التحكم في استقرارية الجهد لشبكة توزيع القدرة الكهربائية باستخدام المكثفات التعويضية الساكنة

مصطفي علي الشريف
جامعة مصراتة، كلية الهندسة
قسم الهندسة الكهربائية. مصراتة، ليبيا.
m.a.elsherif@misuratau.edu.ly

إسماعيل محمد البطروخ
جامعة مصراتة، كلية الهندسة
قسم الهندسة الكهربائية. مصراتة، ليبيا.
ismailelbat@eng.misuratau.edu.ly

حمزه عبدالله الطويل
جامعة مصراتة، كلية الهندسة
قسم الهندسة الكهربائية. مصراتة، ليبيا.
h.alatiweel@eng.misuratau.edu.ly

الصديق امحمد الزواوي
جامعة مصراتة، كلية الهندسة
قسم الهندسة الكهربائية. مصراتة، ليبيا.
Alseddig.Elzowawi@eng.misuratau.edu.ly

الملخص—**تم دراسة مشاكل وعوامل زيادة هبوط الجهد في حالة دراسية لجزء من شبكة توزيع القدرة الكهربائية 11 كيلو فولت بمدينة مصراتة في هذه الورقة، حيث تم محاكاة و نمذجة الشبكة بأحمالها الحالية والمستقبلية بعد 10 سنوات لدراسة التغير في مستويات الجهود عند القطبان بالشبكة وإيجاد كيفية الحفاظ على جهود القضبان في مستوى ±6% من جهد القضيب المرجع 1puباستخدام مكثفات التعويضية الساكنة. وقد تم التطرق إلي كيفية حساب مقدار القدرة غير الفعالة اللازمة التي ينتجها المكثف للحفاظ على الجهد في المستوى المحدد والطرق المثلى لتوصيلها بالشبكة للحفاظ على استقرارية الشبكة من الانهيار.وبالتالي تم تحسين معامل القدرة عند القضيبين الذين تم توصيل المكثف عندهما في أول لحظة حصول هبوط جهد في الشبكة من 0.85 إلى 0.9 متأخر وحيث كان أقصي هبوط جهد في الأحمال المستقبلية عند هذه الأقطاب قبل توصيل المكثفات الساكنة لهما 0.9172 pu وتم تغلب عليها ليصل الجهد عندهما إلى 0.9545 pu.**

الكلمات المفتاحية: **هبوط الجهود، توقع الحمل، شبكة توزيع القدرة الكهربائية 11 كيلو فولت بمدينة مصراتة، المكثفات التعويضية الساكنة.**

1. المقدمة

زيادة الأحمال الكهربائية في شبكات نقل وتوزيع القدرة الكهربائية بليبيا بمعدل 6- 8% لكل سنة من الأحمال الحالية يسبب زيادة في مشاكل عدم الاستقرار في الشبكة العامة لقدرة الكهربائية بليبيا والذي يؤدي حتما إلى زيادة في مستوى هبوط الجهود في شبكات توزيع القدرة الكهربائية، والتي د تؤدي إلى انهيار في شبكة نظام القدرة الكهربائية [1]. هنالك عدة طرق تستخدم للتغلب على مشاكل هبوط الجهد في أنظمة القدرة الكهربائية من أهمها المكثفات التعويضية الساكنة ، 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. في هذه الدراسة تم التطرق إلى كيفية استخدام مكثفات التعويضية الساكنة للتغلب على مشاكل الهبوط في مستوي الجهدلشبكة التوزيع القدرة الكهربائية 11 كيلو فولت بمصراتة [4،5].

2. تقنيات حساب حجم المكثف المعوض للأحمال في شبكات توزيع القدرة الكهربائية

في البداية يجب فهم و دراسة التقنيات والحسابات المستخدمة لحساب حجم المكثف المعوض للأحمال في شبكات توزيع القدرة الكهربائية للحفاظ على استقراريه الجهود في الشبكة. يمكن حساب حجم المكثف المطلوب Q MVAR باستخدام إحدى الطرق الأربع وهي الحسابية - البيانية - الجداول الجاهزة - المنحنيات والموضحة كالتالي [6]:

أ .الطريقة الحسابية:

لتوضيح طريقة الحساب يمكن تصور حملا كلياً مقداره 400 kW يعمل على معامل قدرة 0.8 متأخر والمطلوب تحديد حجم المكثف اللازم لرفع معامل القدرة إلى 0.9 متأخر[7].

$$P = 400\ \text{kW}\ ,\ P.F = 0.8\ \text{lag} \quad (1)$$

$$\text{KVA} = \frac{P}{P.F} = \frac{400}{0.8} = 500\ \text{kVA} \quad (2)$$

القدرة الغير الفعالة على الخط هي:

$$Q = \sqrt{(\text{KVA})^2 - (\text{KW})^2} = \sqrt{(500)^2 - (400)^2} = 300\ \text{kVAR}. \quad (3)$$

وعند رفع معامل القدرة إلى (0.9 lagging) يصبح:

$$\text{KVA}' = \frac{400}{0.9} = 444.44\ \text{kVAR} \quad (4)$$

والقدرة المردودة النهائية هي:

$$Q' = \sqrt{(444.44)^2 - (400)^2} = 193.7\ \text{kVAR}. \quad (5)$$

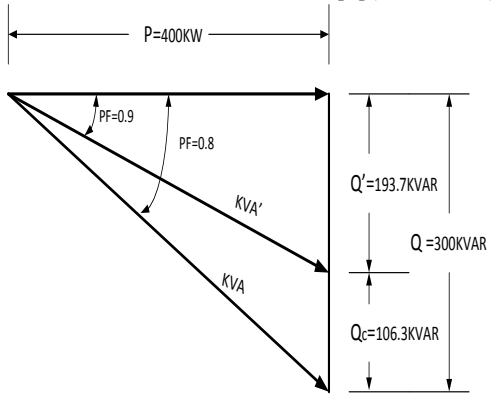
وبذلك فإن حجم المكثف المطلوب يصبح :

$$Q_c = Q - Q' = 300 - 193.7 = 106.3\ \text{kVAR}. \quad (6)$$

رغم أن طريقة الحساب تعطي فكرة واضحة عن مقادير جميع الكميات إلا أنها طريقة مطولة نسبياً.

ب .الطريقة البيانية:

يمكن تنفيذ نفس خطوات الطريقة الحسابية عن طريق الرسم كما موضح بالشكل 1. بداية برسم مثلث القدرة قبل التحسين وذلك بمعلومية قيمة القدرة الفعالة 400 kW ومعامل القدرة 0.8 متأخر وبعد ذلك يتم تكوين مثلث جديد يتكون من نفس القدرة الفعالة (حيث أنها لا تتغير) ولكن بمعامل القدرة الجديد 0.9 متأخر. يمكن بذلك تعيين القدرة الغير فعالة المناظرة ثم إيجاد مقنن المكثف المطلوب، يجب بطبيعة الحال تنفيذ الطريقة باستخدام مقياس للرسم [7].



شكل 1 .الطريقة البيانية لتحديد حجم المكثف

استلمت الورقة بالكامل في 25 يناير 2018 وروجعت في 12 فبراير 2018 وقبلت للنشر في 13 فبراير 2017

ونشرت ومتاحة على الشبكة العنكبوتية في 14 فبراير 2018

ج.طريقة استخدام الجداول الجاهزة:

هذه الطريقة هي أكثر الطرق استخداماً، حيث أنها تعطي مقنن المكثف المطلوب لتحسين معامل القدرة من $\cos\emptyset_1$إلى $\cos\emptyset_2$ ويمكن كتابة العلاقات على النحو التالي [7] :

$$KW = (KVA)_1 . \cos\emptyset_1 \quad (7)$$

$$(KVAR)_1 = (KVA)_1 . \sin\emptyset_1 \quad (8)$$

ومنها، بالقسمة

$$(KVAR)_1 = (kW) . \tan\emptyset_1 \quad (9)$$

وعند تحسين معامل القدرة إلى($\cos\emptyset_2$)فإن:

$$(KVAR)_2 = (kW) . \tan\emptyset_2 \quad (10)$$

وعلى ذلك فإن القدرة الغير الفعالة المطلوبة (مقنن المكثف) تعطى بالعلاقة:

$$Q_C = (KVAR)_1 - (KVAR)_2 \quad (11)$$

$$Q_C = (KW)(\tan\emptyset_1 - \tan\emptyset_2) \quad (12)$$

تسمى الكمية$(\tan\emptyset_1 - \tan\emptyset_2)$ في المعادلة (12) بمعامل الضرب (multiplying factor)، يمكن استخدام الجداول مباشرة لنفس المثال السابق حيث :

$$\cos\emptyset_1 = 0.8 \quad and \quad \cos\emptyset_2 = 0.9 \quad (13)$$

ومن الجدول يكون معامل الضرب = 0.266، تبعاً للمعادلة (12)

وعلى ذلك فإن قدرة المكثف هي:

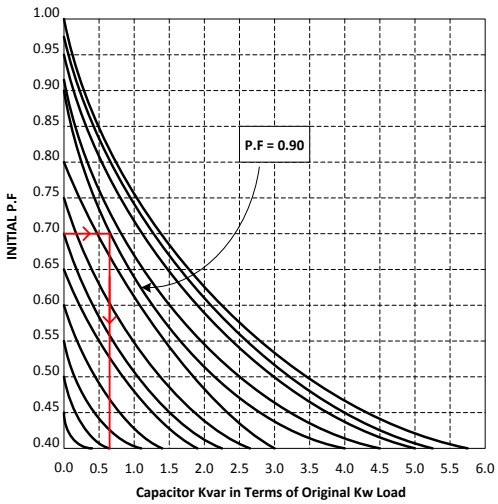
$$Q_c = 400 \times 0.266 = 106.4\ kVAR \quad (14)$$

وهي نفس النتيجة المتحصل عليها من قبل وذلك بالدقة الممسوحة.

د باستخدام المنحنيات:

قامت بعض الشركات بتجهيز منحنيات يمكن عن طريقها تحديد حجم المكثف المطلوب كما مبين بالشكل2 . نفرض أن المطلوب هو تحسين معامل القدرة من 0.7 إلى 0.9 ، نرسم خطاً أفقياً مقابل معامل القدرة 0.7 إلى أن يلاقي منحى معامل القدرة 0.9 ، ثم نرسم خطاً رأسياً لتحديد معامل الضرب على المحور الأفقي حيث نجده يساوي 0.54 ، على ذلك فإن حجم المكثف المطلوب لحمل مقداره 1000 kW مثلاً هو [1]:

$$Q_c = 1000 * 0.54 = 540\ kVAR \quad (15)$$



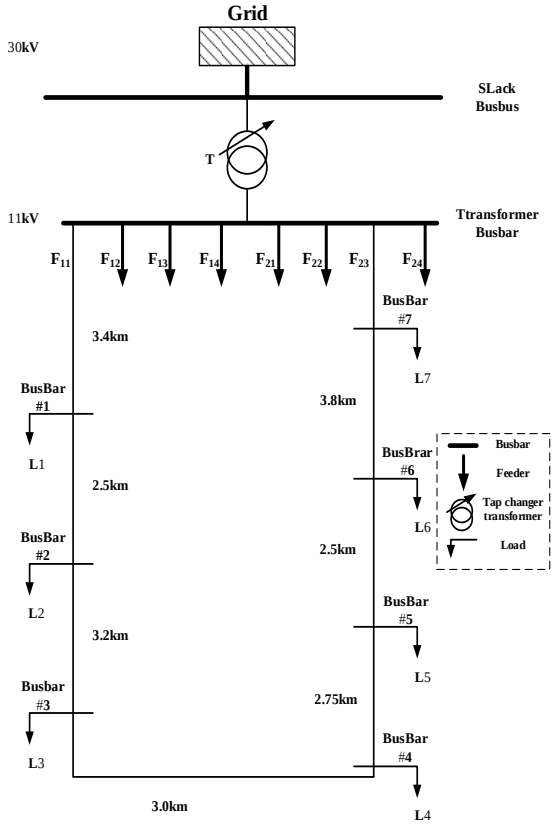
شكل 1 .تحديد قيمة مكثف بمعلومية القدرة الفعالة المسحوبة ومعامل القدرة المطلوب

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 توزيعهم الجغرافي؛ سواء كانوا في البيوت أو المكاتب أو المصانع. يجب التنويه إلى أن خط النقل الذي يوزع القدرة على المستهلكين يتكون من أربعة أسلاك، ثلاثة منها تحمل جهود الأطوار الثلاث والرابع متعادل، حيث توصل الكهرباء للمنازل والمكاتب من خلال خطين أحدهما أرضي، أما المصانع والورش فيتم تزويدها بالقدرة من خلال الأسلاك الأربعة، وذلك لأن بعض المعدات الصناعية كالمحركات الكهربائية الكبيرة لا تعمل إلا بثلاثة أطوار. إن الشبكات الكهربائية أنظمة بالغة الحساسية فكل مكون من مكوناتها يحس بأي حدث كهربائي يحدث في أي جزء من أجزائها خلال فترة زمنية بالغة القصر، حيث تنتشر تأثيرات هذا الحدث في الشبكة بسرعة بالغة[4].

إن نظم التوزيع الكهربائية هي المسئولة عن توزيع القدرة الكهربائية المولدة من محطات القدرة الكهربائية إلى المستهلكين، ويجب أن تضمن هذه النظم الاقتصادية المرونة 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 3 جزء من شبكة توزيع القدرة الكهربائية 11 كيلو فولت لمدينة مصراتة، والبيانات الحقيقية لكل مكون من مكونات الشبكة. 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 جهد11 كيلو فولت وتكون القدرة المقدرة لكل الشبكة 20 ميقا فولت أمبير(MVA)، وتحتوي الشبكة على ثمانية مغذيات (Feeders) هي F24 وF23 وF22 وF21 وF14 وF13 وF12 وF11 . طول الكوابل الموضحة بالشكل 3بوحدةالكيلومتر(km) وبمساحة مقطع 300 مليمتر مربع للخطوط 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 L7 وL6 وL5 وL4 وL3 وL2 وL1 .



شكل 2 .جزء من شبكة توزيع جهد 11 كيلو فولت بمدينة مصراتة

4. التغير في الأحمال على شبكة توزيع القدرة الكهربائية 11 كيلو فولت لمدينة مصراتة في الوقت الحاضر

إن الأحمال الكهربائية ليست ثابتة المقدار بل تتغير بنسبة معينة على مدار اليوم وخلال السنة ، وتعتمد التغيرات في الأحمال على عدة عوامل منها العوامل التقنية, ويقصد بها نوع وعدد وحجم المعدات الكهربائية التي يستخدمها المستهلكون ، وعوامل المناخ وحالة الجو الذي يؤثر على معدات وأجهزة التبريد أو التدفئة التي يستخدمها المستهلكين، وفي ليبيا نجد أن ذروة الطلب على أجهزة التبريد صيفا تكون خلال الأشهر يونيو ويوليو وأغسطس، وفي الشتاء تكون ذروة الطلب على أجهزة التدفئة خلال الأشهر ديسمبر ويناير وفبراير، كما تؤثر عوامل العادات الفردية أيضا على الأحمال، ويقصد بها ساعات العمل وحجم العائلة ومدة تواجدهم بالمنزل حيث أن ذروة الطلب تكون على الأغلب في فترة ما بعد الظهيرة أو في المساء، والجدول 1 يوضح ذروة الطلب الحقيقي لشبكة 11كيلوفولت عند معامل قدرة (0.9 متأخر) ويتم تقييم الحد الأدنى والحد الأقصى للطلب لقيمتي القدرة الفاعلة والمتفاعلة لكل قضيب في الشبكة كما في الجدول 2 [7].

جدول 1. ذروة الطلب الحقيقي لمغذيات شبكة توزيع مصراتة 11 كيلو فولت.

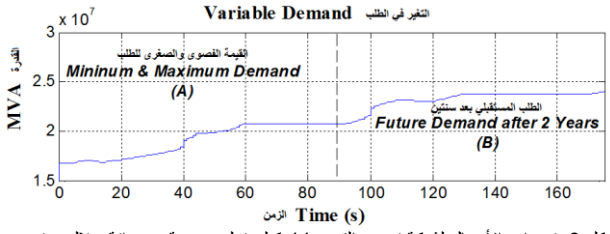
Feeders	F_{11}	F_{12}	F_{13}	F_{14}	F_{21}	F_{22}	F_{23}	F_{24}
MVA	4.1	3.4	1.1	1.01	1.00	2.01	5.6	2.12

جدول 2. الحد الأدنى و الأقصى لمغذيات شبكة توزيع القدرة الكهربائية 11 كيلو فولت

الطلب	الحد الادنى			الحد الاقصى		
المتغيرات المقاسة	القدرة الفعالة (MW)	القدرة المتفاعلة (MVAR)	الجهد (V)	القدرة الفعالة (MW)	القدرة المتفاعلة (MVAR)	الجهد (V)
القضيب #1	0.320	0.154	0.9817	0.480	0.231	0.9798
القضيب #2	0.960	0.460	0.9746	1.460	0.702	0.9677
القضيب #3	0.765	0.370	0.9686	1.565	0.757	0.9598
القضيب #4	2.20	1.066	0.9653	2.560	1.240	0.9573
القضيب #5	2.15	1.041	0.9684	2.560	1.282	0.9613
القضيب #6	0.860	0.414	0.9767	0.861	0.414	0.9716
القضيب #7	1.55	0.751	0.9929	1.750	0.867	0.9908

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 امكانية التعامل مع هذا الطلب المستقبلي باستخدام المكثفات الساكنة التعويضية دون أن تحدث أي مشاكل لانخفاض الجهد، حيث أنه يتم زيادة الطلب على القدرة 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. حيث 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 ومع عامل الطلب (8%) من الحد الأقصى للطلب الحالي سيصل الطلب إلى (23.31 ميقا فولت أمبير) بعد سنتين.



شكل 3 .تغيرات الأحمال لشبكة توزيع القدرة 11 كيلو فولت بمدينة مصراتة خلال سنتين.

6. الطريقة المستخدمة لمعالجة هبوط الجهد باستخدام المكثفات الساكنة التعويضية

بما أن الزيادة في الطلب على القدرة تؤدي إلى مشاكل في هبوط الجهد كما تم شرحها سابقا لذلك يجب إيجاد طريقة للتغلب على هذه المشاكل ، و في هذه الدراسة تم اختيار طريقة المعوضات الساكنة التعويضية باستخدام المكثفات الساكنة لأن الميزة الأساسية للمكثفات هي إمكانية استخدامها في شبكات توزيع القدرة الكهربائية لتحسين تنظيم الجهد و تحسين معامل القدرة, وبسبب التطور التقني لإلكترونات القوى والمتحكمات يمكن تصميم دوائر تتحكم في المكثفات الساكنة بصورة جيدة مما يؤدي إلى تفضيل استخدامها في المنشئات الصناعية والأحمال المنزلية وذلك لأنها تتميز بالتالي [6]..

- نظرا لأنها أجهزة ساكنة فأنها لا تحتاج الى صيانة تذكر.
- تحتاج إلى حيز أقل للتركيب.
- تعمل بكفاءة تامة وجودة عالية.
- طول عمرها الافتراضي.

7. المكثفات التعويضية الساكنة

وهي عبارة عن معدات ساكنة تعمل ذاتيا لإنتاج القدرة المتفاعلة وتربط متفرعة من قضبان التحكم, وتسمى بالساكنة لبيان عدم احتوائها على أجزاء متواصلة الحركة مثل المعوضات التزامنية (المحرك التزامني) .إن الأهداف الأساسية من استخدام المكثفات كأداة تحسين للجهد والتحكم في معامل القدرة في شبكات توزيع القدرة هي[6] :

- تحسين معامل القدرة .
- تحسين تنظيم الجهد عند الأحمال.
- تحسين استقرارية الشبكة.

مكثفات القدرة المستخدمة في الشبكات الكهربائية يجب أن يتحقق فيها الشروط الآتية [6] :

- إمكانية ضخ كمية من القدرة المتفاعلة كافية للتعويض تبعا لمتطلبات الحمل.
- أن يحافظ المكثف على مقدار الجهود ثابتة تقريبا أو في الحد المسموح.
- أن يكون قادراً على العمل باستقلالية دون التأثير على استقرارية الأطوار في الشبكة.

8. نوع توصيل المكثف في الشبكة التوزيع القدرة الكهربائية:

في هذه الطريقة سيتم توصيل المكثف مع مجموعة أحمال أو ما يسمى بالتحسين التجميعي ,حيث يتم توصيل المكثف قواطع الدائرة الخاص به على قضيب التوزيع الموصل عليه مجموعة من الأحمال، حيث يتم رفع الجهد و تحسين معامل القدرة لتلك الأحمال معاً ,حيث يكون هذا التوصيل أنسب من وجهة النظر الهندسية والاقتصادية في الحالات التي تحتوي فيها الشبكة على عدد كبير من الأحمال، ويكون من الأفضل تجميع مجموعة من الأحمال وتحسين معامل القدرة و رفع الجهد لها معاً. ويتم اللجوء إلى ذلك عندما يكون من غير المكلف توصيل مكثف ذي مقنن مناسب لكل حمل على حدة [6].يتضح أيضاً أن كثيراً من شبكات القدرة لا تعمل دائماً على نفس الحمل الحالي الموصل بها ، وعلى العكس من ذلك فإن أغلب

الشبكات تعمل عند الأحمال المتوقعة مستقبليا وهي تساوي 60% من الحمل الحالي على وجه التقريب (أي على مقدار طلب يساوي 60%، بينما تكون 40% من الأحمال متوقفة أو احتياطية أو مستقبلية. معنى ذلك أن توصيل مكثف على قضيب التوزيع الرئيسي لمجموعة الأحمال العاملة فعلاً (60% من الحمل الموصل) يحقق نسبة توفير اقتصادية عالية (حوالي 40%) في سعر المكثف المطلوب فيما لو تم توصيل كل حمل بالمكثف الخاص به[6].علاوة على ما سبق فإن ظاهرة تجاوز الجهد التي تحدث في التوصيل الفردي للأحمال لا يمكن أن تحدث في التوصيل التجميعي نظرا لأن المكثف متصل بمفتاحه الخاص كما سبق توضيحه. يمكن لذلك اختيار حجم المكثف بحرية أكبر[6].

9. حساب حجم المكثف المطلوب في الشبكة

يتم ربط المكثف مع الحمل 4 والحمل 3 وهما الحملين الأعلى هبوطا للجهد حيث يشتغل المتحكم لحظة ظهور أول هبوط جهد عند الحمل 4 وهو أول حمل يحدث عنده هبوط جهد وفي هذه اللحظة يكون مقدرا القدرة الفعالة (P) والقدرة المتفاعلة(Q) ومعامل القدرة (PF) عند الحملين هو عند الحمل 3 :

$$P = 1.382\ \text{MW}, Q = 1.270\text{MVAR}, PF = 0.73\ \text{lag} \quad (16)$$

عند الحمل 4 :

$$P = 2.877\ \text{MW}, Q = 1.666\text{MVAR}, PF = 0.8667\ \text{lag} \quad (17)$$

وباستخدام الطريق الحسابية كما تم توضيحها سابقا للتأكد من دقة النتائج وبفرض أن الحمل 3 هو حمل مصنع أسمنت حيث سيكون معامل المثالي (0.78 إلى 0.80) أي بفرض معامل القدرة :

$$PF = 0.8\ \text{lagging} \quad (18)$$

أي أن:

$$S' = \frac{1.382}{0.8} = 1.7275\ \text{MVA} \quad (19)$$

والقدرة المردودة النهائية هي:

$$Q' = \sqrt{(1.7275)^2 - (1.382)^2} = 1.0365\ \text{MVAR} \quad (20)$$

وبذلك فإن حجم المكثف المطلوب يصبح

$$Q_{c3} = Q - Q' = 1.270 - 1.0365 = 0.2335\text{MVAR} \quad (21)$$

ولحساب مقدار المكثف المطلوب للحمل 4 وذلك بفرض أن الحمل هو حمل منزلي أي يحتوي على أحمال أساسية وهي سخنات مقاومية تحتاج معمل قدرة (1.00), و مصباح فلورسنت بالمكثف التي تحتاج معامل قدرة (0.95),و محركات حثيه التي تشتغل على معامل قدرة (0.75) , وبأخذ المتوسط لهذه العوامل :

$$PF = (1.00 + 0.95 + 0.75) \div 3 = 0.90 \quad (22)$$

أي يعني أن معامل القدرة يجب أن يكون

$$PF = 0.9\ \text{lagging} \quad (23)$$

أي أن:

$$S' = P \div PF = 2.877 \div 0.9 = 3.1966\ \text{MVA} \quad (24)$$

والقدرة المردودة النهائية هي:

$$Q' = \sqrt{(3.1966)^2 - (2.877)^2} = 1.3934\ \text{MVAR} \quad (25)$$

وبذلك فإن حجم المكثف المطلوب يصبح

$$Q_{c4} = Q - Q' = 1.66 - 1.3934 = 0.2666\ \text{MVAR} \quad (26)$$

إذا المكثف المطلوب استخدامه في الشبكة عند التوصيل التجميعي هو

$$Q_c = Q_{c3} + Q_{c4} = 0.2666 + 0.2335 = 500\ \text{kVAR} \quad (27)$$

بعد عمل المحاكاة للشبكة وجد أن لرفع جهد القضيب رقم 4 و القضيب رقم 3 فوق 94% من القضيب المرجع Slack يجب استخدام عدد 12 مكثف من المكثف الذي تم حسابه للقضيبين, ويمكن توصيلها معها على التوازي وربطها بوحدة التحكم أو أخذ مكثف واحد حيث تكون قيمته

$$Q_{CB} = Q_c \times n \quad (28)$$

حيث:

n : هي عدد المكثفات المطلوبة لرفع الجهد.

Q_c : مقدار المكثف المناسب لتحسين معامل القدرة.

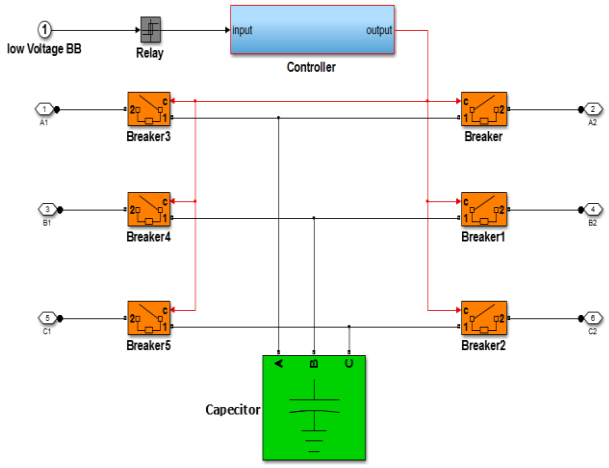
أي أن مقدار المكثف المستخدم في الشبكة:

$$Q_{CB} = 500 \times 12 = 6000\text{kVAR} = 6\text{MVAR} \quad (29)$$

10. طريقه محاكاة وعمل المكثف في شبكة توزيع القدرة :

باستخدام (Simulink SimPower) الشكل 5 يوضح تصميم دائرة المكثف للتعويض حيث يتكون من أربع مكونات رئيسيه وهي:

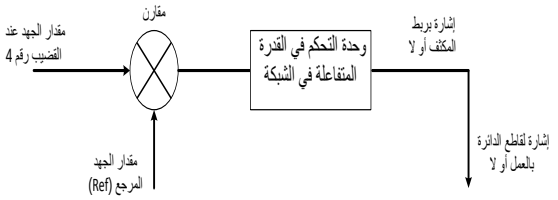
- مكثف الساكن .
- وحده تحكم في مقدار القدرة المتفاعلة في الشبكة.
- مرحل Relay.
- قاطع الدائرة.



شكل 4 .توصيل دائرة مكثف الساكن في شبكه 11 كيلو فولت

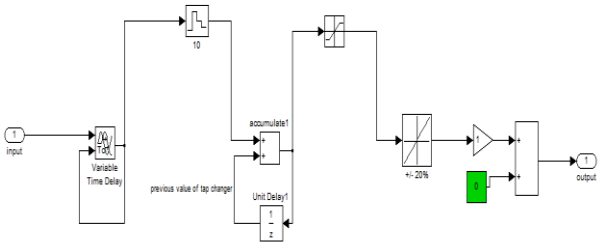
11. وحدة التحكم في القدرة المتفاعلة في الشبكة:

ويوضح الشكل (6) دائرة المتحكم الذي بدورة يتحكم بمكثف التعويض الساكن عن طريق متغير واحد وهو مقدار الجهد الذي يقيسه المرحل عند القضيب الأعلى هبوط جهد في الشبكة وهو القضيب رقم 4.



شكل 5 .مخطط لعمل المكثف مع وحدة التحكم

حيث يقيس المرحل الجهد إذا كان أقل من الجهد المرجع الذي تم ضبط المرحل عنده وهو 94%من قضيب المرجع، وفي حالة أقل من جهد المرجع يتم إرسال إشارة ربط إلى قاطع الدائرة عبر المتحكم الذي بدوره يقوم بتأخير الإشارة فترة بسيطة لمدة 10ثواني في بداية التشغيل لأن المتحكمات تصمم في الأغلب على مدة من 2 ثانية إلى 30 ثانية [8] ، وقد تم استخدام التأخير لأن الجهد سيكون صغير في بداية المحاكاة ,ثم يقوم المتحكم بتثبيت الإشارة من المرسلة من المرحل دائما إلى نهاية المحاكاة عند حصول أول لحظة هبوط جهد عند قضيب رقم 4 كما موضح في شكل 7 . الجدول 3 يوضح كيفية عمل دائرة التحكم لأجزائها ووظائف كل جزء من وحدة التحكم.

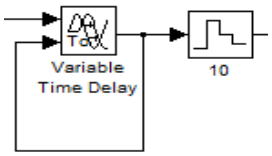
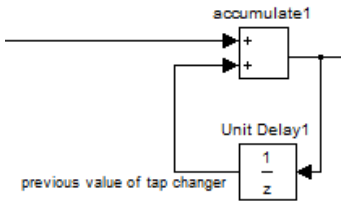


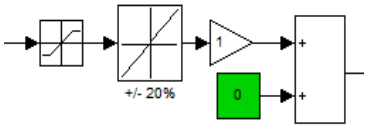
شكل 6 .دائرة المتحكم للمكثف التعويض في الشبكة

12.نتائج محاكاة شبكة توزيع القدرة الكهربائية 11 كيلو فولت بمصراتة

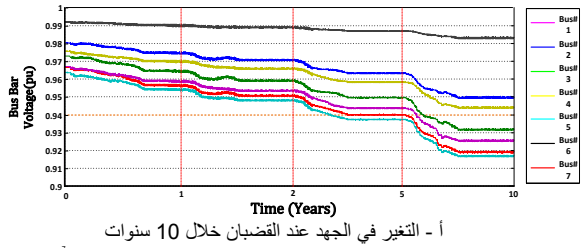
الشكل (8- أ) يوضح تغير الجهد عند قضبان التوصيل في الشبكة من الفترة الحالية إلى الفترة المستقبلية و الشكل (8- ب) يوضح مقدار التغير في الطلب للقدرة في شبكة التوزيع خلال نفس الفترة, حيث تنقسم فترة المحاكاة إلى ثلاثة مراحل عند السنة الأولى وهي الفترة الحالية و السنة الثانية والسنة الخامسة والسنة العاشرة.

جدول 3. يوضح أجزاء ووظائف كل جزء من وحدة التحكم:

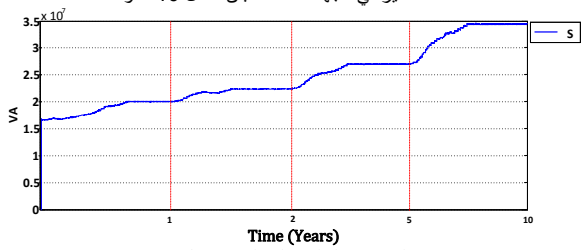
الوصف و الشكل
• المؤخر المتغير الزمنVariable time delay : يقوم بتأخير الزمن مدة 10ثانية بسبب قيمه الجهد صغيره في بداية المحاكاة

• مثبت القيمة السابقة للمتحكمPrevious value of top changer : يقوم بتثبيت القيمة والذي يقوم بأرسالها المرحل بعد تأخيرها لمدة 10ثوان. في حالة عدم وجود هبوط جهد ستكون القيمة صفر أما في لحظه الهبوط ستكون القيمة واحد دائما

• المقارن : يقوم بقارنه قيمة هبوط الجهد و مقنن المكثف المناسب وباستخدام المقارن يمكن إضافة مكثفات أخرى في حاله حصول هبوط جهد في المستقبل وقيمه المكثف غير كافيه.



يتضح من الدراسة السابقة الموضحة في الشكل 8-ب أنه بتغير مقدار القدرة المسحوبة من الفترة الحالية (20.1 MVA) إلى الفترة بعد عشرة سنوات حيث تصبح قدرة الطلب في الشبكة هي (34.54 MVA), ومن الشكل 8-أ يتضح أنه لا يوجد هبوط جهد عند أي قضيب خلال الفترة الحالية حيث كان أقل جهد عند قضيب رقم 4 هو (0.9573 pu) ,وبالتالي ستحدث مشاكل في الجهد عند أغلب القضبان حيث سيكون أعلى نقطه هبوط جهد عند القضيب رقم 4 (0.9172 pu) وثاني أعلى نقطة هبوط جهد ستكون في القضيب رقم 3 (0.9195 pu) ولذلك تم توصيل دائرة مكثف التعويض بالقضيب رقم 4 والقضيب رقم 3 كما موضح بالشكل (9) .

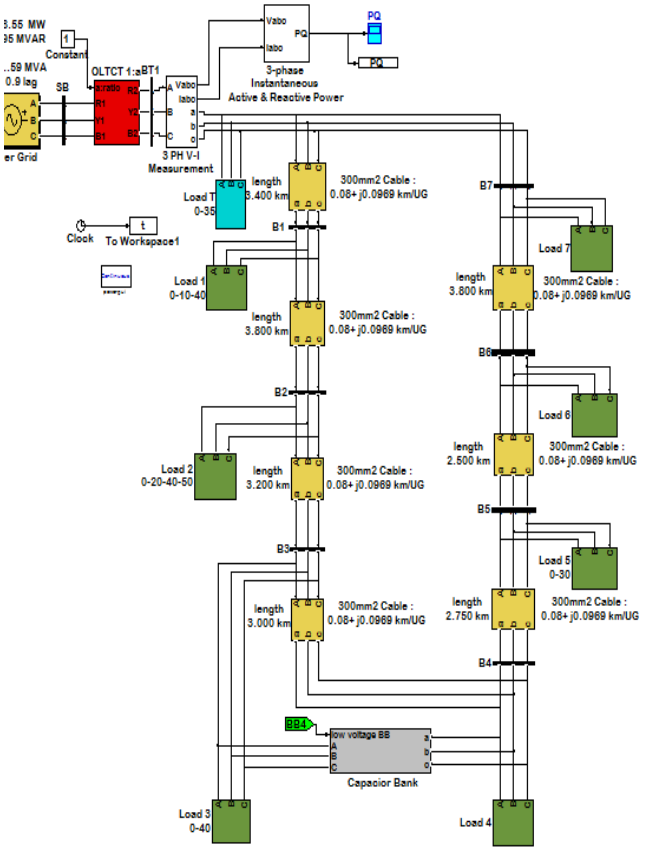


أ - التغير في الجهد عند القضبان خلال 10 سنوات



ب - التغير في الطلب على القدرة خلال 10 سنوات

شكل 7 .دراسة شبكة التوزيع (11kV) خلال 10 سنوات

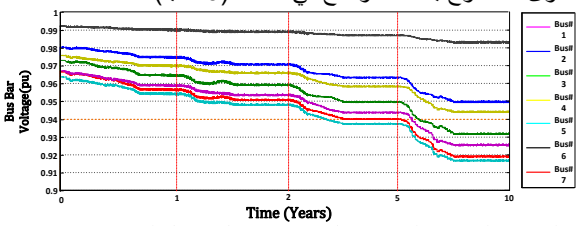


شكل 8 .توصيل مكثف التعويض بشبكة توزيع القدرة 11 كيلو فولت

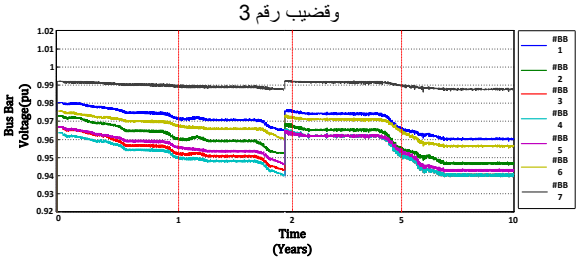
13.نتائج محاكاة شبكة توزيع القدرة(**11kV**) بعد توصيل مكثف الساكن:

بعد توصيل المكثف بنقطة أعلى هبوط جهد عند قضيب رقم 4 و توصيلة بي نقطة أسوء معامل قدرة في الشبكة عند قضيب رقم 3 وبمحاكاة الشبكة لدراسة تأثير توصيل مكثف التعويض على هبوط الجهد في الشبكة.

كما هو ملاحظ من الشكل 10-أفإن الهبوط في الجهد تجاوز % 6±, من قضيب المرجع عند بعض القضبان وهي قضيب رقم 2 وقضيب رقم 3 وقضيب رقم 4 وقضيب رقم 5 ,ولكن بعد توصيل المكثف عند لحظة حدوث هبوط الجهد في الشبكة يتم ضخ قدرة متفاعلة في الشبكة بمقدار (6MVAR) فاتضح بأن مستوى الجهد عند جميع القضبان أصبح في المستوى المسموح به كما موضح في الشكل (10-ب)



أ - التغير في الجهد عند القضبان خلال 10 سنوات قبل توصيل المكثف في قضيب رقم 4 وقضيب رقم 3

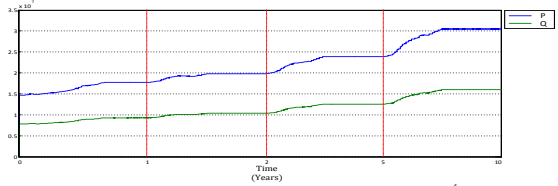


ب - التغير في الجهد عند القضبان خلال 10 سنوات بعد توصيل المكثف في قضيب رقم 4 وقضيب رقم 3

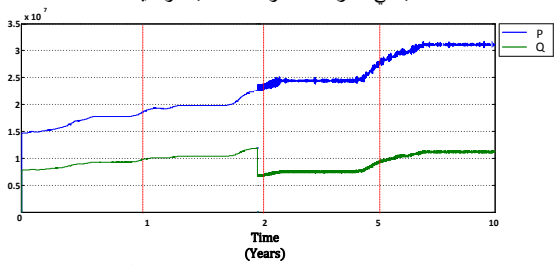
شكل 9 .بعد توصيل المكثف ومقارنتها بالقيم قبل توصيله

14.تأثير توصيل المكثف على أحمال شبكة توزيع القدرة الكهربائية 11 كيلو فولت بمصراتة

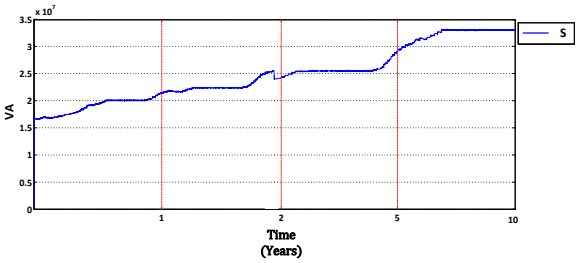
يلاحظ من الشكل 11 انخفاض سحب القدرة المركبة عند لحظة ربط المكثف في شبكة توزيع القدرة الكهربائية 11 كيلو فولت وذلك بسبب ضخ المكثف القدرة المتفاعلة التي ساهمت في رفع الجهد عند أقل نقطة هبوط جهد .



أ- الطلب في القدرة الفعالة والمتفاعلة قبل توصيل المكثف



ب - الطلب في القدرة الفعالة والمتفاعلة بعد توصيل المكثف



جـ - الطلب في القدرة المركبة بعد توصيل المكثف

شكل 10 .القدرة الفعالة والمتفاعلة المسحوبة من الشبكة بعد توصيل المكثف ومقارنتها بالقيم قبل توصيلة

ويوضح الشكل 12 مقدار تحسين معامل القدرة عند القضيبين الذين تم توصيل المكثف عندهما في أول لحظة حصول هبوط جهد في الشبكة, وتم الحصول على القيم التي تم الاعتماد عليها في حساب مقدار المكثف اللازم لرفع الجهد كما عند القضيب 3 تحسن معامل القدرة من 0.85 الى 0.9 متأخر.

شكل 11 .تحسين معامل القدرة المطلوب عند قضيب رقم 4 وقضيب رقم 3

وأخيرا أثبتت الدراسة بأن مكثف التعويض قد عالج مشاكل هبوط الجهد في شبكة توزيع القدرة 11 كيلو فولت , حيث أن هبوط الجهد الذي حصل في الشبكة في المستقبل كان في الحد المسموح به وهو (±6%) من قضيب المرجع (1pu) والجدول 4يوضح مقارنة بين الجهود قبل وبعد توصيل المكثف.

جدول 4. قيم جهود القضبان قبل وبعد استخدام المكثف التعويض

المقارنة	الجهد قبل	الجهد بعد
قضيب 1	0.9501	0.9606
قضيب 2	0.9321	0.9473
قضيب 3	0.9194	0.9409
قضيب 4	0.9172	0.9409
قضيب 5	0.9259	0.9434
قضيب 6	0.9445	0.9567
قضيب 7	0.9834	0.9879

الخلاصة

الهدف الأساسي لهذا العمل هو دراسة استقرار الجهود في شبكات توزيع القدرة الكهربائية وذلك باستخدام بيئة نمذجة ومحاكاة شبكات توزيع القدرة الكهربائية (Simulink-Simpower) بغرض الحصول على نتائج مشابهة للواقع. في هذا الاتجاه تم اختيار شبكة توزيع القدرة الكهربائية بمدينة مصراتة كنموذج للبحث وتمت محاكاتها باستخدام (Simulink-Simpower) وتحديد أقصي هبوط للجهد لشبكة توزيع 11 كيلو فولت بمدينة مصراتة وكذلك معرفة مدى تغير مستويات الجهد بهذه الشبكة عند الأحمال القصوى الحالية (20.1MVA) والأحمال المستقبلية (34.54MVA). و تحديد أعلى هبوط جهد عند القضيب 4، حيث كانت قيمته عند الحمل الحالي (0.9545 pu) وهذا يعتبر مسموح به ضمن الحد (±6%) وعند الحمل المستقبلي وجد أن مقدار الجهد عند نفس القضيب (0.9172pu) وهو أقل من النسبة المسموح بها، لذلك تم توصيل المكثفات التعويضية وذلك لرفع الجهد عند نقطة أعلى هبوط جهد في شبكة توزيع القدرة الكهربائية 11 كيلو فولت.

من خلال هذا العمل تم تحسين مستويات هبوط الجهد من الأحمال الحالية (20.1MVA) إلى الأحمال المستقبلية باستخدام المكثفات التعويضية وذلك بتوصيلها عند القضيب 4 والقضيب 3 لأنهما القضيبين الأعلى نسبة هبوط بالترتيب, وذلك باستخدام طريقة التوصيل التجميعي للأحمال وتم تحديد نوع وحجم المكثف المناسب و مقدار القدرة المتفاعلة عن طريق معامل القدرة, حيث كان معامل القدرة عند قضيب رقم 4 هو (0.86 lagging) وعند قضيب رقم 3 هو (0.73lagging) ,فأصبح معامل القدرة (0.9 lagging) عند قضيب رقم 4 و (0.80lagging) عند قضيب رقم 3 , بالتالي فإن مقدار المكثف هو (6MVAR) اللازم لرفع الجهد وجعله في المستوى المسموح به وهو (±6%) من قضيب المرجع (1pu).وكنتيجة لهذا يجب دراسة إمكانية المحافظة على مستويات الجهد ضمن (±6%) من الجهد المرجعي بالشبكة عند الأحمال المستقبلية لفترة طويلة المدى (10 سنين مثلا) وكذلك دراسة إمكانية توصيل المكثفات التعويضية عند المستوى 11 كيلو فولت وتحسين معامل القدرة عند الأحمال الضعيفة.

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 Res`earch 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، الطبعة 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] د. عبدالمنعم موسى,المكثفات"تحسين معامل القدرة"جامعة الإسكندرية 1994.

[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]Prabha Kund ,"Power System Stability And Control",EPRI Power System Engineering Series, New York, McGraw-Hill Inc, 1994.

السيرة الذاتية

د.مصطفى علي الشريف ولد في مدينة مصراتة – ليبيا , في 5 شهر سبتمبر1981. وحصل على درجة البكالوريوس في الهندسة الكهربائية والالكترونية من جامعة سرت- ليبيا،في عام 2003. تحصل على ماجستير هندسة من جامعة نوتنجهام ترنت بالمملكة المتحدة عام 2007. تحصل على شهادة الدكتوراه في نظم القدرة الكهربائية بشبكات التوزيع القدرة الكهربائية من جامعة درم بالمملكة المتحدة في عام 2013. حاليا أستاذ مساعد في قسم الهندسة الكهربائية والالكترونية في جامعة مصراتة منذ عام 2014 ومجال بحثه في التحكم في أنظمة القدرة الكهربائية وأنظمة الطاقة فائقة التوصيل.

د. الصديق امحمد الزواوي, تحصل على بكالوريوس هندسة كهربائية من جامعة مصراته, ليبيا, 2006. تحصل على الماجستير من جامعة نوتنجهام, المملكة المتحدة, 2010. تحصل على الدكتوراه من جامعة كارديف, المملكة المتحدة, 2016. يعمل حاليا كعضو هيئة تدريس في جامعة مصراته منذ عام 2016, ومحاضر في العديد من مؤسسات التعليم العالي في ليبيا.

حمزة الطويل ولد في مدينة مصراتة- ليبيا،في 11 نوفمبر 1994. وهو طالب جامعي في قسم الهندسة الكهربائية والالكترونية،جامعة مصراتة. مجال بحثه حول كيفية التحكم في استقرارا لجهد لشبكة توزيع القدرة الكهربائية باستخدام المكثفات التعويضية الساكنة.

أ.إسماعيل البطروخ ولد في مدينة مصراتة،ليبيا،في 6 يونيو 1977. في عام 2000 حصل على بكالوريوس من قسم الهندسة الكهربائية،كلية الهندسة،جامعة عمر المختار،البيضاء،ليبيا. وقد ركز مشروعه على دراسة نموذج مبسط لنظام اتصالات بتوجيه متتابعة انتشار الطيف. في عام 2008 حصل على درجة الماجستير من جامعة طرابلس،ليبيا. وكان موضوعه الرئيسي بعنوان استخدام الشبكة العصبية الاصطناعية للسيطرة على مركبة تحت الماء مستقلة ذاتيا. يعمل حاليا كعضو هيئة تدريس في جامعة مصراتة منذ سبتمبر 2009 بدرجة محاضرا مساعدا بقسم الهندسة الكهربائية والإلكترونية بكلية الهندسة بجامعة مصراتة،مصراتة،ليبيا. ومنذ أغسطس 2013 ترقى ليصبح محاضرا في جامعة مصراتة، مصراتة،ليبيا.