مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (40) العدد (3) 2018
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (40) No. (3) 2018

تأثير التوليد الموزع على استقرار الجهد الكهربائي وعلاقته بنوع المولد المستخدم (تزامني–تحريضي) في الحالة الساكنة والديناميكية للشبكة الكهربائية

ابراهيم حسن*

(تاريخ الإيداع 3 / 4 / 2018. قُبِل للنشر في 21/ 5 / 2018)

□ ملخّص □

بسبب الزيادة الكبيرة والمتسارعة للطلب على الطاقة الكهربائية ومع الانحسار التدريجي لمصادر الطاقة غير المتجددة (وقود احفوري وغيرها) كان لا بد من تطوير أداء المنظومات الكهربائية لتلبية الحاجات المتزايدة للطاقة الكهربائية لذلك فإن استخدام التوليد الموزع وربطه مع الشبكات الكهربائية الرئيسية يشكل أحد هذه الأساليب ولكن هذا الربط سيسبب بعض المشاكل منها تغير في الجهد الكهربائي لذلك كان لا بد من تطوير الأدوات المساعدة لمراقبة التغيرات الحاصلة ومعالجتها.

في هذا البحث تمت نمذجة نظام توزيع كهربائي شعاعي الأداء ودراسة تأثير الربط الموزع على استقرار الجهد الكهربائي في الحالة الساكنة والديناميكية للشبكة الكهربائية وحسب نوع المولد تزامني أو تحريضي.

* ماجستير في هندسة نظم القدرة الكهربائية– جامعة دمشق

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (40) العدد (3) 2018
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (40) No. (3) 2018

The Impact Of Distribution Generation On Voltage Stability And Its Relation With The Type Of Generator(Synchronous-Induction) In Static And Dynamic State Of Electrical Network

Ibrahim Hasan*

(Received 3 / 4 / 2018. Accepted 21 / 5 / 2018)

□ ABSTRACT □

Due to the large and rapid increase in the demand for electricity and the gradual decline of non-renewable sources of energy (fossil fuels, etc.), the performance of electrical systems has to be developed so the use of distributed generation and its connection with the main networks is one of these methods but this linkage causes some problems like changing in electrical voltage.

In this research a radial electric distribution system was simulated and studied the effect of distributed generation on electrical voltage stability -in static and dynamic state-and its effect when the generator is synchronous or induction.

*Master Degree in Electrical Engineering –Damascus University

مقدمة:

إن النظام الكهربائي يتم تصميمه عادة لنقل الاستطاعة الكهربائية الحقيقية والردية من محطات التوليد باتجاه الاحمال الكهربائية عبر خطوط نقل القدرة وشبكات التوزيع الكهربائية. [8]

نظام التوزيع الكهربائي يقوم بتغذية الأحمال عبر ثانوي محولات الاستطاعة في محطات التحويل الكهربائية.

مع وجود التوليد الموزع فإن نظام التوزيع الكهربائي يصبح مستهلك ومنتج للقدرة الكهربائية بآنٍ واحدٍ، لذلك يجب تعديل خصائص عمل نظام القدرة الكهربائية لأنه أصبح ينقل الاستطاعة الكهربائية باتجاهين (من محطات التوليد الى نظام التوزيع ومن الأحمال الى نظام التوزيع أيضاً).

التوليد الموزع هو عبارة عن توليد الطاقة الكهربائية عبر مولدات صغيرة باستطاعات من 1.5MW وقد تصل لـ 100MW تكون مرتبطة مباشرة مع نظام التوزيع الكهربائي. [7]

تتضمن تقنيات التوليد الموزع الخلايا الشمسية والعنفات الريحية وخلايا الوقود والعنفات الصغيرة الاستطاعة.

الأفضلية الأهم للتوليد الموزع في تقديم الطاقة للمستهلك بضياعات أقل وفعالية أعلى مقارنة بمحطات التوليد المركزية مع خطوط نقل الطاقة ونظم التوزيع الكهربائية.

من ناحية أخرى فإن التوليد الموزع له تأثير واضح على جريان الاستطاعة والجهد الكهربائي في الشبكة الكهربائية.

هذا التأثير ممكن أن يكون إيجابي أو سلبي حسب عمل نظام التوزيع الكهربائي وخصائص المولدات المستخدمة في التوليد الموزع.

أهمية البحث وأهدافه:

سنقوم في هذا البحث بإيجاد تأثير التوليد الموزع على استقرار الجهد الكهربائي في نظام التوزيع في الشبكة الكهربائية مع الأخذ بعين الاعتبار نموذج المولدات الموزعة المستخدمة وخصائص الأحمال ونظام التوزيع.

2- نمذجة شبكة التوزيع

2-1 نمذجة الحالة الساكنة

2-1-1 نمذجة المحولات وخطوط التوزيع:

تمت نمذجة المحولات بالاعتماد على الدارة المكافئة الشكل π متضمنة المقاومة والمفاعلة أما المكثفات التفرعية فيمكن اهمالها لأن الخطوط قصيرة الطول. [9][7]

2-1-2 نمذجة المولدات الموزعة:

يتم التحكم بالمولدات التزامنية للحصول على استطاعة فعلية واستطاعة ردية بقيم ثابتة وليس من أجل الحصول على جهد ثابت.

لذلك فإن المولدات التزامنية يمكن التعبير عنها كجهاز استطاعة فعلية و ردية [7].

أما بالنسبة للمولدات التحريضية فإن الاستطاعة الردية تتغير حسب جهد البارات المتصلة بالمولدات لذلك فان الاستطاعة االردية المستهلكة من قبل هذه المولدات تتغير حسب جهد البارات.

وباعتبار ان جهد الشبكة الكهربائية في الحالة الساكنة مساوي لـ 1p.u فإنه يمكن اعتبار ان استهلاك الاستطاعة الردية له قيمة ثابتة.

بالتالي يمكن التعبير عن المولدات التحريضية كجهاز استطاعة حقيقة وردية [7].

بالتالي نتيجة لما سبق يمكن تمثيل المولدات التزامنية والتحريضية في الشبكة الكهربائية في الحالة الساكنة كجهاز استطاعة حقيقية وردية.

2-1-3 نمذجة الأحمال:

يتم نمذجة الأحمال كمستهلكات للاستطاعة الردية والفعلية متصلة بنظام التوزيع الكهربائي [9].

ويعبر النموذج الساكن عن الاحمال كتابع لمطال الجهد والتردد [9].

في حالة المولدات الموزعة الصغيرة فإن تردد الشبكة الكهربائية في حالة ربط هذه المولدات أو عدم ربطها لا يتغير ويمكن اعتبار قيمته ثابتة.

تقسم الأحمال الكهربائية الى أحمال صناعية، أحمال تجارية، أحمال سكنية. وكل حمل يتألف من عدة أحمال ذات طبيعة كهربائية مختلفة: أحمال ممانعة، أحمال التيار الثابت، أحمال الاستطاعة الثابتة.

يتم حساب الاستطاعة الظاهرية الكلية للحمل الكامل عند الـ عقدة i من العلاقة:

$$S_i = \sum_{k=1}^{n} P_{ik} + jQ_{ik} \qquad (1)$$

$$P_{ik} = P_{iko}(\frac{U_i}{U_{io}})^{\alpha} \qquad (2)$$

$$Q_{ik} = Q_{iko}(\frac{U_i}{U_{io}})^{\beta} \qquad (3)$$

حيث:

P_{iko} Q_{iko}:الاستطاعة الفعلية والردية عند التوتر U_{io}

α،β : ثابتان تتعلق قيمتهما بحسب الحمل حيث قيمتهما تساوي الصفر عند حمل استطاعة ثابتة، وتساوي الـ1 عند أحمال التيار الثابت، وتساوي الـ2 عند احمال الممانعة.[4]

3-معادلات الجهد الكهربائي:

يتم تصميم نظام القدرة الكهربائية لنقل الاستطاعة الكهربائية من محطات التوليد الى المستهلكين [8]. يظهر في الشكل (1) وحدة توليد موزع مرتبطة بنظام توزيع كهربائي عبر خط نقل ذي ممانعة $Z_{ij} = R_{ij} + jX_{ij}$.

حيث أن التوترات$U_J . U_i$ هي التوترات الكهربائية لبار المحطة الكهربائية والتوتر الكهربائي للبار المربوط عنده وحدة التوليد الموزع.

قيمة الاستطاعة الكهربائية المحقونة في الشبكة تعطى بالعلاقة:

$$S_I = P_I + jQ_I = \\ (P_{dg} + jQ_{dg}) - (P_{Lj} + jQ_{Lj}) \quad (4)$$

حيث:

S_I: الاستطاعة المحقونة من وحدة التوليد الموزع الى الشبكة الكهربائية.

$P_{dg}Q_{dg}$: الاستطاعة الحقيقية والردية المولدة من وحدة التوليد الموزع.

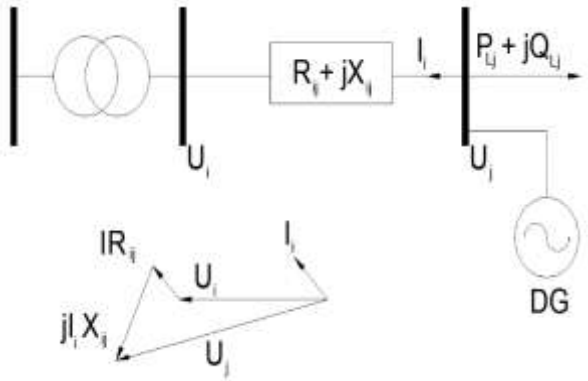
$P_{Lj}Q_{Lj}$: الاستطاعة الحقيقية والردية للحمل.

وباعتبار أن:

$$S_I = U_j I_I^*$$
$$I_I = (P_I - jQ_I)/U_j^*$$
$$U_j = U_i + I_I Z_{ij}$$
$$U_j = U_i + (R_{ij} + jX_{ij})(P_I + jQ_I)/U_j^*$$
$$= U_i + \frac{P_I R_{ij} + Q_I X_{ij}}{U_j^*} + \frac{j\left(P_I X_{ij} - Q_I R_{ij}\right)}{U_j^*} \quad (5)$$

وباعتبار ان الزاوية بين التوترات $U_j . U_i$ صغيرة جداً ويمكن اهمالها بالتالي يمكن اهمال الحد الثالث $\frac{j(P_I X_{ij} - Q_I R_{ij})}{U_j^*}$ من المعادلة (5) لذلك فإن تغيير الجهد في هذه الحالة سيكون:

$$\Delta U = \frac{P_I R_{ij} + Q_I X_{ij}}{U_j^*}$$
$$= \frac{\{(P_{dg} - P_{Lj})R_{ij} + (Q_{dg} - Q_{Lj})X_{ij}\}}{U_j^*} \quad (6)$$



الشكل (1)

الاستطاعة الحقيقية المولدة من وحدة التوليد الموزع تسبب ارتفاع في جهد الشبكة الكهربائية بينما الاستطاعة الردية يمكن أن تزيد الجهد أن تنقصه حسب تقنية التوليد. المولدات التزامنية يمكن أن تولد أو تستجر استطاعة ردية في حين أن المولدات التحريضية فإنها تستهلك استطاعة ردية فقط. واعتماداً على ذلك إضافة الى نسبة R/X للنظام الكهربائي وخصائص نظام التوزيع الكهربائي و الأحمال المتصلة به يمكن تحديد فيما اذا كان الجهد الكهربائي في العقدة المتصل بها وحدة التوزيع سيزداد أو ينقص.

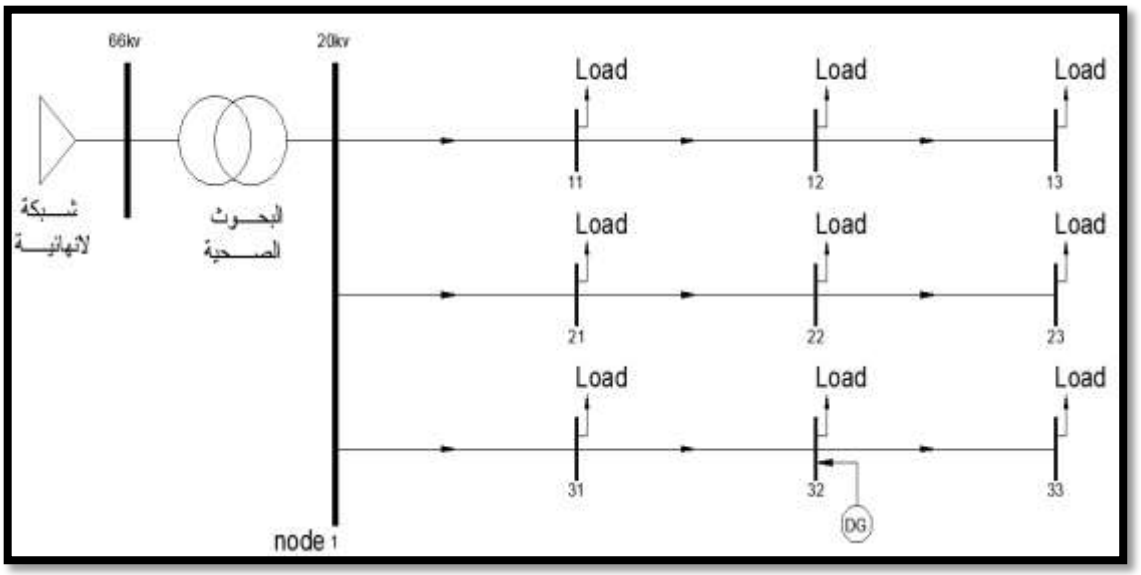
4–النمذجة:

الشبكة التي سيتم نمذجتها هي خرج محطة تحويل البحوث الصحية 66/20 Kv في منطقة الديماس؛ حيث ستتم الدراسة على أساس إضافة وحدات توليد موزع عند نقاط مختلفة من مراكز التحويل التابعة لهذه المحطة وسيتم مناقشة حالة المولدات التزامنية والمولدات التحريضية ومراقبة استقرا الجهد في الحالتين.

نظام التوزيع الكهربائي في هذه الحالة هو نظام توزيع شعاعي والمحولة العاملة في محطة تحويل البحوث الصحية ستعتبر مرتبطة بشبكة لانهائية (جهد ثابت وتردد ثابت) وهو مبين بالشكل (2).

المحول الكهربائي66/20Kv باستطاعة 20 MV.A والحمل الكهربائي للمحطة(4.5 MW , 0.5 MVAR) [10].

يتم نمذجة النظام المدروس باستخدام MATLAB R2013b مكتبة الSimpower system وهو موضح بالشكل (3).



الشكل (2)

النتائج والمناقشة:

النتائج:

الجهد في الحالة الساكنة:

ارتفاع الجهد: تم اختبار ربط مولدات تحريضية ومولدات تزامنية على العقدة 32 باستطاعات توليد مختلفة.

في الجدول (1) يبين نتائج المقارنة بين الحالة الطبيعية بدون وحدات توليد موزع ومع وحدات التوليد التزامنية والتحريضية.

الجدول (1)

	الجهد الكهربائي مقدراً بـ p.u				
وحدات التوليد الموزع مرتبطة بالعقدة 32	Base Case without DG	With DG In.Gen 3.5 MW	With DG In.Gen 1.5 MW	With DG Syn.Gen 1.5 MW	With DG Syn.Gen 3.5 MW
node 1	1	1.01	1.05	1.03	1.04
node 31	0.96	0.99	1.01	1	1.06
node 32	0.95	0.985	1	1.03	1.07
node 33	0.945	0.98	0.995	1.03	1.06

استقرار الجهد: تمت دراسة استقرار الجهد الكهربائي في الحالات التالية:

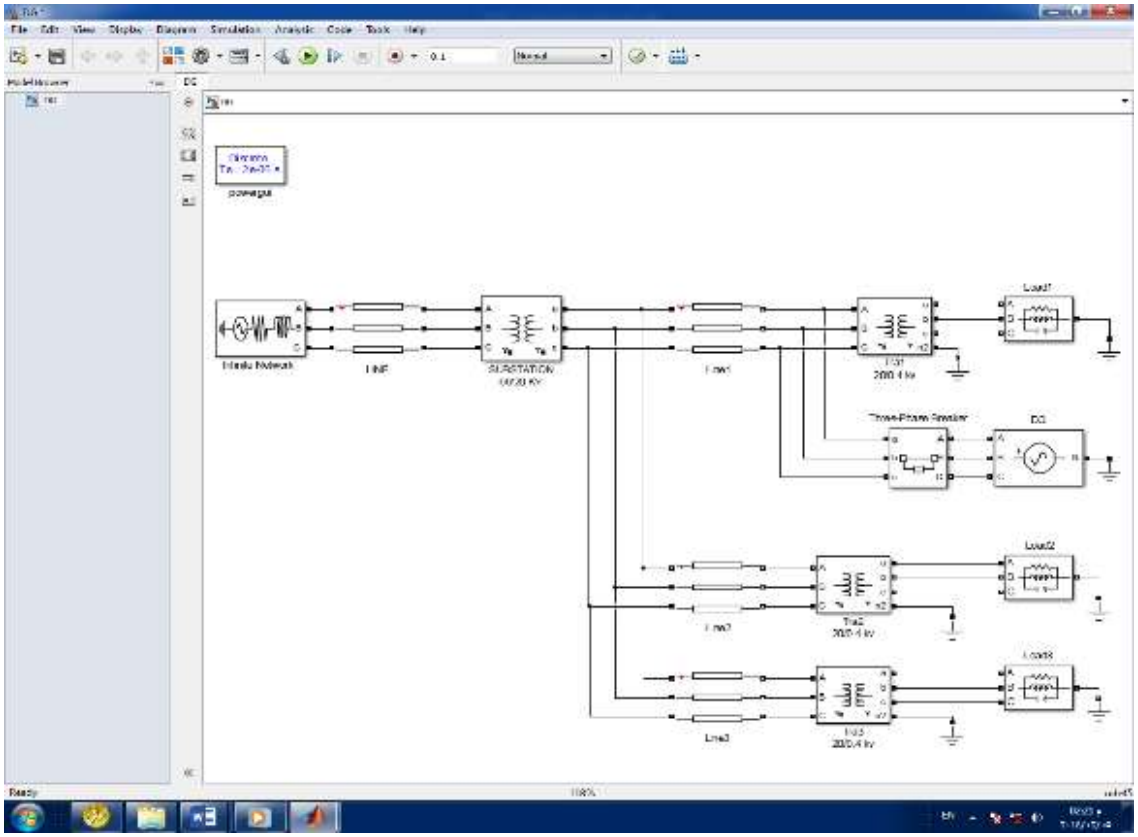
1- وحدة توليد موزع مرتبطة بالعقدة 1(أي إضافة وحدة التوليد مباشرة الى محطة التحويل).

2- وحدة توليد موزع مرتبطة بالعقدة 32

3- وحدة توليد موزع مرتبطة بالعقد 12 و21 و32.

-في كل الحالات فإن وحدة التوليد الموزع تؤثر في تغير واستقرار الجهد الكهربائي في الشبكة المدروسة ويكون لها تأثير واضح على العقد القريبة (كما هي الحالة في العقدة12) وتأثير أقل على العقد البعيدة (كما هي الحال في العقدة1).

-مناقشة الجداول (3،2): مقارنة بين نتائج استقرار الجهد عند ربط وحدات التوليد الموزع في العقد الثلاث مع الحالة الأساسية التي هي بدون توليد موزع نجد أن المولدات التزامنية لها تأثير أكبر على استقرار الجهد بسبب قدرتها على حقن الاستطاعة الردية ويمكننا أيضاً ملاحظة ان الجهد الكهربائي في حالة المولدات التحريضية يكون قريب من الجهد في الحالة الطبيعية عند عدم وجود توليد موزع.



الشكل (3)

الجدول (2)

استقرار الجهد في العقدة 13 (الحالة الساكنة مولد تزامني)				
power node12	power 3nodes	power node 1	power Base	**Voltage**
4.25	3.5	2.9	2.3	**0.42**
4.5	3.65	3	2.3	**0.49**
4.75	3.75	3	0.75	**0.51**
4.95	3.75	3	2.2	**0.55**
5	3.65	3	2.15	**0.6**
5.25	3.65	2.95	2.1	**0.65**
5.25	3.6	2.6	2	**0.7**
5.25	3.5	2.3	1.5	**0.75**
4.6	2.9	1.45	1	**0.85**
3.75	2	1	1	**0.9**

الجدول (3)

استقرار الجهد العقدة 13 (الحالة الساكنة مولد تحريضي)				
power node12	power 3nodes	power node1	power Base	**Voltage**
5.2	5	4.8	4.8	**0.5**
5	4.8	4.5	4.5	**0.6**
4.2	4	3.6	3.6	**0.7**
2.6	2.6	2.6	2.6	**0.8**
1.4	1.4	1.4	1.4	**0.9**

الجهد في الحالة الديناميكية:

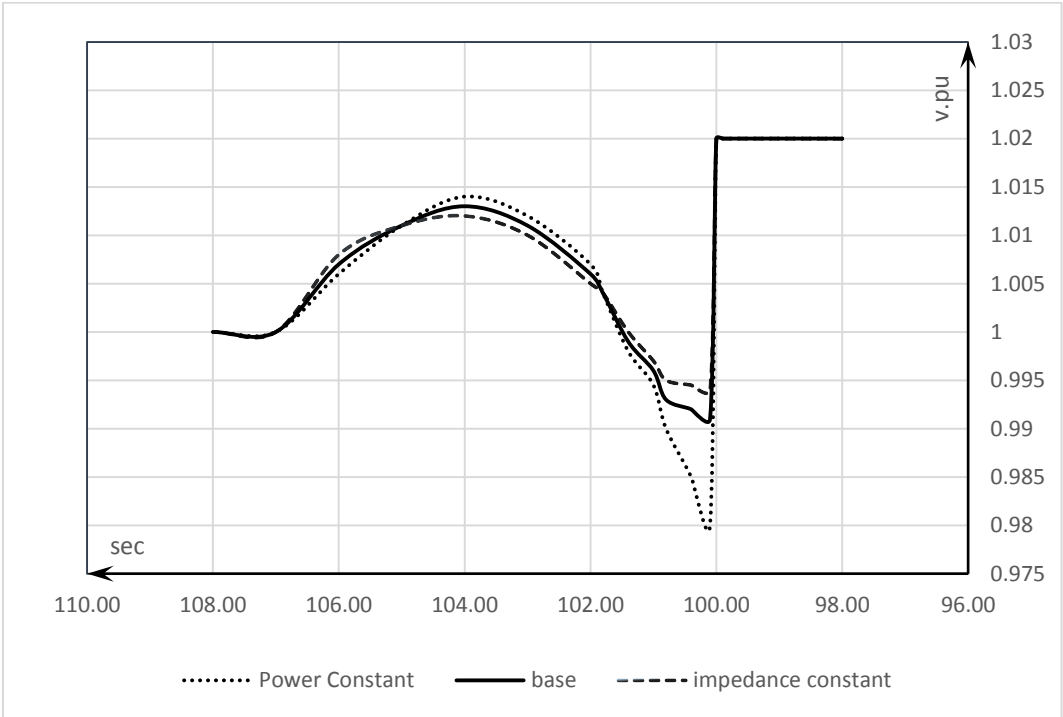
الحالة الديناميكية تدرس في اللحظة S=100 sec (أي عند الزمن 100 ثانية سيام تطبيق حالة العمل الديناميكية) والمولدات الموزعة مرتبطة بالعقد الثلاثة 12 و21 و32 مع استطاعة توليد مقدرة بـ 1 ميغا واط لكل الأنواع التحريضية والتزامنية.

من الأشكال (4،5) ينتج ما يلي:

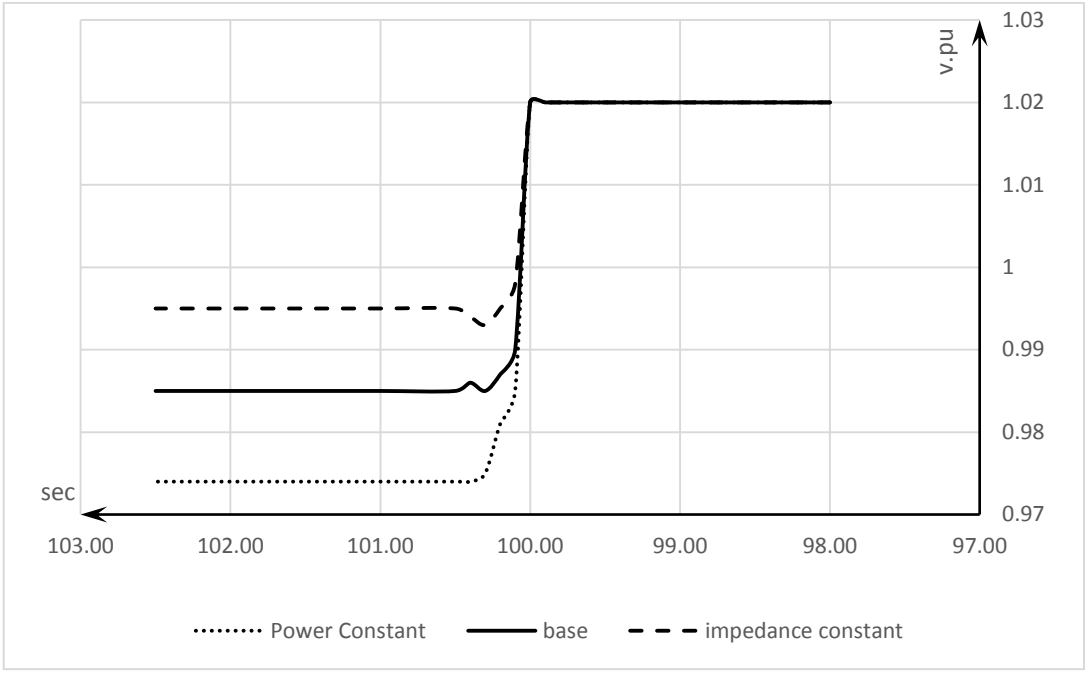
-هبوط الجهد أكبر في حالة الحمل ذو الاستطاعة الثابتة وأقل عند الحمل ذو الممانعة الثابتة لكلا النوعين التحريضي والتزامني.

-في المولدات التزامنية التوتر قريب من التوتر قبل حدوث الاضطراب.

-في المولدات التحريضية التوتر لا يكون قريب بسبب عدم القدرة على تعويض الاستطاعة الردية.



الشكل (4) استقرار الجهد في الحالة الديناميكية -مولد تزامني



الشكل (5) استقرار الجهد في الحالة الديناميكية –مولد تحريضي

من الأشكال (4،5) ينتج ما يلي:

–هبوط الجهد أكبر في حالة الحمل ذو الاستطاعة الثابتة وأقل عند الحمل ذو الممانعة الثابتة لكلا النوعين التحريضي والتزامني.

–في المولدات التزامنية التوتر قريب من التوتر قبل حدوث الاضطراب.

– لا يوجد فرق كبير (بحدود 1%) بين الجهد في الحالة الطبيعية قبل وصل المولدات الموزعة التزامنية وبعد وصلها لذلك فإن المولدات الموزعة التزامنية ليس لها تأثير واضح على استقرار الجهد في الحالة الديناميكية.

–في المولدات التحريضية التوتر لا يكون قريب بسبب عدم القدرة على تعويض الاستطاعة الردية.

الاستنتاجات والتوصيات:

1– التوليد الموزع له تأثير على مستوى الجهد للنظام الكهربائي وذلك بسبب حقنها للاستطاعة بالشبكة الكهربائية.

2– المولدات الموزعة لا تسبب تغير كبير في الجهد الكهربائي في الحالة الديناميكية إذا كان المولد تزامني أما في المولد التحريضي فإن التغير في الجهد يكون واضح.

3– موقع وصل المولدات الموزعة له تأثير على العقد المجاورة أكبر من العقد البعيدة لذلك عند إضافة أي مولد للشبكة الكهربائية يجب دراسة موقع ونوع هذا المولد وتأثيره على الجهد الكهربائي.

المراجع

1-The electric power engineering Handbook-L L Grisby 2001
2-Distributed Generation: A Definition- Thomas Ackermann 2001
3-Stabitity of distribution networks with embedded generators and induction motors – J.V. Milanovic 2002
4-integration of dispersed generation on distribution networks-impact Studies-J. A Pecas lopes 2002
5-Practical equipment models for fast distribution power flow considering interconnection of distributed generators- Suganda naka 2001
6-Dispersed Generation interconnection and its impact on power loss and protection system-Belmans 2004
7-Improving voltage stability with the connection of distributed generation- Johan Driesen-2003
8-نظم القدرة الكهربائية 1-سويدان جامعة دمشق
9-محاضرات في التوليد الموزع-صبح-2011 جامعة دمشق