بسم الله الرحمن الرحيم

شبكة المعلومـــــات الجامعية

التوثيق الالكتروني والميكروفيلم

شبكة المعلومات الجامعية

جامعة عين شمس

التوثيق الالكتروني والميكروفيلم

﴿ قـــسـم ﴾

نقسم بالله العظيم أن المادة التي تم توثيقها وتسجيلها
علي هذه الأفلام قد اعدت دون آية تغيرات

يجب أن

تحفظ هذه الأفلام بعيداً عن الغبار

في درجة حرارة من 15 – 20 مئوية ورطوبة نسبية من 20-40 %

To be kept away from dust in dry cool place of
15 – 25c and relative humidity 20-40 %

بعض الوثائق الأصلية تالفة

بالرسالة صفحات

لم ترد بالأصـــل

الجمهورية العربية السورية
جامعة دمشق - كلية الهندسة الكهربائية والميكانيكية
قسم هندسة الطاقة الكهربائية

رسالة ماجستير

دراسة نظرية وتطبيقية
لاختيار التقنية المثلى لتقويم وتحسين الاستقرار العابر لنظم القدرة الكهربائية

أعدت للحصول على درجة الماجستير في الهندسة الكهربائية من
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية
اختصاص : طاقة كهربائية

إعداد

المهندس محمد عمار ساعاتي

بإشراف

الأستاذ الدكتور علي حمزة

قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهندسة الكهربائية والميكانيكية
جامعة دمشق

لجنة الحكم

الأستاذ الدكتور شوقي البطل	جامعة دمشق
الأستاذ الدكتور علي حمزة	جامعة دمشق
الأستاذ الدكتور عبد الله سعيد	جامعة تشرين

1421 هـ - 2001 م

B\-٨-١

المقدمة

عـــندما يكون تردد نظام القدرة الكهربائية ثابتا فهذا يعني انه يعمل في حالة توازن استطاعة Power balance، أي أن الاســتطاعة الفعالــة المولّــدة فيــه تســاوي الاستطاعة الفعالة للأحمال بالاضافة للضــياعات و الاستطاعة المسلمة إلى نظم مرتبطة به Tie flows . اذا اختل هذا التوازن يبدأ التردد بالانحــراف عن قيمته الاسمية ، فيتزايد في حالة التوليد الفائض ويتناقص لأجل عجز في التوليد . و نظــرا لأن تردد جهد المولد تحدده سرعة دوران الدائر ، فيتم التحكم بالتردد عن طريق التحكم بسرعة هذا الدائر (أي سرعة العنفة).

و بمــا أن تــردد الــنظام هو نفسه في كل موقع فيه ، فيجب أن تدور المولدات جميعها بالسرعة ذاتها (لأجــل توتر ثابت طبعا) أي أن تعمل متزامنة . ولحسن الحظ ، تكون المولدات المتزامنة العاملة على التوازي "مستقرة" بطبيعتها ، و لو كان الأمر غير ذلك فمن المستحيل تصور نظام قدرة متعدد الآلات. ويقصــد بالمصــطلح "مستقرة" أن المولدات تستطيع تجاوز اضطرابات عشوائية صغيرة قد تصيبها ، والعودة إلى التزامن .

نعتــبر نظام قدرة منعزل (أي غير مرتبط بأي نظام قدرة آخر) متعدد الآلات تردده ثابت . و نفترض حمــلا فجائيا وصل إلى نقطة ما من النظام ، فتتغير نتيجة لذلك طبوغرافية الشبكة لحظيا ويتغير الجهد ، قيمة وزاوية ، على مخارج كل مولد . ومن المعلوم أن المولد ينتج استطاعته الفعالة عن طريق عزم كهرومغناطيسي معاكس لجهة الدوران يتولد على محوره نتيجة للعزم الميكانيكي للعنفة والذي يساوي ويعاكس عزم المولد في حالة العمل النظامي (قبل توصيل الحمل المفاجئ). ان الزيادة المفاجئة للحمل تسبب زيادة مفاجئة في عزم المولد وبالتالي خللا في توازن عزمي المولد و العنفة بحيث يعاكس العزم الصافي جهة الدوران ، الأمر الذي يؤدي إلى تباطؤ دوار المولد .

تترافق هذه العملية بتدخل مجموعة من التأثيرات تحاصر التدهور المتراكم للسرعة . أول هذه العوامل هــو الخاصــية الطــبيعية للعنفة البخارية و العنفة المائية في أنها تميل لانتاج عزم ميكانيكي أكبر عند الســرعة الأبطــأ لدرجة أنها قد تلغي حالة عدم توازن العزوم ، الطارئة. إضافة لذلك فالعنفة مجهزة بــنظام تحكــم بالسرعة سرعان ما يستجيب لحالة السرعة البطيئة فتفتح صمامات التحكم لتزيد التدفق وبالتالي العزم الميكانيكي . ثمة أيضا الخاصية العامة للمحركات وهي تناقص الحمل الميكانيكي لها مع تــناقص سرعة المحرك ؛ فانخفاض التردد يؤدي لتناقص سرعة المحركات و بالتالي إلى هبوط الحمل

الكـــلي لنظام القدرة ، موازنا بذلك زيادة الحمل الأصلية . بالإضافة إلى هذه التأثيرات فان نظام التحكم بتردد النظام مصمم لضبط انحراف التردد عن قيمة مرجعية ضمن مجال معين عن طريق التأثير على صمام العنفة.

ولكـــن على الرغم من مناعة النظام من خلال تخطيطه وتخطيط تشغيله وتصميمه بالجودة العالية فثمة أخطـــار تهـــدد نظـــام القـــدرة غالبا ما تأتي من اضطرابات جسيمة تصيبه و تسبب استجابته استجابة ديـــناميكية عـــنيفة بحيث تفقد بعض مولدات النظام تزامنها . من هذه الاضطرابات الأعطال و تحرير الأعطـــال و الفصل غير المبرمج للخطوط و المولدات ... الخ. وتدرس تأثيرات مثل هذه الاضطرابات مـــن خـــلال تحـــليل مـــا يسمى الاستقرار العابر للنظام . ان دراسة الاستقرار العابر تؤلف احدى أهم عمليات تخطيط التشغيل Operation planning لنظم القدرة الكهربائية.

موضـــوع الماجســـتير هو انجاز بحث عنوانه "دراسة نظرية وتطبيقية لاختيار التقنية المثلى لتقويم و تحســـين الاســـتقرار العابر لنظم القدرة الكهربائية". و قد تم تحقيق خطة البحث المقررة و اعداد رسالة مكونة من ستة فصول موزعة على النحو التالي:

يتضـــمن الفصـــل الأول تعـــريفا بالاستقرار العابر و مجالات تطبيق دراساته و سردا تاريخيا للتقنيات المستخدمة في تحليل وتقويم الاستقرار بالاضافة الى تصنيف مفهوم الاستقرار .

أمـــا الفصـــل الـــثاني فيقـــدم النماذج الرياضية الأساسية لدراسات الاستقرار العابر كمعادلات التأرجح ومعـــادلات الاســـتطاعة زاويـــة لنوعي الآلات التزامنية ، الآلة التزامنية العنفية و الآلة التزامنية ذات الأقطاب البارزة.

ويكرس الفصل الثالث لبناء خوارزميات الحل العددي لمعادلات التأرجح و استنتاج الخوارزمية المثلى لحساب المحدد الهام في دراسات الاستقرار وهو زمن الفصل الحرج للعطل الواقع على نظام القدرة كما يتضمن الفصل بناء خوارزمية عامة لهذا الموضوع لأجل نظام قدرة بنموذج مبسط ذي باسين، و تصميم برنامج حاسوبي STABILITY1 تمت كتابته بلغة Delphi وهي لغة عالية المستوى ومرئية وغرضية التوجه Object-oriented. واستخدم البرنامج لتحليل الاستقرار لشبكات اختبارية وأيضا لتطبيقات من الشبكة السورية.

أمـــا الفصـــل الـــرابع فيتـــناول تحليل الاستقرار العابر لنظام قدرة متعدد الآلات باستخدام طرق الحيز الزمـــني Time-domain methods وقـــد تـــم فـــي هـــذا الفصل صياغة النموذج الرياضي وبناء خوارزميـــة عامـــة و تصـــميم بـــرنامج حاســـوبي STABILITY2 بلغة Delphi قادر على دراسة الاســـتقرار لأي نظام قدرة واقعي بمنوباته ومحولاته وخطوطه وحمولاته كافة. وقد استخدم البرنامج المـــنجز فـــي التحـــليل لتطبيقات عملية متعددة أثبتت صحة البرنامج و فعاليته ومرونته . كما تضمن الفصـــل العوامـــل المؤثرة في الاستقرار العابر و الاجراءات الكفيلة بتحسين هذا الاستقرار . و تجدر الاشارة الى أن النموذج الرياضي الأساسي المعروف في المراجع قد تم تطويره واستكماله.

فـــي الفصل الخامس تم التعرض لطرق غير تقليدية في تحليل الاستقرار الساكن والعابر و تم التعمق فـــي طريقة تابع الطاقة العابرة Transient Energy Function فقمنا بصياغة النموذج الرياضي لها كمـــا تـــم بـــناء خوارزمية عامة و تصميم وتنفيذ برنامج حاسوبي STABILITY3 اختبر بنجاح من خـــلال تطـــبيقه على الشبكات النموذجية ذاتها المستخدمة في برامج الحيز الزمني وكذلك على الشبكة الســـورية . و بمقارنـــة نـــتائج الحساب بالطريقتين تبين أن النتائج متطابقة الى حد بعيد من جهة و أن طريقة تابع الطاقة تعطي زمن الفصل الحرج مباشرة على عكس طرق الحيز الزمني التي تتوصل لهذا المحدد بطريقة التجربة والخطأ.

الفصـــل السادس يقدم عرضا عاما لأحدى التقنيات الحديثة المستخدمة في تحليل الاستقرار العابر وهي تقنية شجرة القرار Decision Tree Method التي تعد احدى تطبيقات تقنيات الذكاء الاصطناعي.

لقـــد توصـــل البحث بالبراهين النظرية والتطبيقية و باستخدام أحدث التقنيات الرياضية والحاسوبية الى تلمس المزايا والمثالب للطرق المختلفة المستخدمة في تقويم الاستقرار العابرلنظم القدرة الكهربائية مما أتـــاح اعتـــبار أن طريقة تابع الطاقة العابرة هي التقنية المثلى لأجل نظم القدرة ذات النماذج الرياضية المبسطة (خاصة للمنوبات) و أن طريقة الحيز الزمني هي التقنية المثلى للنماذج الرياضية المعقدة .

الفصل الأول
الاستقرار العابر في الاطار العام
An overview of transient stability

1-1 تمهيد

تـــنامت أنظمة القدرة الكهربائية من حيث الحجم والتعقيد في العقود الأربعة المنصرمة. وكان معـــدل النمو كبيراً سواء في البلدان المتقدمة أو البلدان النامية. و تجسد هذا النمو بمظاهر عدة أهمها:

- ادخال مستويات توتر عالية جداً في نظم النقل،
- وحدات توليد كبيرة الاستطاعة،
- معـــدات خاصة بهدف رفع الاستطاعة المنقولة عبر مسارات نقل "ضيقة" narrow corridors (مـــثل مـــنظمات زاويـــة الطور، مكثفات تسلسلية، معوضات ستاتيكية للاستطاعة الردية ومسارات نقل قدرة بالمستمر HVCD).

ويمكـــن تـــلخيص معايير جودة أداء قطاع الكهرباء ، والتي تعد أهدافا عليه تحقيقها ، بالنقاط التالية /4/:

- تـــزويد الاســـتطاعة بـــنوعية مقبولة (أي المحافظة على التوتر والتردد ضمن الحدود المسموح بها لدى المستهلك النهائي، وعدم ظهور توافقيات).

- المحافظـــة عـــلى وثوقيـــة عاليـــة للتزويد بالطاقة (أي تأمين الكهرباء للمستهلك بلا انقطاعات أو بحد أدنى منها. وهذا يرتبط ارتباطاً وثيقاً بأمان النظام Security).

- تلبية الطلب على الطاقة بشكل فعّال.

- الاستخدام الأمثل Optimal use لمصادر الطاقة المتاحة (فحم، غاز، نفط، مياه، وقود نووي... الخ).

- تشغيل نظام القدرة بشكل اقتصادي وبكفاءة عالية.

- الانتباه إلى الآثار البيئية لنظام الطاقة والحرص على عدم الإضرار بالبيئة.

وعـلى الـرغم مـن التناقض الجزئي conflicting لهذه الأهداف ، فقد أدرك العاملون في بحـوث الكهـرباء مـنذ زمن طويل أن دراسة استقرار نظام القدرة يؤلف واحداً من العوامل الأكثر أهمية في مرحلتي تخطيط النظام وتشغيله.

الاسـتقرار العابـر هو تقويم لمقدرة النظام على تحمّل اضطرابات كبيرة وعلى تجاوز مرحلة الانـتقال إلى ظروف تشغيل جديدة مقبولة. ونعني بالاضطرابات الكبيرة الأعطال القاسية (مثل قصـر ثلاثـي الطور)، انقطاع توليد أو حمولة، خروج جزء من شبكة النقل من الخدمة. هذه الاضطرابات تطلق عادة عوابر transients كهرومغناطيسية معقدة ومن الصعب التنبؤ بها. لذلـك، ينبغي إجراء العديد من الحسابات بواسطة النمذجة الرقمية Digital simulation أثناء مرحلة التخطيط بهدف تجميع المعارف حول النظام. وعلى الرغم من التصميم الجيد والتشغيل المدروس فقد يواجه النظام خطر عدم الاستقرار العابر. وعليه، مع تنامي الاجهادات على نظم القدرة في أيامنا هذه، تُلحّ الحاجة إلى تقويم الاستقرار العابر أثناء التشغيل on - line .

2-1 تعريف أولي للاستقرار العابر Preliminary definition

الـتعريف الكلاسيكي (التقليدي) للاستقرار وفق اقتراح الباحث E.W.Kimbark عام 1948 هو:

استقرار نظام القدرة هو مصطلح يطبق على نظم القدرة ذات التيار المتناوب. يشير الاستقرار إلى حالـة تحـافظ فيهـا مـنوبات الـنظام عـلى تزامنها مع بعضها البعض أو بالإنكليزية remaining in step. وعـلى النقيض فإن عدم الاستقرار يشير إلى حالة تنطوي على فقدان التزامن أو falling out of step.

وبغيـة وصـف الاستقرار العابر وصفاً مبسطاً، نعتبر نظام قدرة مؤلفا من جملة من المنوبات والحمـولات مـترابطة مـع بعضـها البعض عن طريق نظام النقل. تحت ظروف التشغيل النظامية، تعمل المنوبات جميعها بالسرعة التزامنية. لدى حدوث اضطراب كبير تبدأ المنوبات بالـتأرجح swinging بالنسبة لبعضها البعض؛ ويمكن تمثيل حركتها بمعادلات تفاضلية غير خطيـة. الحـد الأدنى لعـدد هـذه المعـادلات التفاضلية من الدرجة الأولى هو ضعف عدد المـنوبات، ويمكـن أن يزداد هذا العدد حسب طريقة المحاكاة وتعقد النماذج التي تمثل نظام القدرة.

من وجهة نظر نظرية الأنظمة system theory، فإن الاستقرار العابر هو مسألة عالية اللاخطية وعالية البعدية highly dimensional. الطريقة التقليدية لمعالجة هذه المسألة هي التكامل العددي للمعادلات في حيز الزمن Time-domain numerical integration.

المعلومات التي تعطي فكرة دقيقة حول الاستقرار العابر لنظام قدرة هي:

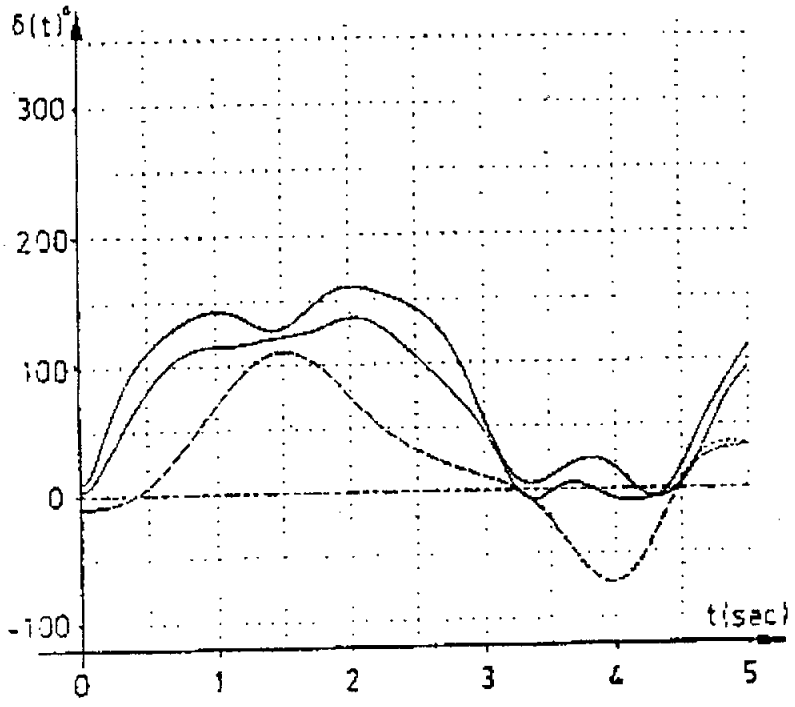
- زمن الفصل الحرج Critical clearing time وهو الفترة الأعظمية لدوام الاضطراب دون أن يفقد النظام مقدرته على استعادة التشغيل النظامي (المستقر).

- منحنيات التأرجح Swing curves وهي المنحنيات التي تصف تغير زاوية الدوار للمنوبات δ مع الزمن. ويبين الشكل 1-1 منحنيات تأرجح نموذجية لنظام يحتوي على أربع منوبات، واحدة منها تفرض كمنوبة مرجعية ($\delta = 0$) . في الحالة آ يتم فصل العطل قبيل انتهاء زمن الفصل الحرج (حالة استقرار) وفي الحالة ب يتم الفصل بعد انتهاء زمن الفصل الحرج (حالة عدم استقرار).

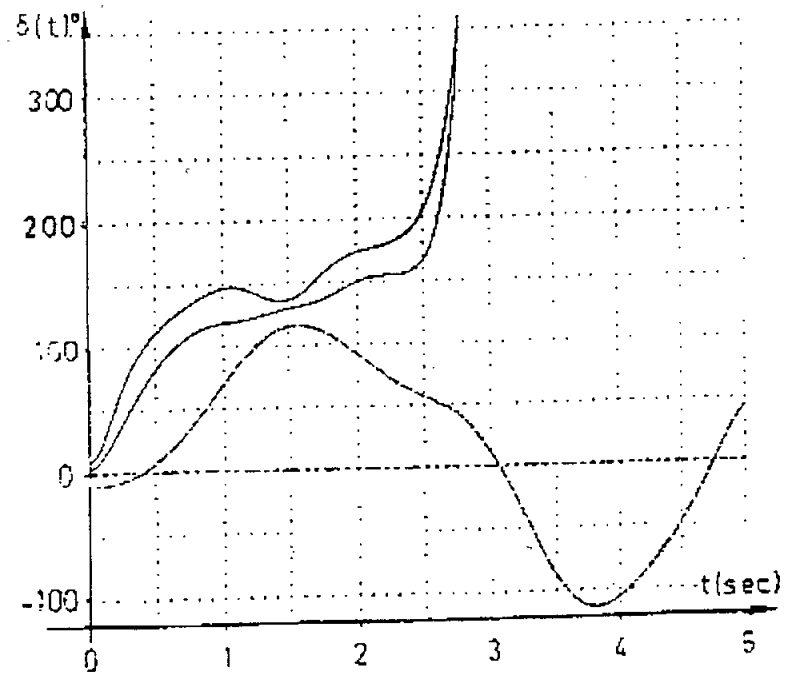
وتجدر الإشارة إلى أن التقويم التقليدي للاستقرار العابر ينطوي على اعتبار ثلاث مراحل متمايزة:

- مرحلة قبل العطل pre-fault
- مرحلة أثناء العطل during-fault (fault-on)
- مرحلة بعد العطل post-fault

التعريف الآنف الذكر يعطي فهماً عاماً للموضوع. وسنقدم معلومات أكثر دقة وتفصيلاً في الفقرة 1-5 من هذا الفصل.



الشكل 1-1 آ منحنيات التأرجح لنظام أربع منوبات (حالة استقرار عابر)



الشكل 1-1 ب منحنيات التأرجح لنظام أربع منوبات (حالة عدم استقرار عابر)

3-1 ضرورات دراسات الاستقرار العابر، ومجالات التطبيق ومقتضياتها

Application fields and corresponding needs

على الرغم من التعددية في بنية نظم القدرة واستراتيجيات التشغيل فيمكن القول أن نظم القدرة جميعها تتطلب حاجات ومقتضيات عامة بالنسبة إلى مجال تطبيق معين. وقد جرت العادة أن نميز ثلاثة مجالات ، لكل منها متطلباته الخاصة التي نجدها ملخصة في الجدول 1-1.

الجدول 1-1 مجالات التطبيق ومقتضياتها

حاجات	ملاحظات أساسية	متطلبات أساسية		التطبيق (مصنف زمنياً)
		دقة	سرعة	
• أدوات إظهار • تحليل حساسية (*)	دراسة حالات متعددة	هامة	مرغوبة	تخطيط النظام (شهور إلى سنوات)
• هوامش السلامة • تحليل حساسية	ربط الاقتصاد مع الأمان (حل أمثل)	هامة	حرجة	تخطيط التشغيل (أيام إلى دقائق)
إجراء ما يلي في الزمن الحقيقي (**) • تحليل • تحليل حساسية • تحكم وقائي	الزمن الحاسم	مرغوبة	حاسمة	تشغيل في الزمن الحقيقي (بضع ثواني)

(*) احدى الأهداف هو تسريع جوهري لطرق الحل في حيز الزمن

(**) الافتقار إلى تقنيات مناسبة يؤدي إلى هوامش سلامة تشغيل كبيرة بلا طائل وغير اقتصادية.

تخطيط نظام القدرة Power System Planning

في هذا الاطار، يجب إجراء العديد من حالات الدراسة لفترات زمنية من شهور إلى سنوات قبل التصميم النهائي للنظام المخطط له.

وعلى الرغم من الزمن الطويل المخصص لهذه الدراسات، فلا تزال السرعة تؤلف عاملاً مهماً. وللتغلب على سلبيات البعدية (تعدد أبعاد المسألة) فالحاجة ماسة إلى وسيلة إظهار Screening tool سريعة تتيح للمخطّط Planner اكتشاف الاوضاع المثيرة للجدل والتي تستأهل التركيز عليها.

مـــن جهة أخرى، نحتاج إلى طريقة تقويم الحساسية Sensitivity assessment method، قـــادرة عـــلى تقديـــم معـــلومات حـــول محددات النظام المناسبة، وتأثير هذه المحددات على الاستقرار، وقادرة أيضاً على اقتراح الوسائل الكفيلة بتدعيم الاستقرار حين الحاجة.

وفيمـــا يتعلق بدراسات الاستقرار العابر الضرورية لتخطيط نظام القدرة، فطرق الحل العددي التقـــليدية فـــي الحيـــز الزمني مقبولة عموماً من قبل مخططي النظام وتبقى الحاجة ضرورية لاختيار الطريقة المثلى منها من حيث زمن الحساب بهدف سرعة التوصل لقرار حاسم.

تخطيط التشغيل Operation planning

الـــتخطيط هنا يتم لأيام أو حتى لساعات. لذلك فزمن إجراء الدراسات ينبغي أن يكون قصيراً وبالـــتالي فالســـرعة تصبح هنا حرجة. وعلاوة على ذلك، ونظراً لأن نظام القدرة يُشغل على نحـــو قـــد لا يكـــون قـــد لحظ أثناء تصميم النظام، فهناك حاجة ملحة لتقويم هوامش السلامة واقـــتراح وســـائل زيادتها حين الضرورة، إضافة إلى حساب زمن الفصل الحرج. ومرة ثانية نجـــد أن تحـــليل الحساســـية وطرق التحكم، علاوة على التحليل، متطلبات ضرورية. وليس المطـــلوب أن تعطـــي هـــذه العمـــليات نتائج دقيقة جداً، ولكنها ينبغي على أية حال أن تسمح للمشغّل أن يتخذ القرارات بأقل عدد من اختبارات الاستقرار.

فـــي الوقـــت الحاضـــر، حيـــث تقتصر دراسات الاستقرار للتخطيط التشغيلي على تعيين حد الاســـتقرار أو مرشـــد التشغيل، فإن التقنيات المعتمدة على المحاكاة modeling المبسطة جداً أصـــبحت مقـــبولة إذ أنهـــا تكفي لاكتشاف الحالات المثيرة للجدل ولاقتراح بعض الإجراءات التصحيحية.

التشغيل في الزمن الحقيقي Real - time operation

أمـــام المشـــغل (فـــي مركز التنسيق والتحكم) في هذه الحالة بضع ثوانٍ ليقوم بالتحليل واتخاذ القـــرارات عند الحاجة. لذلك تصبح السرعة هنا عاملاً حاسماً. إضافة إلى أن تحليل الحساسية وأدوات التحكم مرغوبة بشكل قوي.