات التوزيع، ومحولات مغير الجهد عند الحمل[2،3]. وبالتالي يمكن استخدام إحدى هذه الطرق للتغلب على مشاكل الهبوط في مستوي الجهد في شبكات وأنظمة القدرة الكهربائية في ليبيا. ونظراً لوجود محول مغير للجهد عند الحمل في شبكات توزيع القدرة الكهربائية بمدينة مصراتة سوف يتم دراسة كيفية التغلب على مشاكل الهبوط في مستوي الجهد في شبكة توزيع 11 كيلو فولت لوسط مدينة مصراتة باستخدام محولات مغير الجهد عند الحمل[4 ،5].

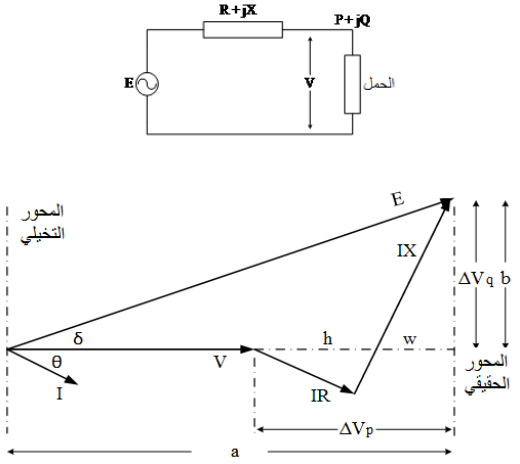
2- حساب هبوط الجهد في شبكات القدرة الكهربائية:

عند ملاحظة وتتبع تغير الجهد في العديد من شبكات القدرة الكهربائية، خصوصاً تلك التي تشتغل في مستويات الجهد المنخفضة، نجد أن شبكات القدرة الكهربائية التي تغدي الأحمال على مسافات طويلة وعند معامل قدرة سيئ أو ضعيف فإنها تعاني من مشاكل فعلية في هبوط

الجهد. كما نعلم أن الجهد لشبكات القدرة الكهربائية يجب أن يبقى ضمن حدود معينة للحفاظ على استقرارية الشبكة وتزويد الطاقة الكهربائية للزبائن بالكفاءة المطلوبة[6]. لفهم العوامل الأساسية التي تسبب في هبوط الجهد في شبكات القدرة الكهربائية يجب علينا التطرق للمعادلة الأساسية لحساب هبوط الجهد والتي تتمثل في المعادلة (1):

$$\Delta V = \frac{(RP + XQ)}{V} + j\frac{(XP + RQ)}{V} \qquad (1)$$

حيث أن **(ΔV)** هو التغير في الجهد للشبكة من الإرسال إلى الاستقبال، و**(P)** هي القدرة الفعالة في الشبكة، و**(Q)** هي القدرة الغير فعالة، و**(R)** هي المقاومة في الشبكة، و**(X)** تمثل المفاعلة، و**(V)** هو جهد الإرسال، وأي خط نقل يمكن تمثيله بالدائرة والمخطط الطوري لها كما هو موضح بالشكل (1).



شكل (1) المخطط الطوري لخط نقل كهربائي

ومن تمثيل خط النقل، نلاحظ أن القدرة ترسل عبر معاوقة خط النقل **(Z)** ويغذى الخط من جهد المصدر**(E)** وتمثل **(V)** الجهد عند نهاية الإرسال في الشبكة، وتمثل **(ϴ)** زاوية القدرة و**(δ)** زاوية جهد المصدر. القدرة الكلية في الشبكة **(S)** تتكون من جزء حقيقي والمتمثل في القدرة الفعالة **(P)** وجزء تخيلي متمثل في القدرة المتفاعلة **(Q)** وتعرف كالتالي:

$$S = P + jQ = VI^* \qquad (2)$$

كذلك معاوقة الشبكة **(Z)** تتكون من جزء حقيقي متمثل في المقاومة **(R)** وجزء تخيلي متمثل في المفاعلة **(X)** وتكون على الصورة التالية:

$$Z = R + jX \qquad (3)$$

القدرة الفعالة **(P)** للشبكة تعتمد على هبوط الجهد في المقاومة **(R)** والقدرة المتفاعلة **(Q)** تعتمد على هبوط الجهد على المفاعلة **(X)**. ومن المخطط الطوري الموضح بالشكل (1) فإن:

$$E = a^2 + b^2 \qquad (4)$$

$$E = (V + \Delta V_p)^2 + (\Delta V_p)^2 \qquad (5)$$

$$E^2 = (V + RI\cos\theta + XI\sin\theta)^2 + (XI\cos\theta + RI\sin\theta)^2 \qquad (6)$$

وأيضا من الشكل (1) نجد أن:

$$\sin\theta = \frac{w}{IX} \qquad (7)$$

$$\cos\theta = \frac{h}{IR} \qquad (8)$$

$$E^2 = \left(V + \frac{RP}{V} + \frac{XQ}{V}\right)^2 + \left(\frac{RQ}{V} - \frac{XP}{V}\right)^2 \qquad (9)$$

$$E - V = \frac{RP + XQ}{V} \qquad (10)$$

$$\Delta V_p = \frac{RP + QX}{V} \qquad (11)$$

$$\Delta V_q = \frac{RQ + XP}{V} \qquad (12)$$

وعليه فإن هبوط الجهد في الشبكة عبارة عن مجموع هبوط الجهد في الجزء التخيلي وهبوط الجهد في الجزء الحقيقي.

$$\Delta V = \Delta V_p + j\,\Delta V_q \qquad (13)$$

وبالتعويض عن قيم كلا من **(ΔVq)** و**(ΔVp)** نجد أن **(ΔV)** تساوي:

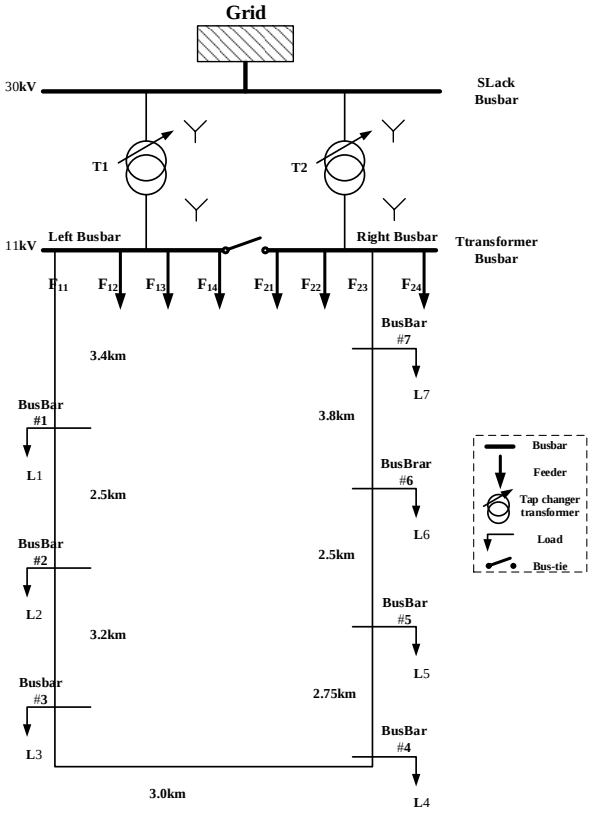
$$\Delta V = \frac{RP+QX}{V} \pm j\,\frac{XP-RQ}{V} \qquad (14)$$

3- شبكة توزيع القدرة الكهربائية 11 كيلو فولت بمدينة مصراتة:

تزود القدرة الكهربائية للمستهلكين من خلال شبكة توزيع القدرة الكهربائية التي تمتد خطوطها (الهوائية – الأرضية) من محطات التوليد إلى أماكن تواجد المستهلكين حسب توزعهم الجغرافي؛ سواء كانوا في البيوت أو مكاتب أو مصانع أو غيرها. يجب التنويه إلى أن خط النقل الذي يوزع الطاقة على المستهلكين يتكون من أربعة أسلاك، ثلاثة منها تحمل جهود الأطوار الثلاث والرابع هو الخط متعادل. بحيث توصل الكهرباء للمنازل والمكاتب من خلال خطين أحدهما أرضي، أما المصانع والورش فيتم تزويدها بالطاقة من خلال الأسلاك الأربعة، وذلك لان بعض المعدات الصناعية كالمحركات الكهربائية الكبيرة لا تعمل إلا بثلاثة أطوار. ويجب التأكيد على إن الشبكات الكهربائية أنظمة بالغة الحساسية فكل مكون من مكوناتها يكون حساس لأي حدث كهربائي يحدث في أي جزء من أجزائها خلال فترة زمنية بالغة القصر مما يؤدي إلى انتشار تأثيرات هذا الحدث في الشبكة بسرعة بالغة.

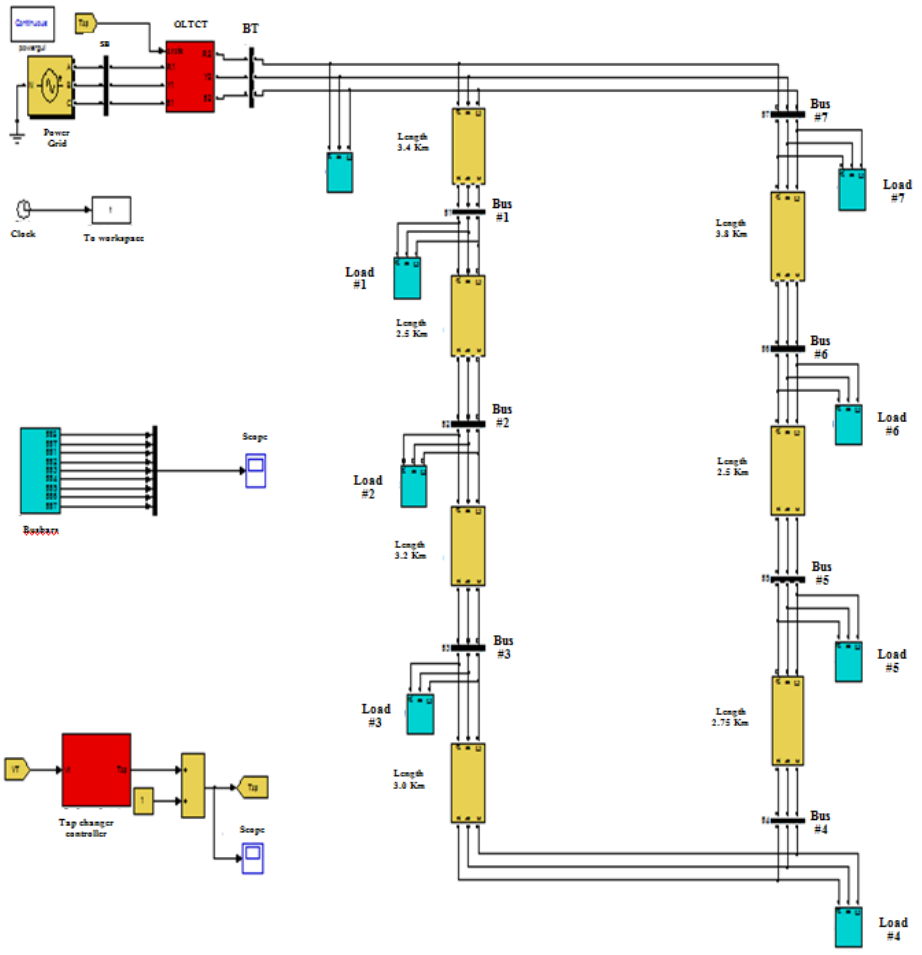
إن نظم التوزيع الكهربائية هي المسئولة عن توزيع القدرة الكهربائية المولدة من محطات القدرة الكهربائية إلى المستهلكين، ويجب أن تضمن هذه النظم الاقتصادية والمرونة والموثوقية اللازمة للعمل تحت ظروف التشغيل المختلفة. وفي المناطق المكتظة بالسكان يستخدم نظام التوزيع الحلقي للحصول على مرونة كبيرة في التشغيل والصيانة ورفع الموثوقية، حيث يعد نظام التوزيع الحلقي أكثر كفاءة من نظام التوزيع الشعاعي[7]. يوضح الشكل (2) جزء من شبكة توزيع القدرة الكهربائية 11 كيلو فولت لوسط مدينة مصراتة، والبيانات الحقيقية لكل مكون من مكونات الشبكة موضح بالملحق. حيث تتكون الشبكة من خط جهد 30 كيلو فولت يتم تحويله عن طريق محول **(Transformer)** ذو نظام ثلاثي الطور وبتوصيلة **(Y-Y)** لدائرة المحول الابتدائية والثانوية إلى جهد 11 كيلو فولت، والمحول هنا مغير الجهد له (±16) خطوة صعودا وهبوطا للحفاظ على الجهد ضمن حدود (±1%) من جهد المرجع،

وتكون القدرة المقدرة لكل الشبكة 20 ميقا فولت أمبير(**MVA**)، وتحتوي الشبكة على ثمانية مغذيات (**Feeders**) هي (F_{24} وF_{23} وF_{22} وF_{21} وF_{14} وF_{13} وF_{12} وF_{11}). طول الكوابل الموضحة بالشكل (2) هو كيلومتر(**km**) وبمساحة مقطع 300 مليمتر مربع من الخطوط الهوائية والكابلات الأرضية. تستخدم الكوابل الأرضية لمسافات قصيرة في المناطق المكتظة بالسكان، ولكن مقارنة بالكوابل الهوائية فإن الكوابل الأرضية تعد مكلفة اقتصادياً. كما تحتوي الشبكة على سبعة قضبان (**Busbar**) لتغطية الأحمال (**Loads**) لمسافات مختلفة (L_7 وL_6 وL_5 وL_4 وL_3 وL_2 وL_1).



شكل (2) جزء من شبكة توزيع جهد 11 كيلو فولت وسط المدينة بمدينة مصراتة

وتم بناء نموذج لهذا الجزء من الشبكة باستخدام برنامج (MatlapSimpower) كما هو موضح بالشكل رقم (3).



شكل (3) محاكاة شبكة توزيع القدرة 11 كيلو فولت وسط المدينة بمدينة مصراتة باستخدام برنامج (MatlapSimpower)

4- تغير الطلب على الأحمال على شبكة توزيع القدرة الكهربائية 11 كيلو فولت وسط المدينة بمدينة مصراتة في الوقت الحاضر:

يعرف الحمل الكهربائي بأنه كل ما يتصل بالشبكة ويستهلك قدرة كهربائية، وتعددت أنواع الأحمال فمنها المقاومي ومنها الحمل الحثي ومنها السعوي ومنها المختلط ما بين المقاومي والحثي والسعوي. الحمل المقاومي هو الحمل الذي يكون فيه التيار والجهد على نفس الطور وتكون القدرة المستنفذة خلاله هي القدرة الفعالة **(P)** ويعبر عنها كالتالي:

$$P = V_{RMS} \times I_{RMS} \times \cos\phi \qquad (15)$$

أما الحمل الحثي فهو الحمل الذي يكون فيه طور التيار متأخر عن طور الجهد وتكون القدرة المستنفذة خلاله هي القدرة المتفاعلة **(Q_L)** الناتجة عن طاقة المجال المغناطيسي المختزن في الملف وتساوي:

$$Q_L = (V_L)_{RMS} \times (I_L)_{RMS} \times \sin\phi \qquad (16)$$

أما الحمل السعوي فهو الحمل الذي يكون فيه طور التيار متقدم عن طور الجهد وتكون القدرة الظاهرية مساوية للقدرة المتفاعلة **(Q_c)** الناتجة عن طاقة المجال الكهربائي المختزن بين لوحي المكثف وتساوي:

$$Q_L = (V_C)_{RMS} \times (I_C)_{RMS} \times \sin\phi \qquad (17)$$

هذه الأحمال ليست بثابتة المقدار حيث أن الحمل الكهربائي يتغير بشكل دائم على مدار اليوم وخلال السنة. تعتمد التغيرات في الأحمال على عدة عوامل يمكن أن تكون عوامل التقنيات الكهربائية، ويقصد بها نوع وحجم وعدد المعدات الكهربائية التي يستخدمها المستهلكون ويمكن أن تكون عوامل المناخ وحالة الجو حيث أن متطلبات المستهلكين قد تختلف من موسم إلى آخر من حيث متطلبات التدفئة والتكييف وما إلى ذلك. في ليبيا وجد أن ذروة الطلب صيفاً تكون خلال شهر يونيو ويوليو وأغسطس، وفي الشتاء تكون ذروة الطلب خلال شهر ديسمبر ويناير وفبراير. وكذلك تكون عوامل العادات الفردية، ويقصد بها ساعات العمل وحجم العائلة في الأحمال السكنية ومدة تواجدهم بالمنزل، عامل مهم في تحديد ذروة

الطلب على الطاقة الكهربائية. حيث أنه على الأغلب ذروة الطلب تحدث في فترة ما بعد الظهيرة أو في المساء الباكر، والجدول (1) يوضح ذروة الطلب الحقيقي لشبكة 11 كيلو فولت مصراتة عند معامل قدرة 0.9 متأخر [7، 8].

جدول (1) ذروة الطلب الحقيقي لمغذيات شبكة توزيع مصراتة 11 كيلو فولت وسط مدينة مصراتة

الأحمال	F_{11}	F_{12}	F_{13}	F_{14}	F_{21}	F_{22}	F_{23}	F_{24}
MVA	3.9	3.45	1.90	1.89	3.64	3.79	0.72	0.81

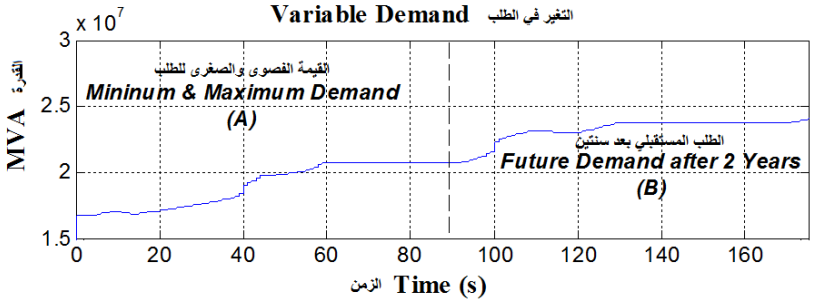
جدول (2) الحد الأدنى والأقصى لمغذيات شبكة توزيع مصراتة 11 كيلو فولت وسط مدينة مصراتة

الأحمال الحالية	القدرة المستهلكة	**Bus#1**	**Bus#2**	**Bus#3**	**Bus#4**	**Bus#5**	**Bus#6**	**Bus#7**
الحد الأدنى	P_{MW}	0.32	0.96	0.76	2.20	2.15	0.86	1.55
	Q_{MVArs}	0.15	0.46	0.37	1.06	1.04	0.41	0.75
الحد الأقصى	P_{MW}	0.480	1.46	1.56	2.56	2.65	0.86	1.75
	Q_{MVA}	0.23	0.70	0.75	1.24	1.28	0.41	0.86

5- الأحمال المستقبلية لشبكة توزيع القدرة الكهربائية 11 كيلو فولت بمصراتة:

في هذه الحالة تم تقييم التغيرات لمستوى الجهد في شبكة توزيع القدرة الكهربائية 11 كيلو فولت في الطلب المستقبلي، والغرض هو معرفة إذا ما يمكن التعامل مع هذا الطلب المستقبلي باستخدام محول مغير الجهد دون أن تحدث أي مشاكل لانخفاض الجهد، حيث أنه يتم زيادة الطلب على الطاقة في ليبيا بنسبة (8%) من إجمالي الطلب الحالي[1]. ونتيجة لذلك قد أضيفت هذه النسبة على ذروة الطلب الحالي للحصول على الطلب في المستقبل لمدة سنتين والشكل (4) يظهر التغيرات المحتملة لمستوى الطلب على شبكة توزيع القدرة الكهربائية 11 كيلو فولت. الحد الأدنى والحد الأقصى للطلب الحالي هو (16.85 ميقا فولت أمبير) و(20.1

ميقا فولت أمبير) على التوالي وعند معامل قدرة (0.9) متأخر. مع عامل الطلب (8%) من الحد الأقصى للطلب الحالي سوف يصل الطلب إلى (23.31 ميقا فولت أمبير) بعد سنتين.



شكل (4) تغيرات الأحمال لشبكة توزيع القدرة 11 كيلو فولت
وسط المدينة بمدينة مصراتة خلال سنتين

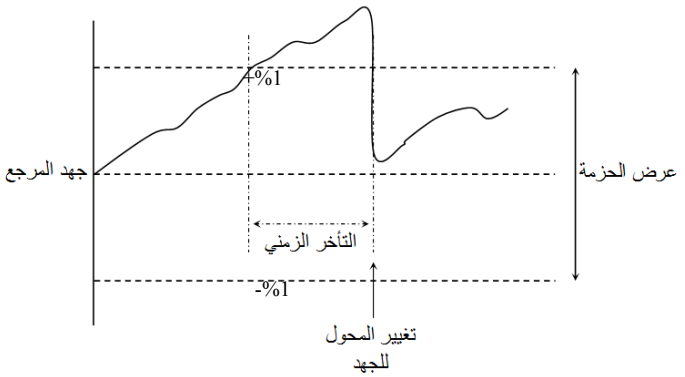
6- محاكاة شبكة توزيع القدرة الكهربائية 11 كيلو فولت لمدينة مصراتة:

استخدمت بيئة النمذجة والمحاكاة **(MatlapSimpower)** لمحاكاة جزء من الشبكة الحقيقية لتوزيع الطاقة الكهربائية بمدينة مصراتة، كما موضح بالشكل (2). حيث يوضح الشكل مسار الحلقة ما بين المغذيان **(F_{11})** و**(F_{23})** في حين تم تمثيل المغذيات الأخرى في حمولة واحدة، وقضيب المرجع يمثل بمصدر جهد ثلاثي الأطوار ومحول مغير الجهد **(On Load Tap Changer)** للتحكم في مستوى الجهد بالشبكة.

1.6. التحكم باستخدام محول مغير الجهد (OLTCT):

محول مغير الجهد لا يتحكم في الجهد عن طريق تنظيم التدفق وإنما يتم عن طريق تغير نسبة التحويل. هذا الأسلوب هو الأكثر انتشاراً لأنه يمكن من استخدام السيطرة على جميع مستويات الجهد. لفهم الفكرة الأساسية لعمل المحول المغير للجهد يجب الأخذ في الاعتبار ثلاث نقاط مهمة، موضحة بالمخطط المعطى بالشكل (5)، وهي:

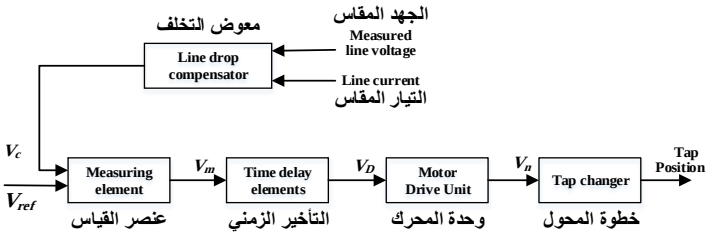
- جهد التشغيل أو جهد المرجع (**Set voltage**) الذي يتم ضبطه لكي يشتغل المحول المغير للجهد في حالة تعديه بنسب محددة.
- عرض النطاق (**Bandwidth**) لمدى تشغيل المحول (±1%) لتحديد مدى اختلاف القيمة المقاسة عن القيمة المرجعية.
- زمن التأخير (**Time delay**) لفترة ما بين لحظة تجاوز القيمة المقاسة عن القيمة المرجعية إلى لحظة تغير موضع خطوة المحول مغير الجهد.



شكل (5) كيفية تغير الخطأ ما بين القيمة المرجعية وقيمة جهد الملف الثانوي للمحول

في هذا العمل، سيتم التركيز على نموذج نظام التحكم المستخدم مع المحول المغير للجهد بحيث يتم تغيير جهد المحول تلقائيا تحث تأثير الحمل ويظهر الشكل (6) المخطط الصندوقي لنظام التحكم وهو يتألف من العناصر الأساسية التالية:

- معوض تأخير (**Line drop compensator**)
- وحدة منظم جهد وتتكون من عنصر قياس (**Measuring element**) وعنصر تأخير زمني (**Time delay elements**).
- وحدة تحريك للتحكم في خطوات محول مغير الجهد (**Motor drive Tap changer unit**).



شكل (6) المخطط الصندوقي لنظام التحكم لمحول مغير الجهد

معوض التأخير يتم عن طريقه أخذ جهد الخط وتيار الخط وحيث أن عملية المقارنة في دائرة نظام التحكم لمحول مغير الجهد تهتم بالتحكم في قيمة الجهد فقط لذلك نكتفي بأخذ قيمة الجهد حيث يقوم معوض التخلف بتعويض الفقد الذي يمكن أن يحدث نتيجة لطول المسافة ما بين نقطة قياس الجهد ونقطة نظام التحكم وبعد تعويض الفقد تتم عملية المقارنة عن طريق المقارن حيث تتم عملية مقارنة الجهد المقاس بقيمة مرجعية يتم ضبطها مسبقاً للحفاظ على الجهد عند القيمة المحددة وتتم عملية المقارنة بإيجاد الفرق ($\mathbf{V_{err}}$) ما بين القيمة المقاسة ($\mathbf{V_c}$) والقيمة المرجعية ($\mathbf{V_{ref}}$) بحيث أن:

$$V_{error} = V_{ref} - V_C \qquad (18)$$

ناتج عملية المقارنة هو ($\mathbf{V_m}$) والتي تأخذ القيمة (−1) أو (0) أو (1)، اعتماداً على قيمة الدخل ($\mathbf{V_{err}}$) بحيث:

$$V_m = \begin{cases} -1 & positive\,direction \\ 0 & normal \\ 1 & negative\,direction \end{cases} \qquad (19)$$

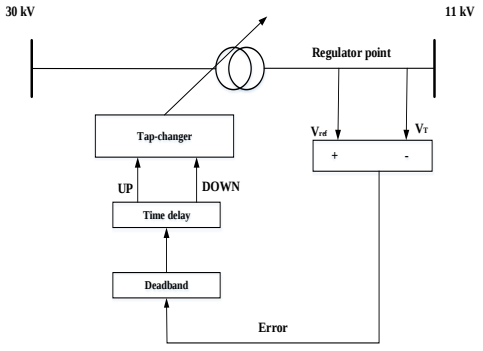
بعد ذلك تدخل القيمة الناتجة من عملية المقارنة ($\mathbf{V_m}$) على وحدة تأخير زمني يتم ضبطها للحفاظ على استقراريه الشبكة ومنع أي حركة غير مطلوبة للمحول المغير للجهد وخصوصاً في المراحل الانتقالية للشبكة خلال فترة بداية التشغيل، بعد ذلك يتم الحصول على القيمة ($\mathbf{V_D}$) لتدخل على وحدة التحريك. وحدة التحريك تقوم بتحريك خطوة المحول المغير للجهد وفقاً لقيمة الخطأ. تمثل وحدة التحريك الجزء الميكانيكي لعمل المحول سواء أكان لرفع

أو خفض الجهد، وأول خطوة للمحول المغير للجهد تتحرك بتأخير زمني يتراوح ما بين 30 إلى 60 ثانية وما بين كل خطوة وخطوة يوجد تأخير زمني في حدود 10 ثواني[6].

الهدف من وحدة التحكم للمحول المغير للجهد هو الحفاظ على مستوى الجهد لشبكة التوزيع داخل حدود (±6%) من جهد المرجع. عند استخدام المحول المغير للجهد نجد أن الخطوات تتحرك صعوداً وهبوطاً لضبط جهد دائرة المحول الثانوي، ويتم تغيير خطوة المحول المغير للجهد في خطوات منفصلة بنسبة 1.25% وفقا للمواصفات الطبيعية في هذه لشبكة. سوف نستعين بلغة البرمجة الماتلاب **(Matlab)** لمقارنة قيمة مرجعية **(pu1)** وقيمة جهد قضيب المرجع بالشبكة **(V_T)** كما هو مبين في الملحق (2)، ويعبر عنه رياضيا بالمعادلة:

$$V_m = \begin{cases} -1 & V_m < -0.01 \\ 0 & -0.01 \le V_m \le 0.01 \\ 1 & V_m > 0.01 \end{cases} \qquad (20)$$

وسيتم تشغيل نظام التحكم لمراقبة قيمة الخطأ إذا كانت أكبر من عرض الحزمة بنسبة (1%) من الفرق المسموح به سوف تتحرك الخطوة إلى أسفل، وفي حين تكون قيمة الخطأ أقل من (−1%) من الفرق المسموح به سوف تتحرك الخطوة إلى أعلى من أجل الحفاظ على الجهد في شبكة التوزيع داخل حدود الـــ(**pu0.06**±). الشكل (7) يوضح نموذج لنظام مراقبة المحول المغير للجهد.

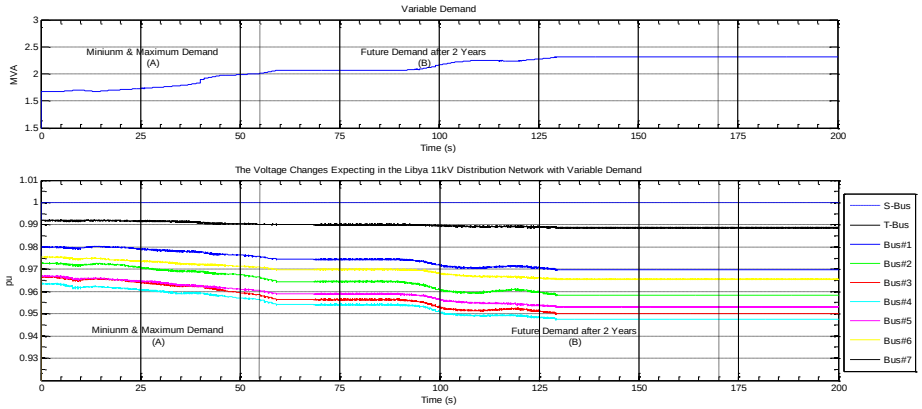


شكل (7) نظام المراقبة لمحول مغير الجهد عند الحمل

7- محاكاة شبكة التوزيع القدرة 11 كيلو فولت بمصراتة بدون استخدام محول مغير الجهد:

في هذه الجزئية تم اختبار التغيير في مستوى الجهد عند الأحمال الحالية والأحمال المستقبلية بالشبكة بدون استخدام محول مغير الجهد عند الأحمال. الشكل (8) يوضح التغير في الأحمال ومستوى الجهد بشبكة التوزيع القدرة الكهربائية 11 كيلو فولت بمصراتة وذلك عند عدم استخدام المحول المغير للجهد.

يوضح الشكل (8) التغيير في الأحمال حيث نجد أن المنطقة (0-55.2) ثانية تمثل الأحمال الحالية وفيها الطلب يتغير من (16.85 *ميقا فولت أمبير*) إلى (20.1 *ميقا فولت أمبير*). المنطقة **(B)** (55.02-200) ثانية تمثل الأحمال المستقبلية وفيها الطلب يتغير من (20.1 *ميقا فولت أمبير*) إلى (**23.1** *ميقا فولت أمبير*) وهذا التغير حدث نتيجة لتقدير الزيادة المحتملة في الطلب بعد سنتين، والشكل السفلي يوضح مستويات الجهد بالشبكة حيث نجد أن جهد قضيب المرجع **(S-Bus)** بالإضافة إلى جهد طرف الملف الثانوي للمحول **(T-Bus)** وجهود المغذيات الموزعة بالشبكة (**Bus#1, Bus#2, Bus#3, Bus#4, Bus#5, Bus#6, Bus#7**) في المنطقة **A** (الأحمال الحالية) تنخفض قيمها وفق ما هو موضح بالجدول (3). وهذا الانخفاض بسبب الزيادة في استهلاك القدرة المتمثلة في استهلاك المواطنين في الوقت الحالي، وأن في المنطقة **B** (الأحمال المستقبلية) تنخفض فيها مستويات جهد قضيب المرجع وجهد طرف الملف الثانوي للمحول وجهود المغذيات الموزعة بالشبكة وذلك بسبب الزيادة المتوقعة في الأحمال مستقبلا (بعد سنتين) وفق ما هو موضح بالجدول(4).



شكل (8) تغير الجهود في شبكة توزيع مصراتة 11 كيلو فولت

جدول (3) تغير مستويات الجهد في المنطقة **(A)** (الأحمال الحالية)

$V_{Bus\#7}$ (pu)	$V_{Bus\#6}$ (pu)	$V_{Bus\#5}$ (pu)	$V_{Bus\#4}$ (pu)	$V_{Bus\#3}$ (pu)	$V_{Bus\#2}$ (pu)	$V_{Bus\#1}$ (pu)	$V_{T\text{-}Bus}$ (pu)	$V_{S\text{-}Bus}$ (pu)	القدرة المستهلكة عند الأحمال
0.991	0.9738	0.9649	0.9613	0.9644	0.9708	0.9786	0.991	1	**(MVA) 16.85**
0.9905	0.9711	0.9605	0.9562	0.9584	0.9664	0.9758	0.9905	1	**(MVA) 20.1**

جدول (4) تغير مستويات الجهد في المنطقة **(B)** (الأحمال المستقبلية)

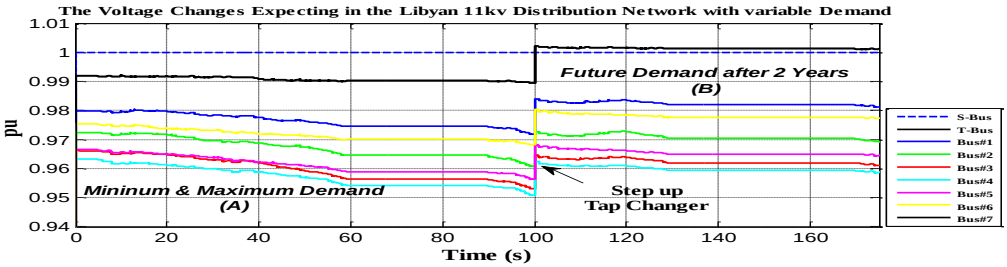
$V_{Bus\#7}$ (pu)	$V_{Bus\#6}$ (pu)	$V_{Bus\#5}$ (pu)	$V_{Bus\#4}$ (pu)	$V_{Bus\#3}$ (pu)	$V_{Bus\#2}$ (pu)	$V_{Bus\#1}$ (pu)	$V_{T\text{-}Bus}$ (pu)	$V_{S\text{-}Bus}$ (pu)	القدرة المستهلكة عند الأحمال
0.9905	0.9711	0.9605	0.9562	0.9585	0.9664	0.9578	0.9905	1	**(MVA) 20.1**
0.9885	0.9656	0.9531	0.9501	0.9474	0.9584	0.9699	0.9885	1	**(MVA) 23.1**

وهذا الانخفاض كما عرفنا سابقاً مسموح به إذا ما كان الجهد عند طرف الملف الثانوي للمحول في حدود (±1%) من جهد المرجع ولكن وفي حال تجاوز قيمة الجهد لهذه الحدود سيؤذي هذا إلى حدوث مشاكل بالشبكة. من هنا تبرز الحاجة لوجود آلية للتحكم في جهد الشبكة والحفاظ عليه ضمن الحدود المطلوبة. ووفقاً لهذا تظهر أهمية ووجوب دراسة إمكانية استخدام محول مغير للجهد للحفاظ على جهد الشبكة في المستوى (±6%) من الجهد المرجعي وذلك لضمان استقرارية تزويد القدرة للمستهلكين بأفضل جودة وتفادي المشاكل التي تحدث نتيجة لانخفاض الجهد.

8- محاكاة شبكة التوزيع 11 كيلو فولت وسط المدينة بمدينة مصراتة باستخدام محول مغير للجهد:

في هذه الجزئية تم اختبار التغيير في مستوى الجهد بالشبكة ولكن بعد استخدم محول مغير الجهد وإعطاء إشارة التحكم والشكل (9) يوضح مستويات الجهد بشبكة توزيع القدرة الكهربائية 11 كيلو فولت لشبكة وسط المدينة بمصراتة. الشكل (9) يعطي نتائج محاكاة سلوك الشبكة عند إضافة محول مغير للجهد وباستخدام بيئة النمذجة والمحاكاة (**MatlapSimpower**). يوضح الشكل (9) جهد قضيب المرجع وجهد طرف الملف الثانوي للمحول وجهود المغذيات بالشبكة (**T-Bus, S-Bus, Bus#1, Bus#2, Bus#3, Bus#4, Bus#5, Bus#6, Bus#7**). بعد إعطاء إشارة التحكم من قبل محول مغير الجهد عند النقطة (**Time=100**) وذلك لان مستوى الجهد لطرف الملف الثانوي للمحول (**T-Bus**) انخفض عن (1%) من جهد المرجع (**pu1**) حيث يزداد مستوى جهد قضيب المرجع وجهد طرف الملف الثانوي للمحول وجهود المغذيات الموزعة بالشبكة عند النقطة (**Time=100**) ومستويات الجهد بالشبكة قبل وبعد إعطاء إشارة التحكم لمحول مغير الجهد نتيجة لتجاوز القيمة (1%) لكي يتحرك خطوة صعوداً إلى أعلى لتعطي زيادة في قيمة الجهد بنسبة (1.25%) في كل خطوة.

من الواضح أن استخدام المحول المغير للجهد ساعد في استقراريه الشبكة وجعلها تعمل عند جهد في حدود (±6%) من جهد المرجع.



شكل (9) تغير الجهود في شبكة توزيع القدرة الكهربائية 11 كيلو فولت بمصراتة بعد استخدام محول مغير للجهد

جدول (5) تغير مستويات الجهد في المنطقة **B** (الأحمال المستقبلية)

جهود القضبان	$V_{S\text{-}Bus}$ (pu)	$V_{T\text{-}Bus}$ (pu)	$V_{Bus\#1}$ (pu)	$V_{Bus\#2}$ (pu)	$V_{Bus\#3}$ (pu)	$V_{Bus\#4}$ (pu)	$V_{Bus\#5}$ (pu)	$V_{Bus\#6}$ (pu)	$V_{Bus\#7}$ (pu)
قبل	1	0.9896	0.972	0.9609	0.9531	0.951	0.9566	0.9684	0.9896
بعد	1	1.002	0.9839	0.9727	0.9647	0.9625	0.9683	0.9803	1.002

9- الخلاصة:

الهدف الأساسي لهذا العمل هو دراسة استقرار الجهود في شبكات توزيع الطاقة الكهربائية وذلك باستخدام بيئة نمذجة ومحاكاة شبكات توزيع الطاقة الكهربائية **(MatlabSimpower)** بغرض الحصول على نتائج مشابهة للواقع. في هذا الاتجاه تم اختيار شبكة توزيع الطاقة الكهربائية بمدينة مصراتة كنموذج للبحث وتمت محاكاتها باستخدام **(MatlabSimpower)** وتحديد أقصى هبوط للجهد لشبكة توزيع 11 كيلو فولت بمدينة مصراتة وكذلك معرفة مدى تغير مستويات الجهد بهذه الشبكة عند الأحمال القصوى الحالية (20.1 ميقا فولت أمبير) والأحمال المستقبلية (23.85 ميقا فولت أمبير). سجل أقصى هبوط في الجهد للشبكة في كلتا الحالتين على القضيب الرابع **(Bus#4 = 0.95pu)**.

لتحسين مستوى الجهود في الشبكة ومن خلال هذه الدراسة تم التوصل إلى إمكانية تحسين مستوى الجهود عند الأحمال الحالية والمستقبلية باستخدام محول مغير للجهد. حيث أثبت

النتائج المتحصل عليها بأنه تم تحسين مستوي الجهد عند القضيب الرابع **(Bus#4)** من القيمة **(pu 0.95)** إلى **(pu 0.96)** في منطقة الأحمال المستقبلية.

وكنتيجة لهذا العمل يجب دراسة إمكانية المحافظة على مستويات الجهد ضمن (±6%) من الجهد المرجعي بالشبكة عند الأحمال المستقبلية لفترة طويلة المدى (10 سنين مثلاً) وكذلك دراسة إمكانية دمج محولات القدرة مع مولد عند المستوى 11 كيلو فولت في حالة تجاوز محول مغير الجهد لكافة خطواته بالرغم من الحاجة إلى زيادة الجهد.

ملحق

- مواصفات المحول:

Z=18%, 20MVA , three phase Y-Y connection , $R_{primary}$ 30kV = 0.00016529 pu, Rsecondary11kV= 0.0014876 pu, transformers in parallel, -16/+16 tap limits, with 1% bandwidth, voltage set point 11kV, tap step 1.25% of set point.

- مواصفات الكابل الأرضي:

300 mm^2 copper cable parameters: Z=0.08+J0.0969 (mΩ/km), 11kV, totally length of cable is 21.15 km.

- برمجة **c++** المستخدمة في الندمجة:

S-Function Code for ONTCT

```
function [sys,x0,str,ts,simStateCompliance] = timestwo(t,x,u,flag)
switch flag,
case 0
   [sys,x0,str,ts,simStateCompliance]=mdlInitializeSizes;
case 3
sys=mdlOutputs(t,x,u);
case { 1, 2, 4, 9 }
sys=[];
otherwise
DAStudio.error('Simulink:blocks:unhandledFlag', num2str(flag));
end
function [sys,x0,str,ts,simStateCompliance] = mdlInitializeSizes()

sizes = simsizes;
sizes.NumContStates  = 0;
sizes.NumDiscStates  = 0;
sizes.NumOutputs     = 1;  % dynamically sized
sizes.NumInputs      = 1;  % dynamically sized
sizes.DirFeedthrough = 1;  % has direct feedthrough
sizes.NumSampleTimes = 1;

sys = simsizes(sizes);
str = [];
x0  = [];
ts  = [-1 0];   % inherited sample time
```

```
simStateCompliance = 'DefaultSimState';
function sys = mdlOutputs(t,x,u)
V1 = u(1);
if (V1 > 0.01)
   y = 1;
elseif (V1 < -0.01);
   y = -1;
else y=0;
end;
sys = y;
```

المراجع

1- S. Saleh, A. Mansur, N. Abdalaziz Ali, M. Nizam, M. Anwar, "Forecasting Of the Electricity Demand in Libya Using Time Series Stochastic Method for Long Term From 2011-2022", *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, Vol. 3, Issue 5, May 2014.

2- C. Masters, "Voltage rise: the big issue when connecting embedded generation to long 11 kV overhead lines", *Power Engineering Journal*, vol. 16, pp. 5-12, 2002.

3- د. مصطفى سليمان دليله، المحولات الكهربائية، ط: الأولى، جامعة التحدي، سرت، 1993.

4- د. وحيد مصطفى أحمد، آلات التيار المتردد، دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع، القاهرة، 2003 ف.

5- أ. د محمود جيلاني، المرجع في محولات القوى الكهربائية، القاهرة، 2013.

6- M. Elsherif, "Application of Superconducting Technologies in Future Electrical Power Systems", Phd thesis, 2013.

7- M. Elsherif, A BenGhuzzi, A. Baaiu, "Voltage Stability for a 11kV Libyan Distribution Network to Address Future Requirements", *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, Vol. 4, Issue 7, July 2015.

8- Abedallah BenGhuzzi, "Control the Voltage level in a distribution network using power management system (PMS) ", *Master project, Faculty of Engineering, Misurata University*, April 2015.