جامعة عين شمس
كلية الهندسة
قسم القوى والآلات الكهربية

"التحكم فى القدرة غير الفعالة لمكافحة التذبذب فى الجهد ولتقليل الفقد حال تعاظم نسبة القدرة الفوتوفولتية الموصلة بشبكات التوزيع المصرية "

مقدمة للحصول على درجة الدكتوراه فى الهندسة الكهربية (قسم القوى والآلات الكهربية)

إعداد

المهندسة / الهام محمد مصطفى درويش

حاصلة على درجة ماجستير

فى الهندسة الكهربية

(قسم القوى والآلات الكهربية)

كلية الهندسة – جامعة القاهرة ٢٠١٢

السادة المشرفون

أ.د. / سليمان محمد الدبيكى استاذ متفرغ بقسم الهندسة الكهربية – كلية الهندسة – جامعة عين شمس

أ.د. / أحمد محمد عطا الله استاذ بقسم الهندسة الكهربية – كلية الهندسة – جامعة عين شمس

أ.د. / هانى محمد حسنين استاذ بقسم الهندسة الكهربية – كلية الهندسة – جامعة عين شمس

القاهرة - ٢٠١٨

جامعة عين شمس
كلية الهندسة
قسم القوى والآلات الكهربية

"التحكم فى القدرة غير الفعالة لمكافحة التذبذب فى الجهد ولتقليل الفقد حال تعاظم نسبة القدرة الفوتوفولتية الموصلة بشبكات التوزيع المصرية "

الرسالة مقدمة من

المهندسة / الهام محمد مصطفى درويش

للحصول على درجة الدكتوراة فى الهندسة الكهربية

تحت إشراف السادة

أ.د. / سليمان محمد الدبيكى
استاذ متفرغ بقسم هندسة القوى والآلات الكهربية
كلية الهندسة – جامعة عين شمس

أ.د. / أحمد محمد عطا الله
استاذ بقسم هندسة القوى والآلات الكهربية
كلية الهندسة – جامعة عين شمس

أ.د. / هانى محمد حسنين
استاذ بقسم هندسة القوى والآلات الكهربية
كلية الهندسة – جامعة عين شمس

القاهرة - ٢٠١٨

جامعة عين شمس
كلية الهندسة
قسم القوى والآلات الكهربية

اسم الطالب : الهام محمد مصطفى درويش

عنوان الرسالة : التحكم فى القدرة غير الفعالة لمكافحة التذبذب فى الجهد ولتقليل الفقد حال تعاظم نسبة القدرة الفوتوفولتية الموصلة بشبكات التوزيع المصرية

اسم الدرجة : درجة دكتوراه الفلسفة فى الهندسة الكهربية

تحت اشراف السادة

أ.د. / سليمان محمد الدبيكى استاذ متفرغ بقسم الهندسة الكهربية – كلية الهندسة – جامعة عين شمس
أ.د. / أحمد محمد عطا الله استاذ بقسم الهندسة الكهربية – كلية الهندسة – جامعة عين شمس
أ.د. / هانى محمد حسنين استاذ بقسم الهندسة الكهربية – كلية الهندسة – جامعة عين شمس

لجنة الحكم

الاسم	التوقيع
أ.د. / أهداب محمد كامل المرشدى استاذ متفرغ بقسم الهندسة الكهربية – كلية الهندسة – جامعة القاهرة	.....
أ.د. / المعتز يوسف عبد العزيز استاذ بقسم الهندسة الكهربية – كلية الهندسة – جامعة عين شمس	.....
أ.د. / سليمان محمد الدبيكى استاذ متفرغ بقسم الهندسة الكهربية – كلية الهندسة – جامعة عين شمس	.....
أ.د. / هانى محمد حسنين استاذ بقسم الهندسة الكهربية – كلية الهندسة – جامعة عين شمس	.....

الدراسات العليا

اجيزت الرسالة بتاريخ ...../...../..... **تاريخ المناقشة :** ...../...../.....

موافقة مجلس الكلية بتاريخ : **موافقة مجلس الجامعة بتاريخ :**

...../...../..... ...../...../.....

ختم الاجازة :

جامعة عين شمس
كلية الهندسة
قسم القوى والآلات الكهربية

اسم الطالب : الهام محمد مصطفى درويش

عنوان الرسالة : التحكم فى القدرة غير الفعالة لمكافحة التذبذب فى الجهد ولتقليل الفقد حال تعاظم نسبة القدرة الفوتوفولتية الموصلة بشبكات التوزيع المصرية

اسم الدرجة : درجة دكتوراه الفلسفة فى الهندسة الكهربية

تحت اشراف السادة

أ.د. / سليمان محمد الدبيكى استاذ متفرغ بقسم الهندسة الكهربية – كلية الهندسة – جامعة عين شمس
أ.د. / أحمد محمد عطا الله استاذ بقسم الهندسة الكهربية – كلية الهندسة – جامعة عين شمس
أ.د. / هانى محمد حسنين استاذ بقسم الهندسة الكهربية – كلية الهندسة – جامعة عين شمس

لجنة الإشراف

الاسم	التوقيع
أ.د. / سليمان محمد الدبيكى استاذ متفرغ بقسم الهندسة الكهربية – كلية الهندسة – جامعة عين شمس	.....
أ.د. / احمد محمد عطا الله استاذ بقسم الهندسة الكهربية – كلية الهندسة – جامعة عين شمس	.....
أ.د. / هانى محمد حسنين استاذ بقسم الهندسة الكهربية – كلية الهندسة – جامعة عين شمس	.....

ملخص الرسالة

مع تزايد معدل استخدام الطاقة الشمسية الفوتوفولتية وربطها بشبكة الجهد المنخفض بشركات التوزيع بجمهورية مصر العربية ، تظهر بعض المشاكل وأهمها تذبذب الجهد بالشبكة الكهربية لذلك فان هذه الدراسة يقدم عدة طرق لتحسين الجهود بتعويض الانخفاض فى الجهد طبقا للنسب القياسية العالمية المسموح بها وخصوصا فى نهاية الخطوط بالشبكة الكهربائية دون الاحتياج لإنشاء بنية تحتية جديدة ، وكذلك دراسة تأثير التوسع فى توليد الطاقة الفوتوفولتية على اداء محولات التوزيع وعمرها الافتراضى باستخدام برنامج MATLAB /Simulink ومن هذه الطرق :-

طريقة التحكم فى ضخ القدرة الغير فعالة للتحكـــم فى الزاوية المحصورة بين الجهد والتيار (θ) لإمكانية تحسين قيمة الجهود فى الحدود المسموح بها طبقا للمواصفات العالمية حيث أدى ذلك الى زيادة قدرة خط التوزيع لاستيعاب أحمال جديدة وكذا تقليل الفقد الكلى للخط وتم ذلك بعمل محـــاكاه لخط توزيع محمل عليه سبعة منازل ، حمل كل منزل عشرة ك.وات يغـــذى من محول زيتى جهد ٢٢ / ٠.٤ ك.ف.

وباستخدام طرق اكثر تقـــدما باستخـــــــــــدام النماذج الرياضية (الخوارزميات) مثل Whale Optimization Algorithm (WOA) و Genetic Algorithms (GAs) لنفس نموذج الشبكة اعلاه وتحت نفس ظروف التشغيل وباختيار القيم المثلى للمتغيرات والمدخلات لعاكس الجهد وعمل عدة محاولات للتحكم فى خرج عاكس الجهد وتحسين الجهود وخاصة فى نهاية الخط بالشبكة الكهربائية ، ترتب على ذلك تحسين نسبة الفقد الفنى وزيادة القدرة الاستيعابية للخط ، وقد تم عمل مقارنة بين نتائج استخدام هاتين الطريقتين والطريقة الأولى حيث اتضح أن أفضل هذه الطرق هى طريقة Whale Optimization Algorithm (WOA).

هذا ولأهمية محولات التوزيع التى تعتبر من أهم مكونات الشبكة فقد تم القيام بدراسة نظرية وعملية لمحول توزيع زيتى قدرة ٥٠٠ ك.ف.أ جهد ٠.٤/٢٢ ك.ف يغذى عدد ٣٠ منزل منهم عدد ١٠ منازل مركب لديهم خلايا فوتوفـولـتـيـة قدرة ١٠ ك.وات لكل منزل ويتم ضخ كامل القدرة المنتجة الى الشبكة بإجمالى ١٠٠ ك.وات التى تمثل حوالى ٢٠ % من القدرة الاسمية للمحول مع افتراض اتزان الاحمال ، وقد تم استخدام قيم وقياس خرج عاكس الجهد ، وتم عمل محاكاة بهذه القيم عن طريق استخدام قياسات القدرة الفعالة والحرارة على مدى الأربع والعشرين ساعة لليوم الواحد ولمدة إحدى عشر شهر تبدأ من ١ يناير حتى ٣٠ نوفمبر لعام ٢٠١٥ وباستخدام برنامج الماتلاب مع عمل مقارنة بين نتائج الحساب والقياسات العملية ، وجدت النتائج متقاربة جدا مما يدل على دقة النموذج المستخدم.

كذلك تم استخدام معادلات الحرارة الخاصة بالمحولات كما ورد بالمواصفات القياسية العالمية IEC 60067 وتم دراسة تأثير ضخ القدرة الفعالة ١٠٠ ك.وات على الأداء والعمر الافتراضى للمحول وقد خلصت النتائج الى أهمية وجود الطاقة الشمسية فى تخفيض درجة حرارة الزيت داخل الخزان وتحسين الاداء وإطالة العمر الافتراضى للمحول.

محتوى الرسالة

تتكون الرسالة من ستة فصول كالتالى : -

الفصل الاول : يقدم هذا الفصل مقدمة عن أهمية الكهرباء فى حياة الانسان وأهمية وجود الطاقة الشمسية الفوتوفولتية ومميزاتها وعيوبها، ودور الحكومة المصرية فى استصدار القوانين لتشجيع المشتركين والمستثمرين لإنتاج الطاقة الشمسية فى ظل ما تتمتع به مصر بمناخ متميز.

الفصل الثانى : من القراءات السابقة ، يقدم هذا الفصل أسس وعمل الخلايا الشمسية وأنواعها وكيفية توصيلها بشبكة الجهد المنخفض، كما يتم تقديم أنواع عاكس الجهد وكذا القاء الضوء على الدراسات السابقة للخوارزميات التى استخدمت فى تحسين الجهود بالشبكة دون الحاجة لبنية تحتية .

الفصل الثالث : هذا الفصل يقدم دراسة عن التوسع فى استخدام الطاقة الشمسية لعدد ٧ منازل تم تركيب خلايا شمسية وربطها بشبكة التوزيع من خلال الربط على الجهد المنخفض والتحكم فى الجهد من خلال استخدام القدرة الغير فعالة لمعالجة انخفاض الجهد وخاصة فى نهاية خط التغذية عن طريق التحكم فى الزاوية بين الجهد والتيار (□) ومعامل القدرة ومدى الاستفادة لتقليل الفقد وزيادة سعة النظام .

الفصل الرابع : فى هذا الفصل يركز على استخدام طرق احدث من المستخدمة بالفصل الثالث لنفس النظام وتحت نفس ظروف التشـــــغيل باستخـدام النماذج الرياضية مثل (WOA, GAs) وعمل محاكاه باستخدام MATLAB /Simulink وعمل مقارنة بين هاتين الطريقتين والطريقة المستخدمة بالفصل الثالث والتى يتضح من خلال النتائج ان طريقة WOA هى الأفضل فى تقليل الفقد فى الجهد وخاصة فى نهاية الخط ويمكن تعويض هذا الفقد دون استخدام بنية تحتية جديدة ويترتب على ذلك تقليل نسبة الفقد الفنى وزيادة الاستيعاب لاحمال اضافية .

الفصل الخامس : يقدم هذا الفصل دراسة لحالة عملية عن مدى تأثير انتشار استخـــــدام الطاقة الشمسية على محول التوزيع الزيتى قدرة ٥٠٠ ك.ف.أ جهد ٢٢ / ٠.٤ ك.ف الذى يغـــــــذى عدد ٣٠ منزل منهم عدد ١٠ منازل قام أصحابها بتركيب خلايا شمسيـــــــــــة قدرة ١٠ ك.وات وتم ضخ ١٠٠ ك.وات للشبكة بما يعادل ٢٠ % من قدرة المحول وتم استخدام القراءات والقياسات الحقيقية لعمل محاكاة باستخـدام برنامج MATLAB /Simulink وعمل مقارنة بين النتائج والقياسات الحقيقية وجدت متقاربة جدا مما يدل على دقة النموذج المستخدم . كما تم استخدام معادلات الحرارة الخاصة بمحولات التوزيع لحساب درجات حرارة الزيت داخل الخزان ومدى تأثير وجود الخلايا الفوتوفولتية على كفاءة المحول وعمره الافتراضى .

الفصل السادس : يتضمن هذا الفصل النتائج التى تم الحصول عليها من هذه الرسالة .

Ain Shams University
Faculty of Engineering
Electrical Power and Machines Department

REACTIVE POWER CONTROL FOR VOLTAGE FLUCTUATIONS MITIGATION AND POWER LOSS REDUCTION UNDER HIGH PHOTOVOLTAIC PENETRATION IN THE EGYPTIAN DISTRIBUTION NETWORKS

BY

Eng. Elham Mohamed Moustafa Darwish

A Thesis Submitted to
Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering,
Ain Shams University
In Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Doctor of Philosophy

Supervisors

Prof. Dr. / Soliman Mohamed El-Debeiky **Prof. Dr. / Ahmed Mohamed Atallah**

Prof. Dr. / Hany M.Hasanien

Electrical Power & Machine Department

Faculty of Engineering, Ain Shams University

Cairo - 2018

Ain Shams University
Faculty of Engineering
Department of Electrical Power and Machines

REACTIVE POWER CONTROL FOR VOLTAGE FLUCTUATIONS MITIGATION AND POWER LOSS REDUCTION UNDER HIGH PHOTOVOLTAIC PENETRATION IN THE EGYPTIAN DISTRIBUTION NETWORKS

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement of the Degree of Doctor of Philosophy

BY

Eng. Elham Mohamed Moustafa Darwish

Supervised by

Prof. Dr. / Soliman Mohamed El-Debeiky

Prof. Dr. / Ahmed Mohamed Atallah

Prof. Dr. / Hany M.Hasanien Department

Department of Electrical power and Machines – Ain Shams University

Cairo - 2018

Ain Shams University
Faculty of Engineering
Department of Electrical Power and Machines

REACTIVE POWER CONTROL FOR VOLTAGE FLUCTUATIONS MITIGATION AND POWER LOSS REDUCTION UNDER HIGH PHOTOVOLTAIC PENETRATION IN THE EGYPTIAN DISTRIBUTION NETWORKS

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement of the Degree of Doctor of Philosophy

BY

Eng. Elham Mohamed Moustafa Darwish

Examiners Committee

Name & Affiliation	Signature
Prof.Dr./ Ahdab M.K Elmorshedy	……..
Professor of Electrical Power Engineering – Cairo, University	
Prof.Dr./Almoataz yossef abdelaziz	……..
Professor of Electrical Power Engineering – Ain shams, University	
Prof.Dr./ Soliman Mohamed El-Debeiky	……..
Professor of Electrical Power Engineering – Ain shams, University	
Prof.Dr./ Hany M.Hasanien	……..
Professor of Electrical Power Engineering – Ain shams, University	

Date : ...../...../.....

Ain Shams University
Faculty of Engineering
Department of Electrical Power and Machines

REACTIVE POWER CONTROL FOR VOLTAGE FLUCTUATIONS MITIGATION AND POWER LOSS REDUCTION UNDER HIGH PHOTOVOLTAIC PENETRATION IN THE EGYPTIAN DISTRIBUTION NETWORKS

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement of the Degree of Doctor of Philosophy

BY

Eng. Elham Mohamed Moustafa Darwish

Supervisors Committee

Name, Title and Affiliation	Signature
Prof.Dr./ Soliman Mohamed El-Debeiky Electrical Power and Machines Department Faculty of Engineering, Ain shams, University	……..
Prof.Dr./ Ahmed Mohamed Atallah Electrical Power and Machines Department Faculty of Engineering, Ain shams, University	……..
Prof.Dr./ Hany M.Hasanien Electrical Power and Machines Department Faculty of Engineering, Ain shams, University	……..

Date : ...../...../.....

ACKNOWLEDGMENTS

In the name of ALLAH, most gracious, most merciful all deepest thanks are due to almighty ALLAH, the merciful and compassionate for uncountable gifts given to me. I would like to use this opportunity to thank Prof.Dr. Soliman El-Debeiky, for valuable supervision, his advice and support, useful suggestions, and active help. I wish to express my sincere thanks to Prof.Dr. Ahmed Atallah whose assistance in guiding me throughout this research, continuous encouragement and help me throughout thesis. I would like also to thank Prof.Dr. Hany M. Hasanien for his assistance in this research and for providing me with the facilities that made this work possible. I would like to express my sincere thanks to my mother, my Brother Eng. Adham, my daughter "life rose", Yasmin mohamed and my son in law Major. Mohamed fouad – My sweet heart grandson zyad, and my sisters, Eng. Amany Dr. salwa, Dr. Hanan, and all my family's members. For all their love and support during my studies.

Finally, I want to thank "South Cairo for electricity distribution company" (SCEDC) for supporting me, and all my colleagues at my work, for their cooperation and all the assistance when needed during the execution of this work.

This work is dedicated to my father's soul

Eng. Elham Mohamed Darwish

17/1/2018

ABSTRACT

The increasing penetration levels of distributed photovoltaic (PV) generation in the Egyptian Electrical Distribution Networks presents many challenges and opportunities for the Distribution Utilities. In practice, it has been found that several problems arise, with the ever increasing PV penetration at a distribution system and connected with the low voltage (LV) grid.

One of the main troubles is the voltage fluctuations at the distribution network buses. Further the voltage drop and the power losses increase. Therefore, the controlled PV systems that are connected to the grid can participate to enhance the voltage especially at the grid end, keeping the voltage at accepted value.

Thus, this thesis focuses on the optimal methods to controlling line voltage of distribution grids especially with the PV generation penetration, without need to infrastructure, also, this thesis illustrates the impacting of PVs spread on distribution transformer performance, and lifetime under these conditions Here, the system is simulated using the MATLAB/Simulink and the study is carried out using several methods.

By utilizing a controlled solar inverter, the reactive power (Q) control could be achieved as instituted by certain network codes. This method, which is based on the grid voltage profile for locations – dependent of power factor (PF), setting premium, could be allocated to the whole solar inverters. The main target is to mitigate unnecessary Q absorption. This method combines two droop functions the PF- active power (P) and the Q - V strategies. The performance for each inverter, is to compare with the output voltage and the injected reactive power that is controlled. Hence, the enhancement of the voltage profile at an appointed bus can decrease the total losses, saving the consumed power and thus augment the system capacity.

For the enhancement of the performance of the described PV system, the PV inverter is fully controlled by the proportional plus integral (PI) controller through a cascade control scheme. The salient feature of this study is the optimum design of the PI controller using the novel Whale Optimization Algorithm (WOA). The main objective is to get the optimal Maximum

Percentage Under Shoot (MPUS) as compared with that obtained by using the Genetic Algorithm (GAs) and trial and error methods.

Further, the transformer is one of the most valuable components of the distribution systems. Therefore, this study focuses on the impact of the rooftop PV system that injects a maximum of 100 kW to the LV grid on the performance of the oil-immersed distribution transformer of 500 kVA, 22/0.4 kV Dyn 11 by using real data. The rest of the transformer capacity is assumed loaded by balanced normal loads. The results are then compared with the results of the simulated model values, with several scenarios for different loadings of the transformer up to the maximum power of the PV arrays, thus, about 20% of the transformer full load rating. Simulation is carried out by the MATLAB/Simulink program under various atmospheric conditions. The study supposed each PV inverter supplies the network with 10 kW reverse power flow. A thermal model is adopted using the measurements of the reactive power and the temperature over the twenty hours of days along eleven months, from 1 January to 30 November 2015, based on the 15 minutes interval and captures the impacting of the installed PV arrays variability at this time. The results for both real measurements and simulated results have been found very close. This denotes the precision of the simulation model.

Furthermore this thesis, proves that the PVs units are extending the useful life time for the distribution transformers. This can be ascribed to that the existence of the PVs relieve the load rating of the transformer. Hence the study shows improving effect on the transformer insulation. Also, PVs reduce the daily top oil temperature, hot spot temperature. Thus, extending the transformer life time. Thus, improvements depend on the load rating, the ambient temperature and the PV penetration level.

Table of Contents

Acknowledgement	I
Abstract	II
Table of Contents	IV
List of symbols	V
List of Abbreviation	VIII
List of Figures	IX
List of Tables	XI
Chapter (1) Introduction	1
1.1 General	1
1.2 Thesis objectives	3
1.3 Thesis outlines	4
Chapter (2) Review of Literature Basic Principles of PV Electricity Generation	6
2.1 Basic Brinciples	6
2.1.1 General	6
2.1.2 PV System	7
2.1.3 Sorts of PV Installing and Technics	8
2.1.3.1 Stand- alone system	9
2.1.3.2 Grid-connected system	9
2.1.3.3 Hybrid system	10
2.1.4 PV Modules	10
2.1.4.1 Series and parallel connections in PV modules	11
2.1.5 Photovoltaic Inverter Types	12
2.1.5.1 Central inverter	13
2.1.5.2 String inverter	13
2.1.5.3 Multi-string inverter	13
2.1.5.4 Micro-inverter	13
2.1.5.5 Smart inverter	13
2.2 Previous Research Work Done by Others Related To The Present Investigation	14
2.2.1 Voltage Stability Analysis Techniques	14
2.2.1.1 Static voltage stability analysis techniques	14
2.2.1.2 Dynamic Voltage Stabilization diagnosed Techniques	15
2.2.1.3 Optimization techniques for determining optimum PV placement and sizing for voltage stability improvement	15
2.2.2 Optimization Techniques Algorithms	17
Chapter (3) Reactive Power Control of Three- Phase -Low Voltage Systems Based on Voltage Sensitivity to Increase PV Penetration Levels	19
3.1 Introduction	19
3.1.1 Proportional Integral Controller	19
3.2 Reactive Power supply Capability of Basic Concepts in Analysis of Distributed Generators	21
3.3 Inverter Controller	23
3.4 Simulation Results	26

3.4.1 PV Characteristics 26
3.4.2 Analysis and Discussion of Results 28
3.5 Advantage of PV installation 33
3.6 Disadvantages of PV System for Rooftops under Study 34
3.7 Conclusion 34
Chapter (4) Performance Improvement of the Distribution Systems Using Meta-heuristic Algorithm Controlled PV System 36
4.1 Introduction 36
4.2 Background of The Present Study 37
4.3 System Modeling 38
4.4 Optimal Design 39
4.4.1 Synchronization 39
4.4.2 Mathematical Algorithms 41
4.4.2.1 The RSM 41
4.4.2.2 The GAs method 41
4.4.2.3 Whale optimization algorithm (WOA) 42
4.4.2.3.1 Inspiration of whales 42
4.4.2.3.2 Mathematic pattern and enhanced algorithm by WOA 43
4.5 Optimization Procedures 47
4.6 Simulation Results 51
4.6.1 PV Characteristics 51
4.6.2 The Results and discussion 51
4.7 Conclusion 53
Chapter (5) The Impact of PV Penetration Levels on Distribution Transformer Performance and Lifetime 54
5.1 Introduction 54
5.2 Distribution Transformer and Rooftop PV 56
5.3 Simulation of Real Measurements and Discussion 57
5.3.1 Balanced Operating Conditions 59
5.3.2 Simulation Results 60
5.3.3 Real Output Profiles 61
5.4 The Impact of PV on the oil - Immersed Distribution Transformer 65
5.5 Thermal Aging Equations 70
5.5.1 Distribution Transformer Loss of Life 70
5.5.2 Transformer Ageing Equations 71
5.5.3 Hot- Spot Temperature (HST) Estimation 72
5.4.4 Results of Thermal Aging Study 73
5.4.4.1 Thermal aging without PVs power injection 73
5.4.4.2 Thermal aging with PVs power injection 74
5.6 Conclusion 77
Chapter (6) Conclusion 78
References 86
List of publications 87