DE QUELQUES RÉGULARITÉS DU DÉVELOPPEMENT DES MÉCANISMES SUR L'EXEMPLE DES APPAREILS ÉLECTRIQUES DE MESURE*

L'étude du développement des mécanismes tient une place importante dans l'histoire du développement des sciences techniques.

Le terme "mécanisme" je l'entends ici très largement, indépendamment du genre, de l'action et de la destinée du système et des dimensions extérieures. Le terme "mécanisme" comprendra donc hauts fourneaux en métallurgie, moteurs électriques en traction, autos dans le domaine des équipages mécaniques, ampoules en éclairage électrique, appareils électriques de mesure dans tous les domaines de la technique, ainsi qu'un grand nombre d'autres dispositifs dans les différents domaines de la vie économique et culturelle.

TROIS ÉTAPES DU DÉVELOPPEMENT DES MÉCANISMES

Dans les ouvrages et les dissertations au sujet du développement des mécanismes on remarque tout d'abord l'insuffisance de la liaison rèciproque des formes particulières du développement dès la première réalisation d'un mécanisme à sa construction moderne. L'on n'y trouve que des fragments d'un grand cycle d'évolution dans lequel les mécanismes particuliers sont les produits de la pensée créatrice des hommes ou bien des établissements industriels de différents pays.

La liaison des formes successives de construction du mécanisme et la continuité de son développement peuvent être démontrées par la distinction des trois étapes de ce développement, à savoir:

^{*} La première rédaction de cet article a été présenté à la séance commune de la Chaire des appareils électriques de mesure et de la Chaire de l'histoire de la technique de l'École Polytechnique à Varsovié au mois de mars 1956.

- a) l'étape statique formation du mécanisme,
- b) l'étape dynamique du développement prise dans des cycles de construction,
- c) l'étape normative dans laquelle on peut apercevoir la réalisation des formes semblables pour le même genre des mécanismes produits par de différents établissements industriels.

A la première étape statique les mécanismes singuliers du même genre sont construits presque simultanément, d'après la conception de plusieurs constructeurs dans de différents pays.

L'étape dynamique marque le développement du même genre des mécanismes produits par des établissements industriels particuliers dans la durée de 50—100 ans.

Les mécanismes produits par un établissement industriel, rangés d'après la date de formation, constituent un cycle de construction, dans lequel le prototype de la construction mécanique forme le premier élément et où les formes finales de l'étape dynamique des dernières années de fabrication coïncident avec les premières formes de l'étape normative.

A l'étape normative la ressemblance entre les dernières formes des cycles de construction du même mécanisme produit à l'étape dynamique par de différents établissements industriels suggère la proposition d'établir les dimensions extérieures du mécanisme, ainsi que ses caractéristiques rangées selon un système de graduation accepté, p. ex. d'après les degrés de précision et du système de mesure, et ensuite d'après la normalisation de quelques parties intégrales du mécanisme.

Les étapes citées s'engrènent étroitement et même s'accordent, et de ce fait il s'ensuit la continuité du développement du mécanisme. Le degré du développement de l'étape dynamique met en évidence que le développement du mécanisme n'est jamais terminé. Tandis que la délimitation entre les étapes statique et dynamique, une fois définie, reste inchangeable, la limite entre les étapes dynamique et normative se déplace continuellement. Suite à la formation des nouveaux éléments du développement les mécanismes classés auparavant à l'étape normative passent à l'étape dynamique.

L'étude du développement intégral du mécanisme doit prendre en considération toutes ces trois étapes. Ce fait n'empêche pas de s'occuper d'une étape, mais dans ce cas il faut se rendre compte toujours de la limitation acceptée de la sphère des études, p. ex. dans l'ouvrage consacré à l'oeuvre de W. Krukowski et à son rôle dans le développement des constructions des compteurs, je passe outre l'étape première et je ne m'occupe que de trois cycles de construction de l'étape dynamique. Un cas pareil nous le trouvons chez l'auteur du livre L'esquisse de l'histoire du développement des machines électriques qui ne prend en considération que l'étape première du développement. De même, dans d'autres publications on s'occupe souvent de l'étape première sans même signaler l'existence des étapes succesives.

Dans l'histoire de la métallurgie en Pologne le chapitre p. ex. sur les hauts fourneaux peut comprendre toutes les trois étapes de leur développement. L'étape première comprendra alors quelques constructions des hauts fourneaux répandues p. ex. au XVIII-e siècle. Après avoir fixé un prototype on peut passer à l'étape deuxième qui comprendra les cycles de construction des hauts fourneaux en Pologne dès le XVIII-e jusqu'au XX-e siècle. La dernière étape comprendra le XX-e siècle.

L'ÉTAPE STATIQUE - FORMATION DU MÉCANISME

A l'étude de l'étape statique l'intérêt de l'historien s'étend sur des mécanismes semblables ou du même genre, dont la conception ou la réalisation de l'idée provient de différentes personnes. Les matériaux rassemblés, outre l'établissement de la priorité de la construction du mécanisme et de l'auteur de l'invention, doivent permettre à identifier les premiers éléments des cycles de construction de l'étape dynamique.

Les matériaux disponibles pour l'historien englobent surtout les brevets d'invention, ouvrages publiés dans les périodiques techniques, rapports présentés aux sociétés scientifiques et enfin la correspondence de l'auteur de l'idée et de ses contemporains au sujet de l'invention.

Le brevet d'invention qui fixe la date et l'heure de l'enregistrement, peut décider dans bien de cas, mais ne peut pas résoudre tous les problèmes examinés. L'on connait des disputes de plusieurs années p. ex. sur l'invention du transformateur ou de l'ampoule élec-

La monographie des oeuvres de W. Krukowski, partie III-ème. Publication de l'Académie Polonaise des Sciences, Varsovie 1957.
2 S. A. Gusiew, Moscou 1955.

trique. Dans certains différends les inventeurs ne furent pas même mentionnés et on ne s'occupait que des syndicats d'industriels qui se disputaient la priorité de l'invention.

Il y a des cas où l'inventeur est resté inconnu et on ne s'occupe que du mécanisme. Dans des cas pareils on ne peut pas appliquer la méthode classique d'élaboration du thème, propre à d'autres sciences. La compréhension de l'idée, du motif de la création du mécanisme et de la forme de sa première réalisation exigent la production du milieu, dans lequel l'inventeur a travaillé, et du milieu qui l'entourait et qui exerçait une influence positive ou négative sur son travail intellectuel. En outre, la pensée créatrice de l'inventeur pouvait subir une influence des conditions économiques et du niveau des forces productrices du pays.

Dans la production de la première forme du prototype du mecanisme un grand rôle est joué par l'imitation des objets qui entourent l'inventeur. Il faut se rendre compte aussi de l'influence des ouvrages et des publications d'autres auteurs qui s'occupent des conceptions pareilles, ainsi que de l'échange des opinions et des points de vue au sujet des changements dans la construction du mécanisme.

La base de la conception est toujours la pensée créatrice du constructeur du mécanisme qui vise à aider la société de faciliter le travail et de rendre la vie plus commode. Ce principe s'étend aussi bien sur les méthodes technologiques de la production, comme p. ex. dans l'industrie textile le remplacement de la force humaine par la force mécanique, que sur les moyens de communication, comme p. ex. la mise en marche des bateaux et des équipages par les moteurs à vapeur, à combustion ou électriques, et sur les moyens de l'éclairage et du chauffage.

Toute invention se base avant tout sur la source d'énergie disponible, utilisée pour mettre le mécanisme en marche, que l'inventeur dut maîtriser pour l'appliquer proprement. Les particularités des sources d'énergie exercent une influence essentielle sur la première réalisation de l'idée. La liaison entre les sources disponibles d'énergie et les conceptions des mécanismes peut être observée d'une façon excessivement nette sur l'exemple de l'application de l'énergie électrique.

L'énergie électrique produite au XVIII-e siècle par les machines électriques statiques n'était que la base des recherches scientifiques experimentales et la source des distractions des salons littéraires qui s'amusaient à observer les mouvements des marionettes legères dans le champ électrique ou à produire les étincelles pour l'allumage.

Dans la première moitiè du XIX-e siècle la possibilité de profiter de l'énergie électrique obtenue dans des éléments galvaniques permit aux inventeurs de construire des moteurs électriques qui imitaient la construction des moteurs à vapeur dans lequels la distribution de la vapeur a été remplacée par la distribution des électroaimants subventionnés par le courant continu.

Quand dans la deuxième moitié du XIX-e siècle on a obtenu l'énergie électrique produite par les génératrices et on a constaté la réversibilité de la machine électrique, la construction des moteurs électriques a subi des changements essentiels: on a renoncé à la construction des moteurs du type primitif. Enfin la mise à profit de l'énergie atomique rendra possible l'introduction d'un nouveau genre des moteurs d'un type aujourd'hui inconnu.

L'historien dans les recherches sur l'évolution du mécanisme doit prendre en considération la différence des conditions qui accompagnaient les changements dans la construction. En se basant seulement sur les dessins des mécanismes, pris le plus souvent des publications des brevets d'invention, on ne peut pas observer tous les changements des mécanismes arrivés sous l'influence des conditions qui y agissaient. Un ouvrage pareil n'aurait qu'un caractère du catalogue des matériaux élaboré pour les futurs chercheurs de l'histoire de la technique.

La pensée créatrice de l'inventeur du mécanisme subit involontairement l'influence des objets avec lesquels il est en contact permanent, et l'influence de la ressemblance des mécanismes déjà répandus décident dans plusieurs cas de la réalisation des nouvelles conceptions dans les formes des mécanismes déjà connus.

Une ressemblance pareille a eu lieu p. ex. dans la construction du moteur électrique alimenté d'une batterie galvanique. Le fait est aussi à remarquer dans les formes caractéristiques des premières voitures automobiles: les inventeurs ont simplement enlevé à la cariole le timon, y ont placé le moteur — tout d'abord le moteur à vapeur et ensuite le moteur à combustion — sur le chevalet ou à l'arrière de l'équipage ont placé le volant. Tenant compte de la grande vitesse du mouvement de l'équipage, dépassant p. ex. 20 km à l'heure, et dans le souci pour la santé du conducteur, ils lui ont

ordonné d'endosser une épaisse fourrure crins en dehors. Dans la construction de l'ampoule électrique les collaborateurs d'Edison étaient influencés par la forme de la lampe à pétrole qui avait à leur époque un espace sphérique pour y placer le brûleur et une cheminée allongée et ouverte pour faire sortir les gaz de combustion. Dans les ampoules on a laissé un espace sphérique pour y placer un filament incandescent et on n'y a éliminé que la cheminée inutile.

Dans les premières usines électriques atomiques — par analogie aux usines électriques thermiques — l'énergie atomique est consommée par la production de la vapeur.

Or, c'est donc une règle que dans les premières réalisations des nouveaux mécanismes ou installations les formes des mécanismes connus sont répétées et ce n'est que dans les constructions succesives que les formes deviennent graduellement plus parfaites.

L'étape statique de l'histoire d'un mécanisme commence à la création de ses premières conceptions présentées par les inventeurs et finit quand le mécanisme passe à la production industrielle dans plusieurs usines. La durée de l'étape statique d'un mécanisme dépend de sa nature et peut évoluer d'un an à plusieurs dizaines d'années. Le développement des moteurs électriques peut servir ici d'un bel exemple. L'étape statique pour ces moteurs doit être divisée en plusieurs périodes. La période préliminaire de la construction des modèles physiques commence aux expériences de Faraday en 1821 et se termine en 1835 à l'apparition des premiers moteurs électriques alimentés par les piles galvaniques. Le deuxième période se termine environ 1878, quand on a constaté par expérience la réversibilité des moteurs électriques et on a commencé à produire les génératrices et les moteurs à courant continu, basés sur des principes analogues.

L'étape statique des appareils électromagnétiques de mesure, dont nous allons nous occuper spécialement dans le présent rapport, se fait renfermer dans les années 1885—1890, elle dure donc à peine cinq ans.

Dans l'analyse des différentes constructions des mécanismes du même genre il est possible d'éliminer à l'étape statique les mécanismes qui diffèrent peu dans la construction de leurs pièces composantes et qui, ramassés ensemble, formeront à l'étape dynamique le premier élément commun dans les cycles de construction de ces mécanismes fabriqué par les différents établissements industriels.

L'ÉTAPE DYNAMIQUE

A l'étape dynamique change la portée de l'objet d'études. Les recherches sont concentrées sur les mécanismes du même genre fabriqués par un établissement défini dans une période du temps assez long, p. ex. 50—60 ans. D'après la méthode d'études que nous allons présenter et que personne ou presque personne n'appliquait jusqu'à présent, l'historien de l'étape dynamique doit disposer non seulement des brevets d'invention et des publication, mais aussi d'une collection des mécanismes fabriqués dans une période de temps strictement fixée. Plus la collection est complète, plus les conclusions sur la marche et la direction du cycle de construction deviennent évidentes et sûres.

La construction du mécanisme n'est jamais terminée, elle subit une évolution continue, où l'auteur du prototype prend part ou ne la prend pas. Cette évolution dépend des capacités créatrices des personnes qui ont intercepté l'idée, puis des nouvelles matières de construction inconnues à la période de la première réalisation et enfin des changements dans la technologie de la production, auxquelles est liée indivisiblement la création d'une série de plus en plus nombreuse des méchanismes fabriqués.

A l'étape dynamique se font voir plus nettement les changements dans les éléments du même mécanisme produit par un même établissement dans les années successives. L'examen minutieux de ces changements laisse à faire de riches observations qui permettent à prendre connaissance des causes de ces changements.

Les mécanismes rangés d'après les dates de leur production à partir du premier mécanisme disponible jusqu'au dernier forment un cycle de construction et de technologie. Ce cycle est d'autant plus complet, qu'il contient un plus grand nombre des mécanismes qui se diffèrent peu l'un de l'autre et que les recherches englobent une plus longue période du temps. La disposition du cycle de construction n'est pas une chose facile. Pour la faire, il faut y consacrer un effort considérable dans un temps assez long et puis, ce qui n'est pas la moindre des choses, avoir de la chance de trouver ces types des mécanismes qui depuis longtemps ont été mis hors l'usage. En plus, il faut feuilleter un bon nombre de périodiques pour établir l'ordre des dâtes successives de la construction du mécanisme.

Les recherches sur l'évolution dynamique du mécanisme permettent à suivre tous les changements de construction qui se succédaient à travers de dizaines d'années, donc à connaître comment ce mécanisme passait graduellement de sa forme primitive à la forme dernière.

Les changements dans un mécanisme touchent ses parties composantes, sa forme extérieure et le genre de la matière dont il est fait. Il arrive que plusieurs parties sont remplacées par une seule, ce qui fait que le mécanisme devient moins compliqué.

Les recherches sur les cycles de construction sont utiles aussi bien pour les raisons scientifiques que didactiques. Il est excessivement instructif d'étudier la pensée constructrice qui aspire à réaliser un mécanisme le plus avantageux du point de vue de la combustion des matériaux, de la simplicité des procédés technologiques, du temps plus court de production et enfin ayant d'autres propriétés de plus en plus parfaites.

Dans les recherches sur les cycles de construction on arrive parfois à des moments où les matières de construction, disponibles à l'époque donnée, rendent impossible un nouveau perfectionnement des propriétés du mécanisme. L'on passe alors à la construction du même mécanisme à la base d'un autre fait physique, p. ex. dans les mécanismes électriques on a remplacé l'effet électromagnétique par l'effet inductif. L'on obtient alors un nouveau type du mécanisme destiné à faire le même travail, mais d'une autre manière. L'évolution du nouveau type du mécanisme passe d'une année à l'autre et dans ce temps-là il peut arriver que les nouvelles matières de construction, inconnues aux constructeurs précedents, peuvent changer la situation. Grâce aux nouvelles matières de construction l'ancien mécanisme, jadis abandonné, peut être maintenant doté des propriétés supérieures à celles du mécanisme nouveau. En conséquence, le mécanisme nouveau cède place au mécanisme ancien modernisé.

Parfois l'idée du constructeur ne peut pas être réalisée, car la matière de construction, aux propriétés nécessaires, manque. Quand une telle matière (métal ou son alliage) apparait, l'idée qui autrefois irrealisable, passe à la réalisation.

Les recherches sur les cycles de construction englobent en général une période de deux, trois générations. En ce qui concerne la construction des appareils électriques de mesure la période d'une cinquantaine d'années suffit pour que l'influence du premier constructeur ne joue plus aucun rôle dans l'évolution ultérieure du mécanisme, c.à.d. dans les changements de sa construction, sa forme et ses parties composantes.

Il arrive parfois que la pensée créatrice du constructeur prévoit les lignes de l'évolution du mécanisme et lui donne une réalisation qui permettrait de passer successivement aux formes plus parfaites, mais il arrive aussi que les changements y introduits par les constructeurs moins aptes détournent les intentions du premier constructeur et ce n'est qu'après plusieurs années des essais non réussis qu'on revient à la forme prévue à l'origine.

Pour connaître bien l'évolution dynamique d'un mécanisme il ne suffit pas d'étudier un seul cycle de construction, il faut examiner plusieurs cycles du même mécanisme produit dans plusieurs établissements. Ce n'est que la comparaison qui permet de saisir l'apport de la pensée créatrice du constructeur dans les changements du mécanisme et d'apprécier l'effort de l'établissement de production sur son perfectionnement.

Les recherches sur les cycles de construction permettent aussi à se faire l'opinion sur le développement de l'établissement de production: s'il maintient la même construction durant un temps trop long sans y apporter de changements, il donne le témoignage de son effort à la production du premier mécanisme et puis de l'atrophie de sa pensée créatrice. Cette atrophie est un signe que l'établissement devient arriéré et renonce à la concurrence avec d'autres établissements, ce qui mène à la production d'une qualité inférieure.

L'étude de plusieurs cycles élargit la portée des recherches. Elle permet de suivre la pensée des constructeurs à travers de dizaines d'années, attire l'attention sur les changements successifs des éléments particuliers et engage à les expliquer, c'est elle aussi qui rend possible ce qui est le plus essentiel: définir les prévisions sur les réalisations ultérieures de la construction du mécanisme.

Il peut arriver qu'à l'étape dynamique certains mécanismes dépérissent, et il est possible d'établir deux causes de ce dépérissement.

Tout d'abord le mécanisme peut être mis hors l'usage, même à la période de son plein développement et son grand rendement, s'il arrive la nécessité de réduire son poids et son volume ou si l'on cherche à obtenir une plus grande précision du fonctionnement. Dans de cas pareils il arrive parfois qu'un mécanisme abandonné revient après plusieurs années d'intervalle à l'usage dans des conditions changées.

Une autre chose est le dépérissement du mécanisme à cause de son vieillissement, ce qui arrive quand le mécanisme ne subit un temps plus long aucun changement. Le fait n'est pas à souhaiter. Il prouve qu'on ne s'intéresse plus à son développement, que la pensée créatrice à son sujet diminue ou devient nulle. Dans des cas pareils — il faut le souligner spécielement — les efforts créateurs des prédécesseurs sont gaspillés.

L'ÉTAPE NORMATIVE

A l'étape troisième, étape normative, le mécanisme arrive à la forme unique aux dimensions extérieures uniformes.

C'est à cette étape que sont élaborées les normes nationales et les recommandations normatives internationales. Les normes établissent les proportiétés fondamentales du mécanisme et ses dimensions extérieures, mais sont très prudentes en ce qui concerne les dimensions de ses parties composantes. De même, les recommandations internationales évitent de prescrire les détails de construction, car des prescriptions pareilles auraient freiné le développement du mécanisme et géné la pensée créatrice des constructeurs. La manière d'exécution de l'intérieur du mécanisme peut être juste pour la période de sa réalisation, mais peu convenable pour les formes du développement ultérieur, adaptées p. ex. aux nouvelles matières de construction inconnues au moment de l'élaboration des normes.

A l'étape normative il est commode de se servir des nombres normaux qui forment les suites de progression de Renard R5, R10 et R20, ayant l'application à la construction des mécanismes plus souvent que les nombres normaux des suites R40, R80 et R100. P. ex. dans la construction des appareils électriques de mesure les nombres normaux sont appliqués aux dimensions extérieures des appareils aux cadrans ronds, carrés et rectangulaires, et ensuite d'après les suites R5 ou plus rarement R10 sont établies les portées des mesures de ces appareils.

Les réserves sur les prescriptions dans les normes des détails de construction ne concernent pas les normes élaborées par les établissements particuliers pour les mécanismes y fabriqués. Ces normes subissent les changements imposés par le développement graduel des mécanismes.

A l'étape normative il n'y a que quelques exemplaires des mécanismes produits par les divers établissements. Ces exemplaires servent d'un soi-disant poteau indicateur de la direction du développement de construction.

TABLEAU DES ÉTAPES DU DÉVELOPPEMENT DES MÉCANISMES

L'analyse des trois étapes du développement donne la possibilité de comprendre à fond l'histoire du mécanisme et d'établir sa juste appréciation .

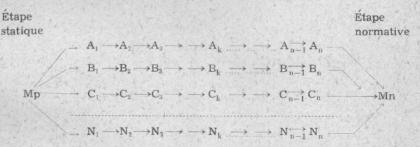
Le tableau I présente le développement du mécanisme dans ses trois étapes sous forme d'un schéma du cycle de développement. Parmi plusieurs mécanismes du même genre connus à l'étape première on a choisi le prototype M_p qui a la forme répétée dans les cycles de construction de plusieurs établissements de production. Ce prototype donc est la base de plusieurs cycles de construction à l'étape dynamique.

A cette étape les cycles de construction de N établissements contiennent un grand nombre des mécanismes, car chaque cycle compte n constructions d'un établissement. Dans le tableau I les établissements sont marqués des symboles.

Table I

LE SCHÉMA DU CYCLE DU DÉVELOPPEMENT DU MÉCANISME

Étape dynamique



A, B, C, N, et les mécanismes de mêmes symboles avec les signes 1, 2, 3, ... n. Le prototype M_p constitue le premier élément des cycles des établissements A, B, C, ... N, car les premières réalisations du mécanisme du même genre dans plusieurs établissements en général ressemblent l'une à l'autre. Les changements dans la construction faits durant l'étape dynamique, développée sous forme des cycles, tout d'abord différencient le mécanisme, mais plus tard, après quelques dizaines d'années, les mécanismes redeviennent de plus en plus

semblambles et enfin les éléments qui terminent les cycles, passant à l'étape normative, obtiennent la forme M_n peu différenciée, commune à plusieurs cycles.

L'arrangement des cycles de construction d'un mécanisme permet l'analyse minutieuse des changements dans la construction à travers de dizaines d'années et pour cette raison il constitue un nouvel apport important aux basses méthodologiques des recherches sur le développement des mécanismes.

D'après la méthode proposée la distinction de l'étape dynamique pose de nouvelles tâches. L'analyse des cycles de construction rend nécessaire non seulement d'étudier de gros volumes des périodiques scientifiques et techniques, mais aussi-même surtout — d'examiner les mécanismes recherchés dans le pays.

LES RECHERCHES SUR LES APPAREILS ÉLECTRIQUES DE MESURE

Les cycles de construction des appareils électriques de mesure, reconstruits dans le laboratoire des appareils électriques de mesure de l'École Polytechnique à Varsovie, ont permis de suivre de développement de ces appareils à travers les trois étapes et de constater dans ce développement certaines régularités.

Tout d'abord, la division du développement en trois étapes a permis de distinguer l'étape dynamique et les cycles y contenus; du premier coup d'oeil il est clair que ces cycles diffèrent l'un de l'autre, car chacun d'eux contient les mécanismes de divers établissements de production.

L'analyse des cycles de construction laisse à constater les régularités suivantes à l'étape dynamique:

- a) les cycles de construction sortis des prototypes semblables ou peu différenciés constituent les collections des mécanismes d'une forme semblable ou peu différenciée, bien que produits par les divers établissements;
- b) les éléments plus compliqués des cycles sont éliminés par les éléments plus simples dans leur construction et plus faciles dans la production, en conservant ou même surpassant les propriétés des éléments dépérissantes.

Le laboratoire des appareils électriques de mesure de l'École Polytechnique à Varsovie possède deux dizaines des cycles de construction des appareils électriques de mesure à l'étape dynamique. De ce nombre trois cycles du développement des compteurs inductifs de l'énergie électrique ont servi de base à l'ouvrage cité plus haut sur les oeuvres de W. Krukowski sur le développement des compteurs. Dans cet ouvrage a été démontré l'apport créateur de W. Krukowski dans la construction du compteur moderne et dans le fondement des bases solides pour le développement ultérieur des compteurs, spécialement mis en relief sur le fond du développement dynamique des compteurs inductifs. Les cycles de construction des usines des compteurs de Siemens-Schuckert Werke, Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft et H. Aron ont permis à constater certaines régularités sus-mentionnées.

La justesse des régularités principales peut être confirmée par l'examen des trois étapes du développement des appareils électromagnétiques de mesure ³.

LE DÉVELOPPEMENT DES APPAREILS ÉLECTROMAGNÉTIQUES DE MESURE

L'étape statique

L'appareil électrique de mesure est composé du mécanisme et du système mesureur. Le même mécanisme mis dans un système mesureur différent peut servir à mesurer les différentes quantités physiques à l'aide de l'électricité.

Les mécanismes d'un appareil peuvent être basés sur les effets physiques connus ou ceux qui seront connus plus tard. Dans la construction des mécanismes des appareils électriques de mesure le plus souvent on fait l'usage des effets électromagnétiques.

Le mécanisme contient le système mobile et le système immobile. Dans les appareils à aimant électrique ce sont les enroulements du système mobile qui sont mis en système mesureur et dans les appareils électromagnétiques ce sont les enroulements du système immobile.

A la période de la création des prototypes des appareils en question c'étaient les génératrices à courant continu, rapidement divulguées, qui étaient la source principale de l'énergie dont le réseau électrique était subventionné. Les usines électriques muni-

⁸ Vu les cadres limités de l'article, il n'y seront traités que les problèmes, fondamentaux sans entrer dans les détails. L'étude en préparation contiendra la description des problèmes plus détaillée. (La mort n'a pas permit à l'auteur de préparer cette étude).

cipales qui produisaient le courant alternatif triphasé, n'étaient pas nombreuses. P. ex. en Allemagne de 1895 sur le nombre total de 148 nouvelles usines électriques municipales il n'y avait que 8 qui fournissaient le courant triphasé. A l'Exposition Électrique Internationale à Munich en 1882 les génératrices à courant alternatif étaient traitées comme surannées. Il faut rappeler que les plus anciennes génératrices donnaient le courant alternatif, mais les lois de ce courant restaient inconnues ou bien étaient faussement interprétées.

Il en résultait qu'à la fin du XIX-e siècle les opinions sur le courant alternatif n'étaient pas avantageuses.

Les appareils électromagnétiques de mesure mesuraient les courants et les tensions aussi bien dans les réseaux à courant continu que, plus tard, dans les réseaux à courant alternatif. C'était là leur grande qualité. Les appareils à aimant électrique, employés ordinairement à mesurer le courant continu, ne pouvaient être appliqués à mesurer le courant alternatif que 30 ans plus tard, et ce n'était que grâce à l'emploi des thermoéléments et des redresseurs.

C'était en 1891 à la transmission de l'énergie électrique par le réseau triphasé à tension de ligne 15,2 kV et à fréquence 40 Hz de Lauffen à Francfort-sur-le-Main pour alimenter le moteur asynchrone sur le terrain de l'Exposition Internationale que les appareils électromagnétiques de mesure ont été employés à une échelle considérable. Le réseau triphasé et le moteur asynchrone ont été projétés par M. O. Doliwo-Dobrowolski. Cet inventeur de génie était aussi le premier à construire les appareils électromagnétiques à cadran, fabriqués par l'industrie allemande.

La production des appareils électromagnétiques dans le réseau à courant continu était vers l'année 1890 un grand événement technique; plusieurs publications plus importantes parues alors presque simultanément dans ETZ 4 en témoignent.

Le premier article plus long sur les appareils électromagnétiques AEG ⁵ parut dans ETZ en 1890 ⁶. Les principes du fonctionnement, ainsi que les propriétés et les qualités de ces appareils sont y décrits. Quelques mois plus tard dans le même périodique ⁷ Imhoff a décrit la construction d'un appareil électromagnétique en deux exécutions: l'une à planchette métallique placée excentriquement dans la bobine

^{4 &}quot;Elektrotechnische Zeitschrift".

⁵ Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft à Berlin.

Numéro 22, p. 209.
 Numéro 42, p. 505.



Fig. 1. Ampèremètre électromagnétique à planchette métallique.



Fig. 2. Ampèremètre électromagnétique de Kohlrausch à noyau métallique.



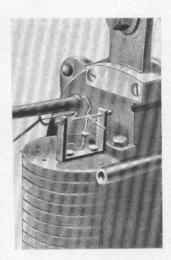


Fig. 3. et 4. Ampèremètre électromagnétique de Doliwo-Dobrowolski à noyau métallique (AEG).

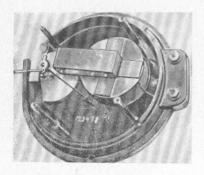


Fig. 5. Ampèremètre inductif (AEG).

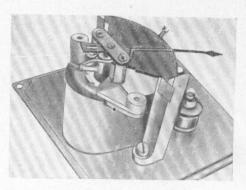


Fig. 6. Ampèremètre électromagnétique aux planchettes à repulsion (AEG).



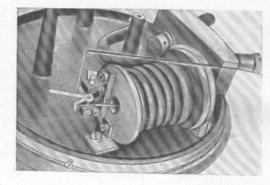


Fig. 7, et 8. Ampèremètre électromagnétique de l'établissement SH à noyau métallique.



Fig. 9. Ampèremètre électromagnetique à faucille métallique (SH Vienne).

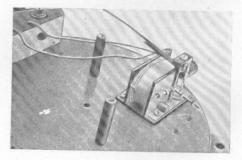


Fig. 10. Voltmètre électromagnétique à paillette métallique (SH Berlin).



Fig. 11. Ampèremètre inductif de l'établissement SH.

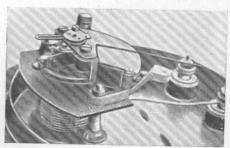


Fig. 12. Ampèremètre électromagnétique aux planchette à repulsion (SH).





Fig. 13 et 14. Ampèremètre électromagnétique à noyau métallique (HB).

Étape			Étape d	Étape dynamique			Étape
		ALLG	EMEINE ELEKTRI	ALLGEMEINE ELEKTRIZITÄTS-GESELLSCHAFT	HAFT		
	No de prod. 457, No de prod. fig. 3 et 4 12758, ————————————————————————————————————	, No de prod: 12758, bâtonnet singulier 0,6 mm	No de prod. 123478, fig. 5 ampèremètre inductif	No de prod. 356205, — ampèremètre électromagné- tique aux plan- chettes à re- pulsion	No de prod. 356205, 2837188, fig 6 ampèremètre electromagné- tique aux plan- chettes à re- sion d'une au- bulsion tre forme		
	Balancement 4,7%	1	Ballancement 1,22º/₀	Balancement 0,8%	1		
			SIEMENS ET HALSKE	ILSKE			
ampèremètre de Kohlrausch fig. 2, noyau métallique long 105 mm diamètre 15 mm	No de prod. 9054, deux bâtonnets métalliques long. 15 mm diamètre 2 mm	No de prod. 43072, fig. 7 et 8 bâtonnet singulier long 22 mm diamètre 1 mm	No de prod. 4525, fig. 9 faucille métal- lique, fabriqué à Vienne	No de prod. 50599, fig. 10 110318 fig. 14 voltmètre élec-ampèremètre tromagnétique inductif à paillette métallique	No de prod. 110318 fig. 14 ampèremètre inductif	No de prod. 3358803, fig. 12 ampèremètre électromagné- tíque aux plan- chettes à repul- sion	ampèremètre électromagné- tique aux plan- chettes à repul- sion
Balancement 5,5%	1	Ballancement 3,9%	1	1	Ī		
			HARTMANN	HARTMANN ET BRAUN			
	No de prod. 23414, fig. 13 et 14 noyau	No de prod. 252527,	No de prod. 405239,	111	No de prod. 1008206,		
	roulé d'une planchette métallique	planchettes à repulsion	planchettes à repulsion d'une autre forme	ampèremètre inductif	ampèremètre électromagné- tique, plan- chefites à repul- sion d'une autre forme		
	Balancement 6,9%	Balancement 2,0%	1	-	Balancement 1,6%		

ronde et l'autre à deux planchettes métalliques dont une était immobile, attachée à la paroi intérieure de la bobine, et l'autre, mobile, jointe raidement avec l'axe du système mobile. La première variante était plus tard connue sous le nom de l'appareil Hummel (fig. 1) fabriqué par l'établissement S. Schuckert et Compagnie à Nuremberg, l'autre attendait quelques dizaines d'années pour trouver l'application largement répandue et il est en usage jusqu'aujourd'hui.

L'article suivant sur les appareils électromagnétiques parut dans ETZ aussi en 1890 ⁸. L'établissement Siemens-Halske informait qu'il avait entrepris la construction des appareils de ce genre déjà en 1887.

En même temps les appareils électromagnétiques à cadran, fabriqués par les établissements Hartmann et Braun, allaient aussi à être divulgués.

Les brevets d'invention manquent, il est donc impossible à la seule base des articles de constater la priorité de l'idée. Mais quand on connait les cycles de construction des appareils électromagnétiques des dits établissements, on peut constater au dessus d'aucun doute que c'était M. O. Doliwo-Dobrowolski qui était le premier constructeur des appareils électromagnétiques à cadran.

Le prototype de ces appareils fabriqués par les dits établissements était l'ampèremètre à un métal tiré en dedans de la bobine, inventé par le professeur Kohlrausch (fig. 2) et réalisé par les établissements Hartmann et Braun. L'ampèremètre de Kohlrausch a été largement divulgué sur le continent d'Europe, mais à cause de sa forme peu commode il fut remplacé par les appareils ronds à cadran, dont la production a été entreprise presque simultanément par plusieurs établissements.

L'étape dynamique

Les cycles de construction à l'étape dynamique peuvent être comparés à la base de leurs principes de construction, donc de leur poids du système mobile, de leur constante de construction, du coëfficient de l'utilité mécanique, de l'indice des ampère-tours et de l'absorption de puissance, ou bien à la base de leurs propriétés, donc des caractéristiques de l'acier, de la précision des indications, du temps de l'apaisement de l'aiguille, de la résistance mécanique, ther-

⁸ Numéro 43, p. 567

K. H. N. i T. - 4

mique et électrique, ou enfin à la base de l'examen des détails de construction des parties composantes: du système mobile et système immobile, des paliers, de l'amortisseur, des serre-fils, du corps, des bâches etc. L'étude de tous ces éléments dépasserait les cadres de cet article, je me borne donc aux détails de construction du système mobile et des balancements.

Parmi les cycles de construction dans les collections du laboratoire des appareils électriques de mesure de l'École Polytechnique à Varsovie se trouvent:

- 1. le cycle de construction de l'établissement AEG (Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft); ce cycle contient 27 éléments, dont le premier est l'appareil No 457 du 1890 et le dernier appareil du 1938.
- 2. le cycle de construction de l'établissement SH (Siemens et Halske); ce cycle contient 32 éléments, dont le premier est l'appareil du 1891 et le dernier appareil du 1938.
- 3. le cycle de construction de l'établissement H et B (Hartmann et Braun); ce cycle contient 18 éléments, dont le premier est du 1891 et le dernier du 1931.

En examinant les premiers éléments des cycles présentés dans le tableau II et les photos des appareils il est possible de remarquer que l'ampèremètre de M. O. Doliwo-Dobrowolski nr 457 (fig. 3 et 4) est la première construction d'un appareil électromagnétique à cadran.

Les ampèremètres électromagnétiques de l'établissement SH No 9054 et 43072 (fig. 7 et 8) démontrent que dans leur construction on a fait l'usage des détails de construction de l'appareil AEG. Le même principe du métal tiré en dedans de la bobine est appliqué, bien que dans une autre exécution du système mobile, dans les appareils H et B (fig. 13 et 14).

Dans tous ces appareils le système mobile est composé d'un ou de plusieurs bâtonnets métalliques tirés en dedans de la bobine du système immobile. Dans les réalisations ultérieures plusieurs bâtonnets sont remplacés par un seul.

Dans le cycle de construction de la filiale de l'établissement SH à Vienne un constructeur ingénieux, dont le nom reste malheureusement inconnu, de son raisonnement logique a remplacé les bâtonnets métalliques par une faucille métallique (appareil No 4525, fig. 9). Cette invention d'une grande importance a été mise à profit par l'établissement SH à Berlin tout d'abord dans la construction du voltmètre (appareil No 50599, fig. 10), et ensuite, après une longue période des essais, dans la production des ampèremètres, p. ex. appareil No 98220 à 50 A.

Dans les réalisations des autres établissements la construction à paillette tirée en dedans a servi plus tard à la construction des appareils électromagnétiques de haute précision. La construction à faucille tirée en dedans apparait aussi dans les réalisations modernes des appareils électromagnétiques de quotient, destinés à mesurer les quantités physiques à l'aide de l'électricité.

Dans les réalisations avant 1905, conditionnées par la matière de construction férromagnétique disponible en ce temps-là, il était difficile de diminuer le balancement des indications des appareils. Les constructeurs étaient alors obligés à construire les appareils inductifs (fig. 5 et 11). Ces appareils avaient le balancement de 1,5%, mais leur construction était trop compliquée et leur poids de beaucoup plus grand que celui des appareils électromagnétiques. Un des plus difficiles procédés technologiques y était l'exécution du piston circulaire (fig. 11).

La période de 10 ans suffit pour que — grâce à l'emploi des matières férromagnétiques plus parfaites et à l'application du système de deux planchettes à répulsion — les balancements des appareils électromagnétiques dans leur nouvelle réalisation descendent au dessous de 1,5%. Les appareils inductifs à aiguille destinés à mesurer le courant et l'induction perdirent alors leur raison d'existence et on ne les produisait plus. Dans les établissements H et B les patrons du système magnétique des appareils inductifs ont été exploités à la construction des appareils férrodynamiques.

Il est facile à remarquer dans le tableau II que dans les cycles de tous les trois établissements les éléments derniers sont constitués par les appareils à deux planchettes à répulsion (fig. 6 et 12). Ce type constitue la forme commune des appareils électromagnétiques à la transition vers l'étape normative.

Les appareils électromagnétiques perfectionnés subissaient les changements de construction dans toutes leurs parties composantes, donc non seulement dans le circuit magnétique, mais aussi dans le système mobile, paliers, amortisseurs, serre-fils etc. Les cycles de construction présentés plus haut peuvent être disposés en cycles fragmentaires qui ne traiteraient que d'une partie composante, p. ex. paliers, serre-fils etc.

L'étape normative

Quand on examine les éléments des mécanismes à l'étape normative, on voit une tendance à établir les dimensions de certains éléments par l'application au mesurage des suites des nombres normaux, dont le plus souvent sont appliquées les suites R_5 et R_{10} , tandis que R_{20} apparait plus rarement. En plus, on y prend pour principe, que l'établissement des dimensions de certains éléments ne peut jamais géner la pensée créatrice du constructeur, mais doit faciliter la construction.

Voici l'exemple de quelques éléments des appareils électromagnétiques, dont les dimensions peuvent être établies dans les mombres normaux:

- a) dans les paliers les rayons des surfaces sphériques du tourillon et du cône intérieur, d'après la suite R₅;
- b) sur le cadran gradué la hauteur des chiffres et des tirets de division, d'après la suite R_{10} ; la proportion de la largeur des chiffres à leur hauteur peut être maintenue, pour les raisons d'esthétique, dans les limites de 1:1 à 1:1,6;
- c) la graduation des moments de reprise produits par les ressorts à spirale, d'après la suite R_{20} ;
 - d) les dimensions extérieures des appareils, d'après la suite R_{10} ;
- e) la graduation des portées nominales des mesures, d'après la suite R_{10} .

L'établissement des dimensions ou des quantités en nombres normaux est très utile dans le travail constructif; il rend possible de faire l'usage des éléments élaborés d'après les principes théoriques et l'expérience. Et même, si on marque les dimensions p. ex. de l'extrémité du tourillon, cela ne gène point le constructeur qui fixerait le système mobile sur les tendeurs au lieu de le placer dans les paliers. Une norme contenait la recommandation un peu génante sur la distance entre l'aiguille et le cadran gradué qui devrait être proportionnée à la longueur de l'aiguille; cette recommandation est devenue nulle dans les constructions modernes où l'aiguille fait ses mouvements dans le cadran gradué.

La méthode des recherches sur le développement des mécanismes, qui vient d'être rapportée à l'exemple des appareils électriques de mesure, connait aussi de sérieuses difficultés.

Il est impossible d'argumenter suffisamment la justesse des conclusions qu'on trouve souvent dans la presse technique et qu'on avait déduites à la base de quelques constructions singulières. Il n'y a que la méthode de baser les recherches sur plusieurs prototypes et sur la reconstruction des cycles de construction partant de ces prototypes — et ces cycles doivent englober une période de temps d'au moins de 40—60 ans — qui permet connaître à fond les changements réalisés dans les éléments du mécanisme et dans les systèmes mesureurs de l'appareil.

L'exemple des recherches sur les cycles de construction des appareils électriques de mesure, présenté plus haut, devait être abrégé et fragmentaire. Fragmentaire aussi est le choix des photos y insérées.

La continuité de l'évolution des formes de construction est démontrée à la base des collections assez riches des appareils qui se trouvent au laboratoire des appareils électriques de mesure de l'École Polytechnique à Varsovie.

L'examen des éléments des cycles de construction du mécanisme — presque du moment de sa création jusqu'à l'application à ses dimensions des nombres normaux — confirme la justesse des regularités aperçues dans le développement du mécanisme.

Les recherches détaillées sur les cycles de construction, l'analyse des publications qui fournissent l'argumentation théorique des changements y apportés et surtout l'analyse détaillée des parties composantes des mécanismes et des systèmes mesureurs — dépasseraient de beaucoup les cadres de cet article qui n'a d'autres ambitions que de présenter un exemple de recherches sur l'histoire des mécanismes, exemple qui aurait attiré l'attention sur l'étendue des recherches et sur les difficultés liées à leur réalisation.