Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 77 (1986)

Heft: 23

Artikel: Activités EMC et EMP à l'EPFL et en Suisse

Autor: Ianoz, M.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-904308

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Activités EMC et EMP à l'EPFL et en Suisse

M. Ianoz

En mettant l'accent sur les activités à l'EPF Lausanne, l'auteur fait le tour des activités EMC[1] et EMP[3] en Suisse en présentant leur diversité et multiplicité et en montrant que la recherche a passé du stade de l'empirisme à celui des études systématiques et prospectives.

Mit Schwergewicht ETH Lausanne gibt der Autor einen Überblick über die zahlreichen und vielfältigen Tätigkeiten auf dem Gebiet der EMC[1] und des EMP[3]. Es zeigt sich, dass die während langer Zeit hauptsächlich empirische Forschung heute systematische und vorausschauende Resultate liefern kann.

1. Introduction

Le nombre de plus en plus élevé d'installations électriques ou électroniques sensibles situées au voisinage de circuits de puissance, tendance qui va de pair avec l'utilisation de composants plus sensibles, fait que les problèmes de compatibilité électromagnétique[1] sont d'une grande actualité dans tous les pays industrialisés.

Parmi les trois millions de personnes qui travaillent en Suisse, seulement 7% se trouvent dans le secteur agricole tandis que 39% sont dans l'industrie et 54% dans le secteur tertiaire[2]. Cela montre la place importante occupée par l'industrie et les services dans l'économie suisse. La première utilise des méthodes modernes de contrôle des processus de production et la conception assistée par ordinateur (CAO). Le secteur tertiaire utilise la gestion par ordinateur (banques, services, financiers) et doit avoir à disposition des moyens de communication fiables. On peut aussi observer un accroissement important des moyens de communication dans la vie de tous les jours ainsi que le montre le graphique de la figure 1 qui présente le développement de ce domaine en Suisse pendant les trente dernières années avec une extrapolation dans le futur [1].

Afin d'assurer une fiabilité élevée des installations sensibles qui travaillent dans un environnement électromagnétiquement perturbé, il est nécessaire de prendre des mesures appropriées et de développer des méthodes pour compatibiliser les systèmes.

Le problème de l'EMP[3] représente un aspect particulier des problèmes EMC. Dû à son extension spatiale ex-

[1] Compatibilité électromagnétique (CEM) – Electromagnetic Compatibility (EMC). En Suisse l'abréviation anglaise EMC est plus fréquente.

[2] chiffres 1984

[3] EMP ou NEMP ou dans la littérature française IEM – Impulsion Electromagnétique d'origine nucléaire.

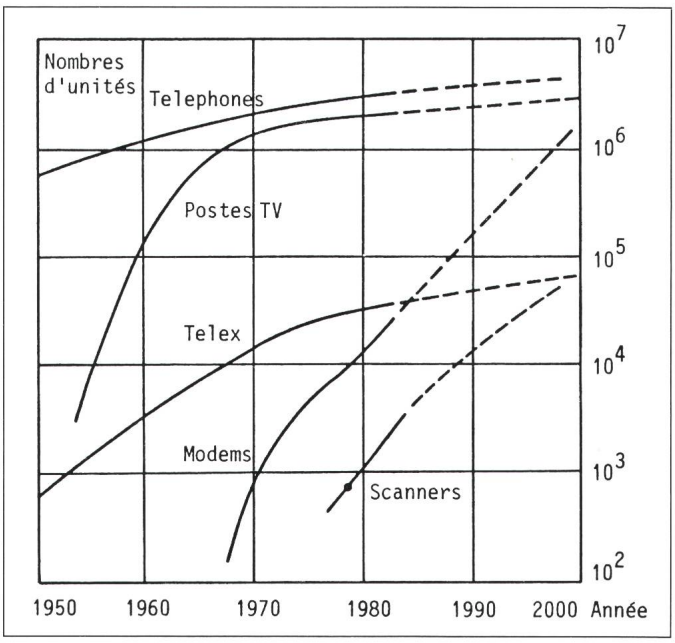


Fig. 1
Accroissement du nombre d'installations de transmission d'informations en Suisse

Adresse de l'auteur
Michel Ianoz (Mircea Ianovici), Dr ès sc. techn., EPFL, dépt. d'électricité, 16, ch. de Bellerive, 1007 Lausanne.

trêmement grande, l'effet électromagnétique d'une explosion nucléaire à haute altitude (HAEMP) peut couvrir la surface d'un continent et, par conséquent, même un pays neutre comme la Suisse doit prendre en considération la possibilité d'être touchée par un tel phénomène et doit prendre des mesures appropriées de protection.

Le but de cet article est de présenter quelques aspects concernant les deux domaines d'activité EMC et EMP en Suisse.

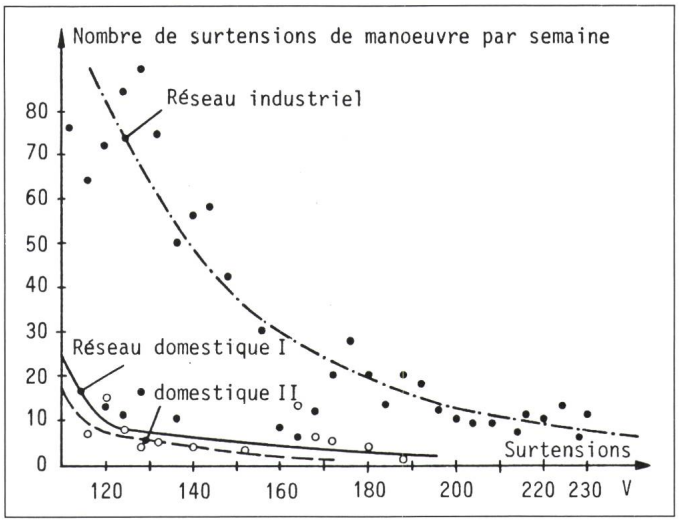


Fig. 2
Statistique des surtensions de manœuvre d'une durée de 0,5 à 800 µs
Mesurées dans deux réseaux domestiques (220 V) et un réseau industriel (380 V) en Suisse [17]

2. Activités EMC

Les premiers problèmes liés aux perturbations et la lutte contre celles-ci remontent au début des années trente et sont liés à l'introduction des émissions radio.

Dès la fondation du CISPR (Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques), la Suisse en est devenue un des membres les plus actifs. Une société semi-privée, Pro Radio, a été chargée par les PTT d'exécuter des mesures d'interférences et de suppression du bruit. Les premières normes dans ce domaine ont été publiées au début des années 40. Pendant la période de guerre, l'activité principale s'est déroulée dans l'armée et a été consacrée à assurer des liaisons téléphoniques fiables et de collecter des informations à caractère militaire ou civil venant des émissions radio étrangères brouillées par l'ennemi.

C'est pendant les années 70 que les problèmes EMC ont pris une grande importance en parallèle avec l'essor de l'informatique. A présent on peut distinguer plusieurs types d'activité:

- activité de front concernant directement les produits et applications, en particulier dans l'industrie;
- recherche dans les établissements d'enseignement supérieur et dans l'industrie;
- enseignement;
- domaines d'applications spéciales.

2.1 Activité industrielle

Une importante activité en compatibilité electromagnétique se déroule dans les entreprises suisses. Le but de ces travaux est de résoudre par une approche pratique les différents problèmes de compatibilité qui apparaissent dans des installations à haut niveau technologique. L'approche purement pratique, basée sur des années d'expérience d'ingénieurs et de techniciens travaillant dans le domaine, est en train de faire place à une méthodologie qui fait appel de plus en plus à des modèles et à des calculs numériques. Les différents aspects de cette activité sont les suivants:

1. Durcissement d'appareils sensibles aux perturbations [2; 3].
2. Production d'appareillage et de composants nécessaires à la protection contre les perturbations électromagnétiques comme par exemple filtres, parasurtensions, condensateurs de déparasitage, câbles et cages blindés
3. Simulation EMC qui consiste à mettre au point et à produire différents types de générateurs de perturbation afin de simuler des coups de foudre, des impulsions électromagnétiques d'origine nucléaire (EMP), des décharges électrostatiques (ESD) et des trains d'impulsions [4; 5].
4. Activité d'ingénieurs-conseils et d'intervention dans le but de résoudre des problèmes concrets de compatibilité.

La pénétration par l'informatique de tous les domaines d'activité se manifeste par un nombre grandissant d'ordinateurs de l'unité la plus performante aux ordinateurs personnels dans la vie courante des industries, des institutions et même des ménages. En parallèle, les problèmes de compatibilité se sont multipliés.

Un premier problème est celui des perturbations provenant du réseau. Elles consistent en fluctuations de tension (depuis un seconde jusqu'à plusieurs heures), claquements (20 ms – 1 s), harmoniques, micro-coupures et surtensions [6]. La figure 2 présente, par exemple, une statistique des surtensions de maneuvre mesurées dans un réseau suisse de distribution [7].

D'autres sources de perturbation possibles sont les champs de rayonnement produits par les contacts de cathénères, les radars, les «walkie-talkies», les alimentations de convertisseurs statiques, les équipements de physique expérimentale et hospitaliers (résonance magnétique nucléaire) [8].

Comme exemple d'un problème résolu par une société d'ingénieurs-conseils en collaboration avec l'EPFL, on peut citer l'étude de protection d'un grand centre d'ordinateur situé à proximité d'une ligne de transport d'énergie électrique à 400 kV et d'un aéroport. Le plan de cette étude a été le suivant:

- calcul de courants induits dans des câbles de transmission de l'information à l'intérieur du centre lors d'un court-circuit dans la ligne 400 kV. Ce calcul a été effectué à l'aide d'une simulation à l'ordinateur;
- calcul de la distribution du potentiel autour de la terre du pylône le plus rapproché du centre de calcul en cas de coup de foudre qui tombe sur ce pylône;
- mesure de la distribution de potentiel autour de cette prise de terre par injection de courants d'intensité réduite;
- mesures de champs électromagnétiques rayonnés par la ligne à haute tension (par effet de couronne) et par les radars de l'aéroport.

Un autre exemple est celui des mesures prises pour minimiser les perturbations dans la construction du nou-

veau centre de conduite du Service de l'électricité de la Ville de Lausanne. Parmi d'autres mesures, les locaux des ordinateurs et des répartiteurs ont été pourvus d'un plan de terre métallique continu. Tous les appareils ont été reliés par le chemin le plus court par des tresses en cuivre à ce plan. Cette approche a été mise en oeuvre déjà au niveau de la conception du projet, ce qui a permis de réduire d'une manière significative les coûts supplémentaires nécessaires à la protection CEM.

2.2 Recherche

La recherche se déroule d'une part dans les deux Ecoles polytechniques (EPF) et d'autre part dans les entreprises industrielles qui produisent des installations sensibles devant être protégées contre les perturbations ou de l'appareillage de test pour l'EMC.

L'activité de recherche de l'industrie va de pair avec l'activité pratique mentionnée plus haut. Dans le cas des petites et moyennes industries la recherche est souvent effectuée en collaboration avec les EPF.

Un exemple typique est le suivant: une entreprise qui produit des standards de commutation téléphoniques a été obligée de durcir ces produits contre les effets des décharges électrostatiques pour un niveau de tension de 15kV au lieu de 9 kV prévu auparavant par les normes. Une étude effectuée en collaboration avec l'EPFL a permis de trouver des solutions pratiques de durcissement qui sont actuellement utilisées dans la production courante.

Une activité de recherche centrée sur des problèmes spécifiques se déroule dans les EPF.

A l'EPF de Zurich (EPFZ), les études de compatibilité électromagnétique sont effectuées à l'institut des techniques de télécommunication. Voici quelques problèmes étudiés [9...15]:

- génération de champs homogènes pour des mesures d'immunité;
- recherches théoriques et expérimentales sur l'immunité au bruit à large spectre;
- communications dirigées par conduction ou rayonnement.

Ces études sont utilisées en particulier pour la résolution de problèmes de communications mobiles et par téléphone sans fil. Tous les deux ans l'Institut des techniques de télécommunication de l'EPFZ organise sous la présidence du professeur *P. Leuthold* et avec le professeur *T. Dvorak* comme chairman le Symposium International et l'Exposition Technique de Zurich sur la Compatibilité Electromagnétique (International Zurich Symposium and Technical Exhibition on EMC). Cette rencontre qui est la plus importante au monde dans ce domaine a réuni en 1985 850 participants de 26 pays; environ 120 communications couvrant les différents aspects de l'EMC ont été présentées [16].

A l'EPF de Lausanne (EPFL) la recherche est effectuée au Laboratoire de réseaux d'énergie électrique. Les sujets principaux développés depuis plus de 10 ans sont les suivants:

- méthodes de calcul du couplage champ électromagnétique-conducteur [17];
- calcul et mesure de l'impédance de transfert [18];
- phénomènes transitoires dans les réseaux électriques.

Les deux premiers problèmes ont été abordés en liaison avec des études sur les impulsions électromagnétiques d'origine nucléaire (NEMP) et les impulsions électromagnétiques d'un canal de foudre (LEMP) et seront traités plus en détail dans le chapitre suivant. En ce qui concerne le dernier sujet, le comportement transitoire des réseaux de transport et de distribution de l'énergie électrique a été étudié dans le cas des surtensions de foudre et de manœuvre [19]. Les résultats obtenus ont été utilisés pour des études de coordination d'isolement [20].

2.3 Enseignement

L'enseignement de la compatibilité électromagnétique dans les EPF a commencé en 1983. Il est clair que certains éléments du domaine de la compatibilité avaient déja été enseignés auparavant dans le cadre d'autres cours comme par exemple celui d'électromagnétisme, de télécommunications, des techniques de la haute tension (mesures dans les laboratoires à haute tension), protection des réseaux de transport de l'énergie électrique, etc. Cependant ce n'est qu'en 1983 qu'un cours spécifique sur la compatibilité électromagnétique sous la forme d'un cours de troisième cycle a été organisé à l'EPFL. Il a été suivi par une trentaine d'étudiants, puis répété en 1985. La même année (1985) a débuté un cours d'un semestre sur la compatibilité électromagnétique pour les étudiants de quatrième année du département d'électricité de l'EPFL.

Une autre forme d'enseignement comprend des cours de durée limitée (2 à 3 jours) donnés par des sociétés d'ingénieurs-conseils, ou des séminaires organisés par différentes entreprises dans le but de présenter des produits spécifiques ou des méthodes de travail à des clients potentiels. Un tel séminaire qui s'est déroulé en 1980 a réuni 400 participants à Zurich (exposés présentés en allemand) et 100 participants à Yverdon (exposés présentés en français). Ces participants venaient de différentes industries, des universités, des centres de recherche comme le CERN et des régies fédérales (PTT) [21].

2.4 Domaines spécifiques

Il existe deux institutions en Suisse qui ont des activités centrées sur des problèmes particuliers de la compatibilité électromagnétique. Il s'agit en premier lieu du Laboratoire AC de Spiez du Groupement de l'Armement qui travaille surtout sur des problèmes de durcissement contre les effets électromagnétiques d'une explosion nucléaire. Cet aspect sera discuté dans le chapitre suivant. D'autre part les PTT effectuent des mesures d'interférence et de bruit et s'occupent du dimensionnement pour la réalisation de protections contre les perturbations électromagnétiques et de l'élaboration de normes concernant les perturbations et la protection contre le bruit.

3. Activités EMP

Les activités concernant les effets des impulsions d'origine nucléaire ont fait l'objet de la Journée ASE du 7 mai 1985 à Berne [3]. Les études exécutées ou en cours comprennent des calculs numériques, des essais utilisant des simulateurs, des mesures de protection et l'élaboration de normes. Ces activités se déroulent dans les institutions et les laboratoires de l'armée, dans les organisations de protection civile, dans les écoles polytechniques et autres centres de recherche ainsi que dans l'industrie. Dans l'industrie et les centres de recherche elles ont en général lieu en liaison avec l'activité EMC.

En Suisse, ces études sont principalement dirigées dans les directions suivantes:

- protection de l'électronique sensible;
- durcissement de câbles de transmission;
- effets sur les réseaux de transport et distribution d'énergie électrique.

Les deux premiers points ont été étudiés dans différents laboratoires et industries. Jusqu'à présent peu de travaux ont été consacrés à l'effet EMP sur les réseaux électriques.

3.1 Institutions de l'armée

Les informations qui suivent sont entièrement basées sur des publications et documents non classifiés faits par ces institutions et sur des communiqués lors de conférences internationales ou de réunions et séminaires organisés sur le plan national suisse.

Laboratoire AC de Spiez

Dans cette institution des études théoriques basées sur des calculs numériques sont combinées avec des mesures pratiques à l'aide de simulateurs. Les principaux objets d'étude effectués sont les suivants:

1. Etude du phénomène physique de l'EMP en utilisant une modélisation numérique à l'ordinateur.
2. Interaction entre le champ électromagnétique et différents objets ou des lignes de transmission à l'aide de programmes d'ordinateur. Pour cela le laboratoire utilise différents programmes parmi lesquels le Numerical Electromagnetic Code (NEC) développé par *Poggio* et *Burke* [22], qui calcule dans le domaine fréquentiel le champ généré par une antenne ou la réponse d'un objet arrosé par un champ électromagnétique. Le couplage entre une onde éléctromagnétique et un ligne est étudié à l'aide de deux programmes développés à l'EPFL décrits plus loin.
3. Simulation EMP: la simulation est utilisée pour tester le degré de durcissement d'objets ou de systèmes. De 1978 à 1982 le laboratoire a utilisé un simulateur à onde guidée appelé GESIBAN avec un générateur 450 kV, 600 J et une antenne de type symétrique de 2,5 m de hauteur, 6 m de largeur et 5 m de profondeur avec une longueur totale de 20 m et une impédance caractéristique de 90 Ω. Par la variation de la tension de sortie du générateur, des champs E de 50 kV/m à 100 kV/m avec 8 ns de montée pouvaient être simulés.

Le simulateur suivant HEISS 1 utilisait le même générateur avec une antenne asymétrique de 4 m de hauteur, 6,4 m de largeur et 4 m de profondeur, une longueur totale de 23 m et une impédance caractéristique de 90 Ω.

En 1985 un simulateur de type hybride à champ rayonné MEMPS a été installé (fig. 3). Il est composé d'une structure qui supporte l'antenne et d'un cône où sont logés les deux générateurs de Marx produisant une tension totale de MV. L'antenne est chargée de résistances pour adapter le rapport E/H aux basses fréquences. Le tout est démontable et relativement facilement transportable. Deux cages blindées installées à proximité du simulateur sont utilisées l'une pour la commande et le contrôle du générateur de Marx, l'autre pour le système d'acquisition des données.

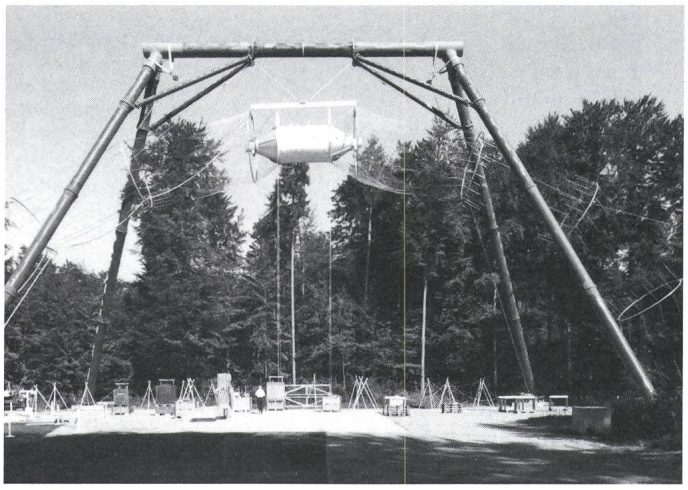


Fig. 3
Simulateur EMP dit MEMPS au laboratoire de Spiez

D'autres possibilités de simulation sont utilisées, par exemple:

- injection de courants impulsionnels dans des systèmes;
- injection de courants sinusoïdaux dans des systèmes;
- essais par rayonnement dans le domaine fréquentiel sur des systèmes;
- modéliation à l'échelle.

L'installation de modélisation à l'échelle est formée d'une plate-forme et d'une antenne conique alimentée par un générateur d'impulsions 1kV avec des temps de montée < 200 ps. Elle peut être utilisée pour des essais d'objets à échelle réduite pour déterminer par exemple une distribution superficielle de courant.

4. Mesures d'impédance de transfert: le laboratoire utilise deux types d'installations pour ce genre de mesures:
   - un équipement de mesures en onde sinusoïdale utilisant la méthode quintaxiale [24];
   - une installation qui injecte des impulsions de courant (fig. 6). L'avantage de cette méthode et qu'un test à échelle réelle permet de simuler des comportements non linéaires, par exemple des effets de saturation dus à une gaine de câble en matériau ferromagnétique [25; 26].

Institut pour la Technologie de la Sécurité Militaire (EPFZ)

Cet institut (ancien nom: Institut pour la Technique des constructions militaires [27]) a été le premier en Suisse à étudier, au début des années 70, le phénomène de base de l'impulsion électromagnétique d'origine nucléaire [28]. Ces dernières années des progammes d'ordinateur pour le calcul de la réponse d'un câble à une EMP et pour l'étude de l'interaction d'ondes électromagnétiques planes avec des structures à plusieurs couches ont été développées [29; 30].

Un travail effectué en collaboration avec l'EPFL a permis de mettre au point une méthode numérique de calcul du facteur de propagation de conducteurs enterrés dans un sol à couches multiples [31].

L'institut a aussi une activité d'enseignement. Des cours EMP sont donnés à l'EPFZ sur les sujets suivants: le phénomène physique, l'effet de champ libre, l'interaction avec des objets, les principes de simulation et les mesures de protection.

3.2 Protection civile

La protection civile a élaboré un concept EMP dont le but est de protéger l'alimentation en énergie électrique et la transmission de l'information vers la population civile. Comme une protection totale n'est pas envisageable, la décision a été prise de réaliser une défense sélective. Ce but devrait être atteint en utilisant

- des câbles blindés pour la transmission de l'information,

- des enceintes métalliques pour les répartiteurs,
- des parasurtensions à l'entrée de circuits sensibles,
- des émetteurs et recepteurs radio de construction spéciale.

3.3 Ecole Polytechnique de Lausanne

L'EPFL poursuit une activité de recherche dans le domaine de l'EMP depuis 1978. A cette époque un contrat avec une câblerie a permi de démarrer des recherches dans ce domaine. L'objet du contrat était une étude sur les possibilités d'améliorer le blindage des câbles coaxiaux protégés contre le NEMP. Des modèles de couplage onde-conducteur ont été imaginés, une méthode de calcul a été développée et deux programmes d'ordinateur (EMPLIN et EMPCOAX) ont été écrits [32; 33]. Ces deux programmes permettent d'effectuer les calculs suivants:

- EMPLIN: le courant induit par une EMP dans un conducteur aérien ou enterré (par exemple dans le blindage d'un câble coaxial).
- EMPCOAX: la tension induite par une EMP entre le blindage d'un câble coaxial et le conducteur interne.

Les calculs effectués à l'aide de ces deux programmes ont permis de trouver des méthodes d'optimisation des blindages de câbles [34]. La figure 4 présente la variation de l'impédance de tranfert de trois câbles blindés dont le blindage a la même épaisseur mais est constitué de matériaux différents. Un calcul effectué à l'aide du programme EMPCOAX a permis de mettre en évidence les performances supérieures d'une structure de blindage en sandwich Al-Ac-Al [32; 33]. Les premiers calculs ont démontré d'une part la nécessité de tester les résultats du calcul par des mesures et d'autre part le rôle important joué par l'impédance de tranfert dans toues les études de couplage pour des câbles de transmission.

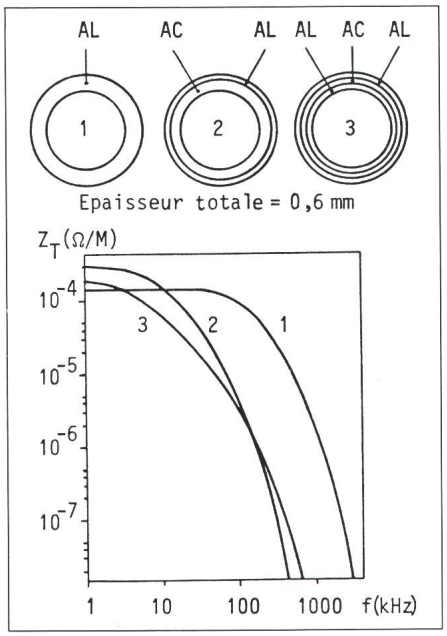
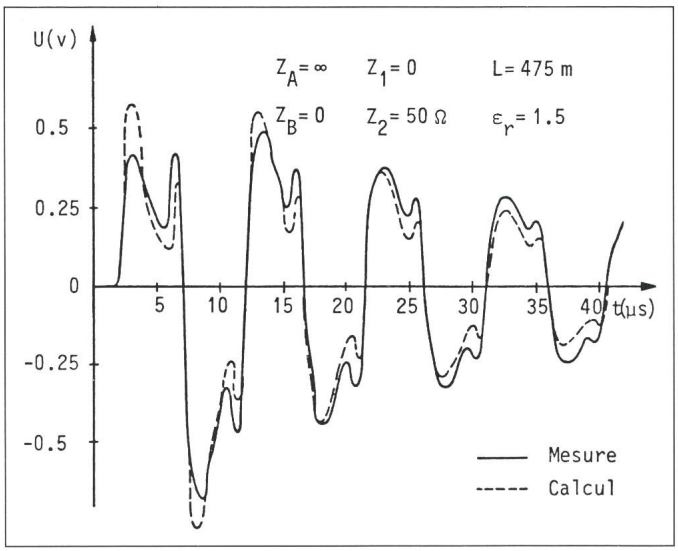


Fig. 4 Valeur calculée de l'impédance de transfert pour trois structures de blindage d'épaisseur égale

Fig. 5
Comparaison entre les valeurs mesurées et calculées de la tension induite dans un câble coaxial par un courant injecté dans la gaine

Z_A, Z_B Terminaisons de la gaine contre terre
Z_1, Z_2 Terminaisons du conducteur central contre le gaine
L Longueur du câble
ε_r Permittivité relative du diélectrique d'isolation



En conséquence l'activité à l'EPFL a été centrée les années suivantes sur le test de la méthode de calcul et sur les méthodes de mesure de l'impédance de transfert.

Deux autres sujets ont été étudiés également pendant cette période: l'effet de l'EMP sur des objets et sur des lignes de transport de l'énergie électrique.

Test de la méthode de calcul

Deux méthodes de test ont été utilisées. La première consiste à injecter un courant impulsionnel dans le blindage d'un câble coaxial. Cette manipulation a permis d'obtenir un double résultat:

1. De mesurer la tension induite sur le conducteur interne par un courant circulant dans le blindage du câble. De cette manière et en admettant qu'on connaît l'ordre de grandeur des courants induits par une EMP dans un blindage, il a été possible d'obtenir la réponse en tension induite d'un long câble (quelques centaines de mètres) que l'on ne peut pas tester dans un simulateur.
2. De vérifier la méthode de calcul en comparant les mesures avec des résultats de calcul obtenus en utilisant la méthode des sources réparties. En effet la méthode mathématique utilisée pour calculer la tension induite par un courant qui circule dans la gaine du câble est la même que celle utilisée pour calculer le couplage onde-conducteur.

Les résultats des mesures obtenues par injection de courant sont en très bon accord avec les résultats des calculs (fig. 5).

L'autre méthode de vérification a été l'utilisation du champ électromagnétique d'une décharge de foudre. En réalité la forme des champs électromagnétiques dus à la foudre et à l'EMP est assez différente. Cependant on peut utiliser le même formalisme mathématique (la méthode des sources réparties) pour calculer le couplage onde-conducteur dans les deux cas. Les premiers résultats obtenus en utilisant cette méthode pour calculer le courant induit par une décharge de foudre qui tombe à proximité d'une ligne aérienne ont été communiqués [35] et des travaux dans ce sens sont encore en cours.

Impédance de transfert

Une installation d'essais utilisant des impulsions de courant a été mise au point à l'EPEL (fig. 6). Cette installation similaire à celle existant au Laboratoire AC de Spiez permet la mesure de l'impédance de transfert en utilisant des impulsions de courant à l'échelle réelle injectées dans la gaine du câble. Les études actuellement en

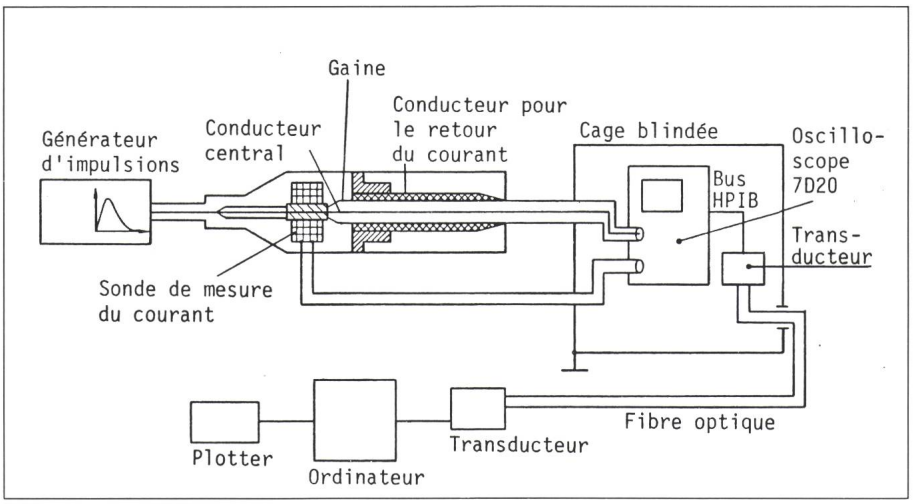


Fig. 6 Schéma bloc de l'installation de mesure en impulsion de l'impédance de transfert

cours à l'EPFL concernent les points suivants:

- l'impédance de transfert des câbles à gaine tressée;
- l'impédance de transfert de câbles multiconducteurs;
- comportement de gaines en matériaux ferromagnétiques.

Effet EMP sur des objets

Ce problème a été étudié dans le cadre d'un contrat avec le Laboratoire de Spiez. Une installation de modélisation à échelle réduite d'effets EMP sur des objets (fig. 7) a été conçue et mise au point et se trouve à présent au Laboratoire de Spiez [36].

Réseaux de transport de l'énergie électrique

Très peu de travaux ont été effectués jusqu'à présent dans ce domaine en Suisse. Une méthode d'approche du problème a été définie à l'EPFL. Des études sur l'impact d'une EMP sur un réseau de transport aérien [37] et sur l'équipement de mesure et de téléaction d'un poste à haute tension ont été effectuées. Le problème principal à ce stade est le comportement des transformateurs de puissance soumis à une surtension, car il est très difficile de trouver dans la pratique les valeurs numériques nécessaires au schéma équivalent en transitoire d'un transformateur.

3.4 Industrie

L'approche des problèmes EMP dans l'industrie est similaire à celle des problèmes plus généraux de compatibilité électromagnétique. L'industrie suisse produit des installations durcies contre l'EMP, des composants pour la protection contre les effets de l'EMP et des systèmes de test pour la simulation de cet effet [2]. Un exemple d'une telle installation d'essais est un système EMP mobile très flexible développé pour tester des instruments électroniques. Ce système peut produire des champs de 50 à 400 kV/m et, en fonction des dimensions de l'antenne, dans un volume de test de 3 à 25 m³ [38]. Un autre générateur d'impulsions présenté dans la figure 8 produit des tensions et des courants de forme rectangulaire [39].

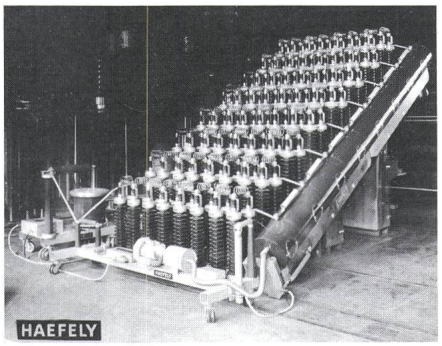


Fig. 8 Générateur d'impulsions EMP pour produire des tensions ou courants de forme rectangulaire

Au centre la batterie de condensateurs

Des calculs dans le domaine de l'EMP sur des problèmes spécifiques, par exemple la pénétration de champs à travers des ouvertures circulaires, ont aussi été effectués dans des instituts de recherche industriels qui ont une activité dans cette direction [40].

4. Conclusion

Les activités EMC et EMP en Suisse sont nombreuses et variées. L'article ne peut pas les présenter d'une manière exhaustive. On peut cependant conclure que non seulement le nombre de problèmes, de solutions et de mesures pratiques prises a augmenté ces dernières années, mais qu'une approche différente peut être observée. D'un domaine dans lequel les solutions cherchées étaient plutôt empiriques, basées sur des années d'expérience, la compatibilité électromagnétique fait de plus en plus appel à des méthodes de calcul numérique développées à l'aide des théories de l'électromagnétisme.

Cette tendance devrait donner dans le futur la possibilité d'optimiser les solutions et d'arriver à une situation où la compatibilité fait partie de la conception du produit et ne consiste pas en une intervention après coup lorsqu'on constate que des interférences ont donné lieu à un fonctionnement anormal voire à la destruction de l'installation.

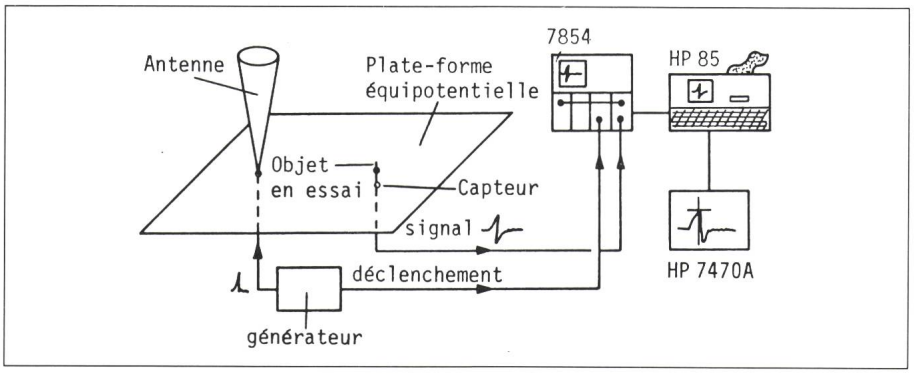


Fig. 7 Schéma bloc de l'installation de mesure à échelle réduite de réponse d'objects à un champ électromagnétique

7854 Oscilloscope numérique à échantillonage comprenant une ligne à retard
HP 85 Calculateur pour l'acquisition des données de commande de l'oscilloscope et de la table traçante
HP 7470A Table traçante à deux couleurs commandée par le calculateur

Bibliographie

[1] *P. Leuthold:* Grundlagen der elektromagnetischen Verträglichkeit. In: Compatibilité électromagnétique. Edité par M. Ianovici et J.-J. Morf. Lausanne, Presses Polytechniques Romandes, 1983; p. 1...25.

[2] *D. Hansen:* EMP-Schutz in Geräten und Anlagen. Bull. SEV/VSE 76(1985)23, S. 1408...1415.

[3] *C. Olivier:* NEMP-Simulation - NEMP-Schutz. Bericht über die Informationstagung des SEV vom 7. Mai 1985 in Bern. Bull. SEV/VSE 76(1985)17, S. 1036...1037.

[4] *A. Rodewald, H. Kunkel* and *M. Lutz:* Interference generated by switching operations and its simulation. Proceedings of the International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Tokyo, October 16...18, 1984 (EMC'84); paper 16 PD1.

[5] *H.A. Kunz, P. Kull* and *B. Amstutz:* Reproductible simulation of an interference burst pulse. Proceedings of the International Symposium on Eletromagnetic Compatibility, Tokyo, October 16...18, 1984 (EMC'84); paper 16 PD2.

[6] *A.E. Müller:* Netzstörungen analysieren und interpretieren. Bull. SEV/VSE 77(1986)5, S. 264...266.

[7] *M. Aguet:* Informatique et compatibilité électromagnétique. Output, 11(1982)6, p. 43...56.

[8] *H. Sauvain:* Protection contre le rayonnement. Output 13(1984)10, p. 59...63.

[9] *P. de Bruyne* and *P. Leuthold:* Room to room communications via waterpipes with modulated ultrasounds. Abstracts of the International Symposium on Underwater Acoustics, Tel-Aviv, 1981; p. 11.

[10] *T. Dvořák* and *H. Ochsner:* Low tension power line as a fast digital data transmission channel. Electromagnetic compatibility 1981. 4th Symposium and Technical Exhibition on Electromagnetic Compatibility, Zürich, March 10...12, 1981; paper 1A1, p. 1...6.

[11] *T. Dvořák:* Compatibility of spread-spectrum signals with narrow-band FM receivers in VHF mobile networks. IEEE Trans. EMC 21(1979)2, p. 131...136.

[12] *T. Dvořák:* Kompatibilität von Spread Spectrum Systemen und konventionellen Funkdiensten. Nachrichtentechnisches Kolloquium der Universität Bern 1981/82; Bandspreiztechnik. S. 91...101.

[13] *H.P. Baer:* Effect of hard limiting in a PN spread-spectrum system. Electromagnetic compatibility 1981. 4th Symposium and Technical Exhibition on Electromagnetic Compatibility, Zürich, March 10...12, 1981; paper 2A2, p.7...12.

[14] *G. Meyer:* The TEM measuring line—a critical overview. Electromagnetic compatibility 1981. 4th Symposium and Technical Exhibition on Electromagnetic Compatibility, Zürich, March 10...12, 1981; paper 74M5, p. 407...412.

[15] *G. Meyer:* Devices for EMC measurement. European Electronics -1982)2, p. 22...28.

[16] *B. Szentkuti:* Erfolgreiche EMC'85 Zürich. 6. Symposium und Technische Ausstellung über Elektromagnetische Verträglichkeit, EMV, vom 5. bis 7. März 1985 in Zürich. Bull. SEV/VSE 76(1985)15, S. 933...934.

[17] *M. Ianovici:* NEMP effects on transmission cables. Energia Elettrica 62(1985)5, p. 201...208.

[18] *P. Blech:* Calcul de mesure de l'impédance de transfert de câbles coaxiaux. Energia Elettrica 62(1985)5, p. 209...215.

[19] *M. Aguet* e.a.: Perturbations électromagnétiques dans les réseaux électriques de distribution. Bull. ASE/UCS 69(1978)24, p. 1310...1314.

[20] *M. Aguet, P. Blech* et *M. Ianovici:* Coordination probabilistique de l'isolement des réseaux électriques à haute tension. Bull. ASE/UCS 68(1977)24, p. 1297...1303.

[21] Probleme der Entstörung und des Schutzes von elektrischen Geräten und Systemen. EMC-Seminar 80. Zürich, Fabrimex, 1980.

[22] *G.J. Burke* a.o.: Numerical electromagnetics code - a program for antenna system analysis. Electromagnetic compatibility 1979. 3rd Symposium and Technical Exhibition on Electromagnetic Compatibility, Rotterdam, May 1...3, 1979; paper 18D6, p. 89...94.

[23] *T. Rüdy, J. Bertuchoz* and *B. Wamister:* NEMP simulation and tests in Switzerland. Electromagnetic compatibility 1979. 3rd Symposium and Technical Exhibition on Electromagnetic Compatibility 1979, Rotterdam, May 1...3; paper 39G6, p. 209...214.

[24] *T. Rüdy, J. Bertuchoz* and *B. Wamister:* Estimation of NEMP-induced voltages in coaxial cables with the help of transfer impedance. Electromagnetic compatibility 1981; 4th Symposium and Technical Exhibition on Electromagnetic Compatibility, Zürich, March 10...12, 1981; paper 45H7, p.245...248.

[25] *B. Brändli, W. Jenni* and *J. Bertuchoz:* High current pulse cable testing system. Electromagnetic compatibility 1983. 5th Symposium and Technical Exhibition on Electromagnetic Compatibility, Zürich, March 8...10, 1983; paper 34G7, p.175...178.

[26] *J. Gut:* The swiss EMP concept of general defense. FMB-Bericht 84-6. Zürich, Forschungsinstitut für militärische Bautechnik, Dezember 1984.

[27] *J. Gut:* Die Tätigkeit des Forschungsinstitutes für militärische Bautechnik im Bereich des EMP. Bull. SEV/VSE 76(1985)23, S. 1402...1407.

[28] *K. Appert* und *W. Jöhl:* Der eletromagnetische Impuls von Nuklearexplosionen in grosser Höhe. FMB-Bericht 76-17. Zürich, Forschungsinstitut für militärische Bautechnik, Dezember 1976.

[29] *W. Blumer:* EMP response estimation in shielded cables. FMB-Bericht 79-4. Zürich, Forschungsinstitut für militärische Bautechnik, Juni, 1979.

[30] *W. Blumer:* NEMP-Wechselwirkung mit Mehrschichtstrukturen. FMB-Bericht 84-1. Zürich, Forschungsinstitut für militärische Bautechnnik, März 1984.

[31] *W. Blumer* and *M. Ianovici:* Calculation of the propagation constant of buried insulated conductors. Electromagnetic compatibility 1983. 5th Symposium and Technical Exhibition on Electromagnetic Compatibility, Zürich, March 8...10, 1983; paper 10C3, p. 51...54.

[32] *M. Aguet, M. Ianovici* and *C.-C. Lin:* Transient electromagnetic field coupling to long shielded cables. IEEE Trans. EMC 22(1980)4, p. 276...282.

[33] *M. Aguet* e.a.: Comportement des lignes et des câbles et transmission soumis au rayonnement électromagnétique provenant d'une explosion nucléaire (NEMP). Bull. ASE/UCS 71(1980)17, p. 911...918.

[34] *F. Fornerod* et *C.C. Lin:* Recherche d'optimisation de construction pour les armures des câbles protégés contre les perturbation NEMP. Bull. ASE/UCS 71(1980)17, p. 919...923.

[35] *A. Caron* a.o.: Validation of EMP calculation methods using the response of an aerial cable to a lightning stroke. Electromagnetic compatibility 1985. 6th Symposium and Technical Exhibition on Electromagnetic Compatibility, Zürich, March 5...7, 1985; paper 72L8, p. 397...400.

[36] *E. Bergerie, Y. Dijamatovic* et *M. Ianovici:* Installation d'essais pour la modélisation à échelle réduite des impulsions électromagnétiques. Annales des Télécommunications 39(1984)5/6, p. 191...197.

[37] *M. Ianovici* and *F.M. Tesche:* EMP effects on a HV network. Proceedings of the International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Tokyo, October 16...18, 1984 (EMC'84); paper 17AD4.

[38] *K. Feser* a.o.: Mobile EMP-system with high flexibility. Electromagnetic compatibility 1981. 4th Symposium and Technical Exhibition on Electromagnetic Compatibility, Zürich, March 10...12, 1981, paper 25E7, p. 135...140.

[39] *M. Modrusan, E. Gockenbach* and *O. Frey:* A new impulse generator for impulses with short rise times. International Aerospace and Ground Conference on Lightning and static Electricity, 1984, Orlando/USA.

[40] *N. Ari, D. Hansen* and *H. Schär:* Electromagnetic pulse (EMP) penetration through circular apertures in the frequency domain. Proc. IEEE 73(1985)2, p. 368...369.

Die Zukunft ist WEISS Denn...
ab heute ist das Licht WEISS!

WEISS SATIN

WEISSER, WEICHER, BESSER!

ELL... Satin-weiss bietet Ihren Kunden einen euen Lampen-Standard mit ausgeglichenerem nd besserem Qualitäts-Licht. Auch die Lampe eht besser aus, ob sie brennt oder nicht.

Satin-weisse Lampen entsprechen den interationalen Normen (IEC 64) für Lichtstrom, sind doch viel moderner und attraktiver.

WEISS... Das Geheimnis von satin-weiss liegt seiner reinen, weissen Beschichtung, die urch ein hochtechnisches, elektrostatisches erfahren erzielt wird, das das herkömmliche tz-Verfahren innenmattiger Glühlampen setzt.

Satin-weisse Lampen können herkömmliche lühlampen in innenmatt und klar in all den nwendungsbereichen ersetzen, wo Lichtquaät und Aussehen der Lampen wichtig sind. ies ist die Universalbeleuchtung der Zukunft!

UND DER PREIS STIMMT! Sylvania's chnischer Fortschritt macht es möglich, diese rbesserten Glühlampen zu den gleichen reisen wie diejenigen der Innenmattusführung anzubieten.

Satin-weiss wird ein Sieger und bringt Ihnen einzigartige Verkaufsmöglichkeiten!

Überzeugen Sie sich, indem Sie ab sofort Ihren Kunden satin-weisse Glühlampen verkaufen. Entsprechende Verkaufshilfen stehen Ihnen zur Verfügung. Unsere Aussendienstmitarbeiter beraten Sie gerne.

Satin-weisse Glühlampen sind in vielen Typen/Ausführungen lieferbar und werden damit allen Bedürfnissen gerecht.

Ich möchte mehr wissen über "Satin-Weiss".
Name: _____
Adresse: _____
_____

Einsenden an:
GTE Sylvania AG
4, chemin des Léchères
CH-1217 Meyrin
Tel. 022/82 00 72, Telex 28 233

SYLVANIA GTE

SIEMENS

Auf Zukunft schalten mit Mittelspannungs-Schaltanlagen von Siemens

Vakuum-Leistungsschalteranlage 8BJ20:
Hinter dieser neuen Anlage* steckt mehr als nur professionelles Engineering. Nämlich eine langjährige praktische Erfahrung im Schalten und Verteilen elektrischer Energie.

z. B. Personensicherheit:
Optimal. Alle Schalt-, Prüf- und Vorbereitungsarbeiten lassen sich bei geschlossener Fronttüre durchführen. Auch in Trennstellung des Einschubes hoher Schutzgrad durch geschlossene störlichtbogengeprüfte Stahlblechkapselung.

z. B. Betriebssicherheit
Umfassend. Vollständiger Schutz gegen falsche Schalthandlungen, Abfrageverriegelung zwischen Schutzplatte und Einschub, Fronttüre in Gesamtverriegelung einbezogen.

Kurz: problemlose Mittelspannungs-Leistungsschalteranlagen, die auch unter widrigen Umständen einwandfrei funktionieren.

Überzeugen Sie sich selbst. Für ausführliche Unterlagen genügt ein Anruf bei Siemens-Albis.

***Leistungsschalteranlage Typ 8BJ20 bis 24 kV,**
wartungsfreie Vakuum-Schaltröhren, Einfach-/Doppelsammelschiene, metallgekapselt, teilgeschottet, typengeprüft.
Die Anlage entspricht den gültigen SEV-Vorschriften.

Siemens-Albis AG
Energieversorgung
Freilagerstrasse 28
8047 Zürich
Tel. 01/495 44 51

1020 Renens
Tél. 021/34 96 31

6904 Lugano
Tel. 091/51 92 71