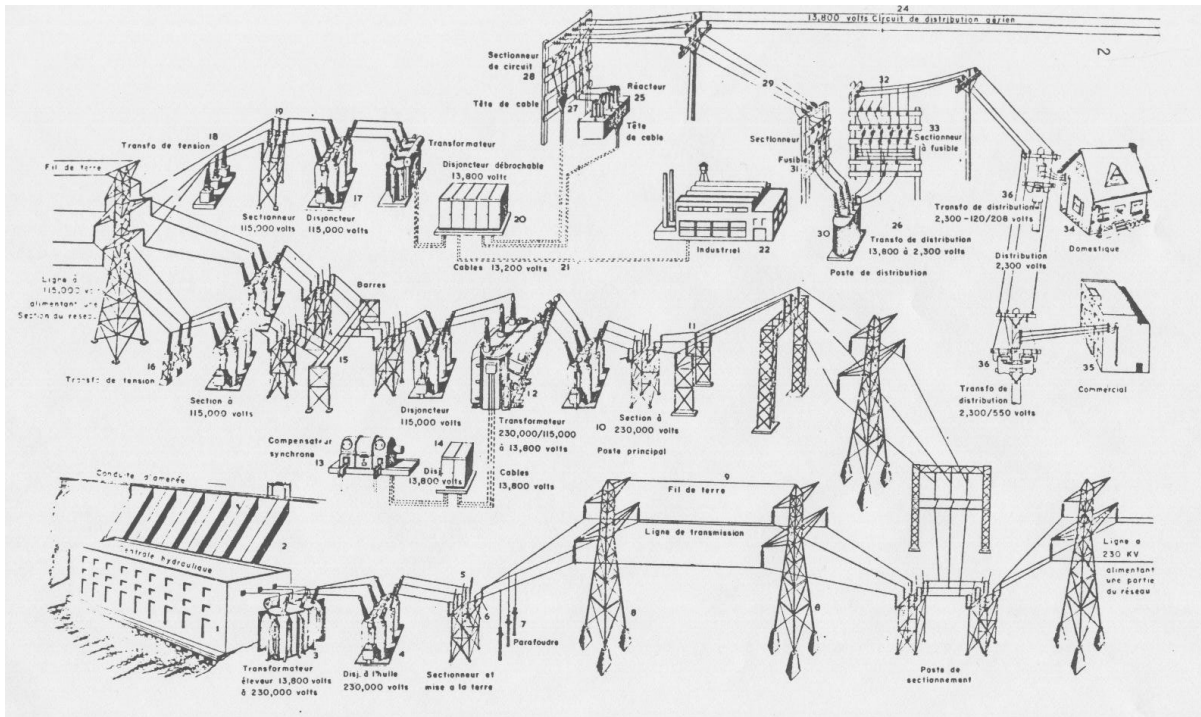
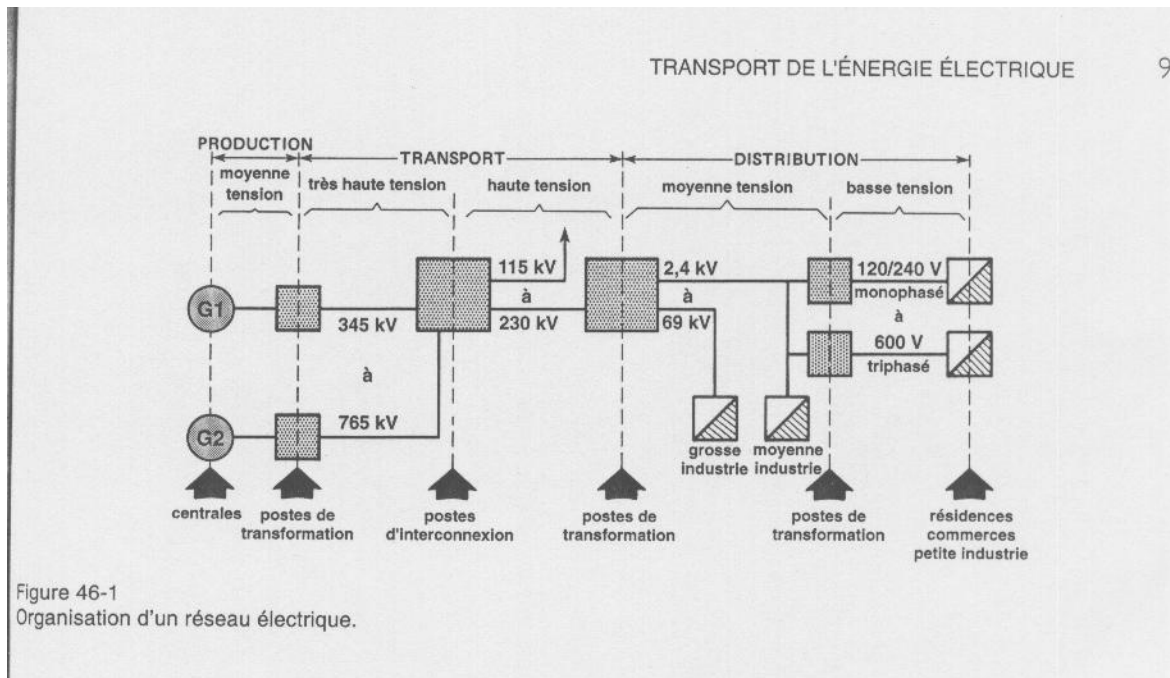




Vue d'ensemble des composants d'un réseau électrique



Wildi : Organisation d'un réseau électrique

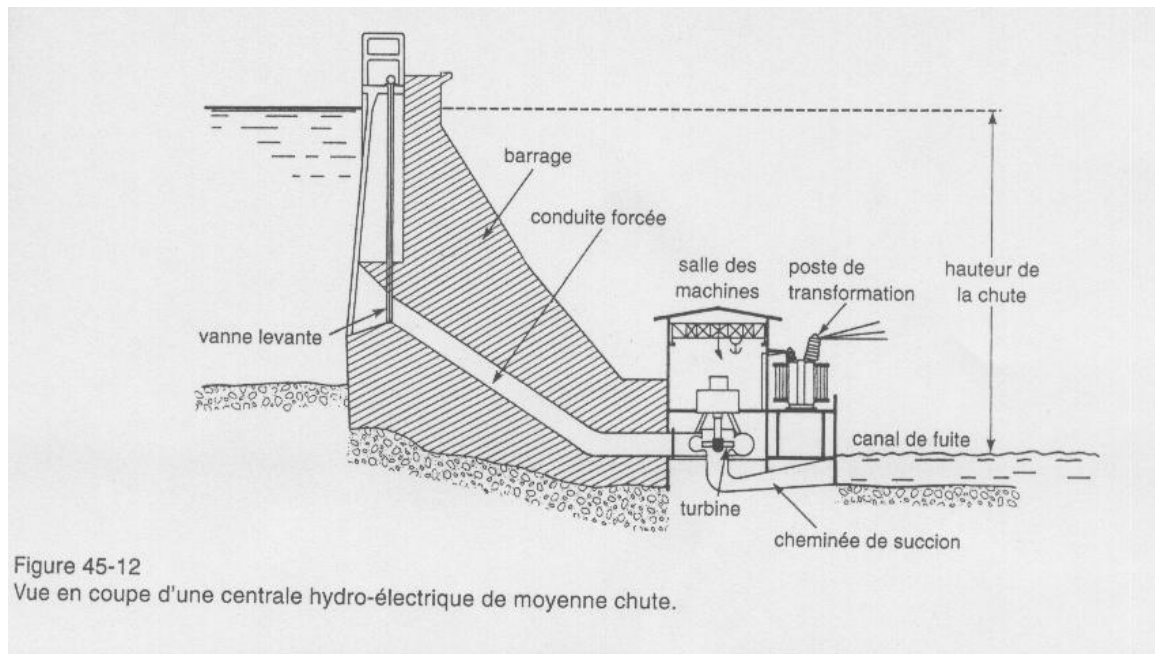
TABLEAU 46-1 TENSIONS NORMALISÉES DES RÉSEAUX
(valeurs en gras préférées)

classe	tension nominale du réseau	
	3 fils	4 fils
basse tension	120/240 (monophasé)	
B.T.	480 600	120/208 277/480 347/600
moyenne tension	2400 4160 4800	
M.T.	6900 13 800 23 000 34 500 46 000 69 000	7200/12 470 7620/ 13 200 7970/13 800 14 400/24 940 19 920/34 500
haute tension	115 000 138 000	
H.T.	161 000 230 000	
très haute tension	345 000 500 000	
T.H.T.	735 000 765 000	

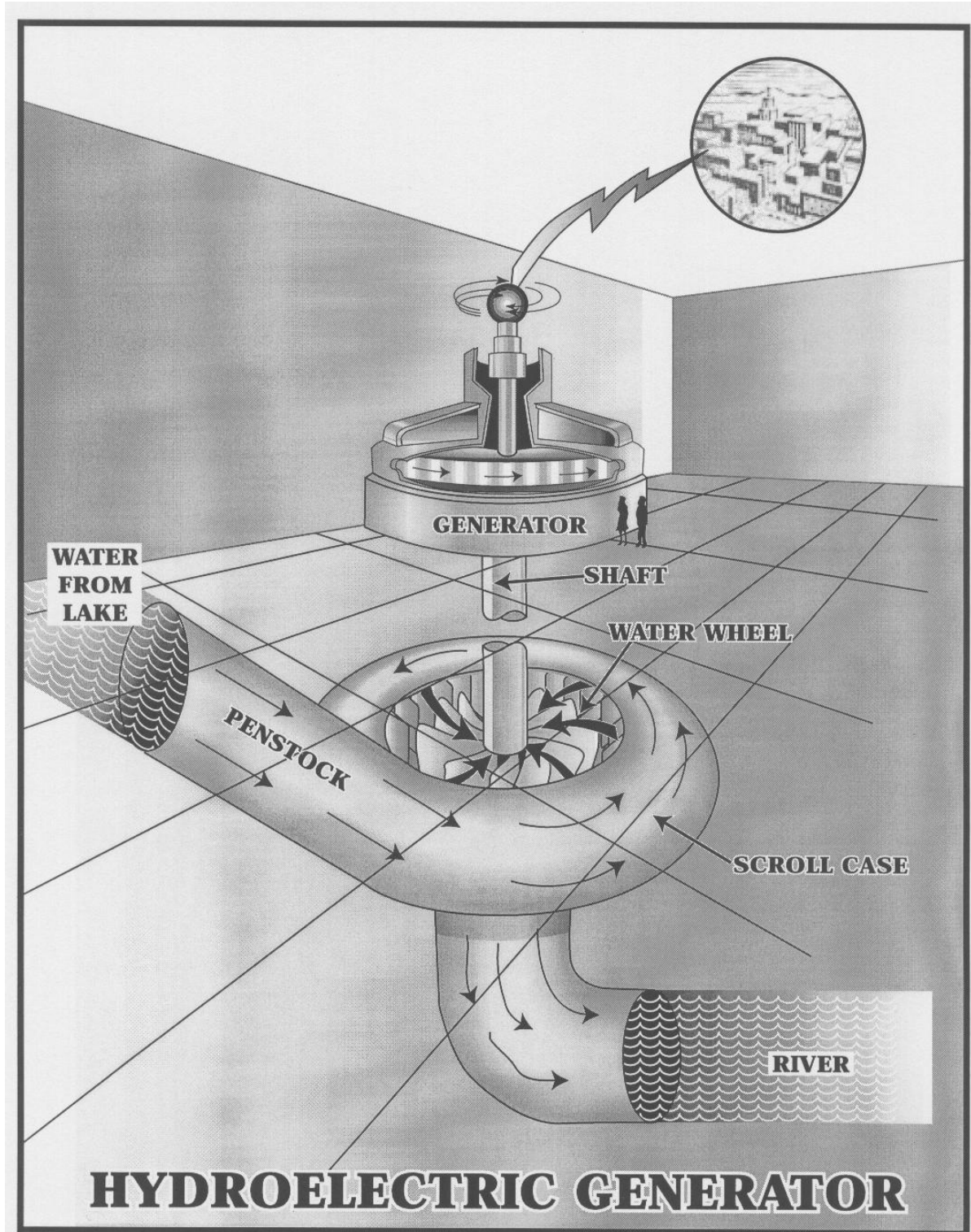
Approuvé le 4 septembre 1975 par le Conseil des normes du IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers). Voir aussi ANSI C84-1a-1973 et C92.2-1974

Wildi : Tensions normalisées des réseaux électriques en Amérique du nord

Production



Wildi : Centrale hydro-électrique



Siemens: Centrale hydro électrique

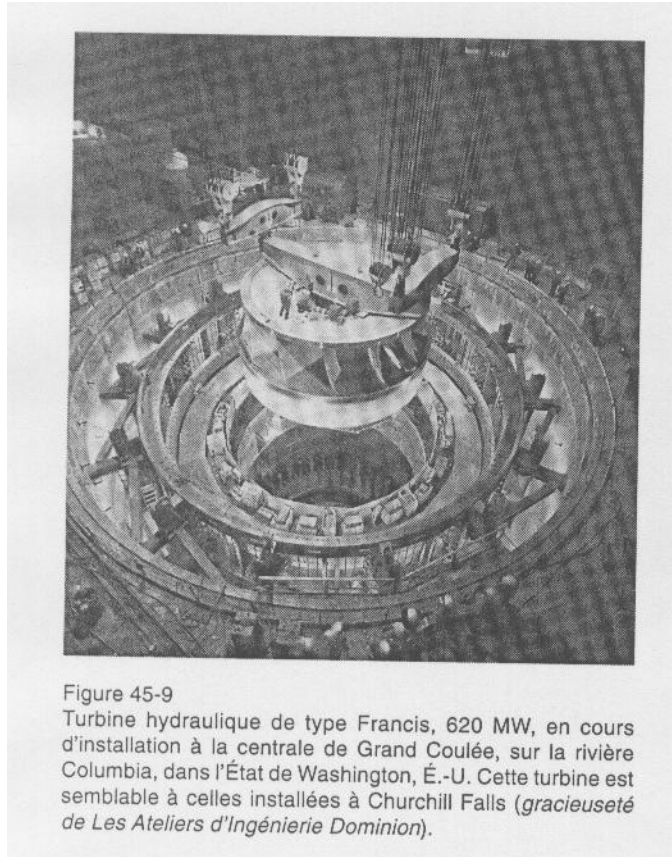


Figure 45-9

Turbine hydraulique de type Francis, 620 MW, en cours d'installation à la centrale de Grand Coulee, sur la rivière Columbia, dans l'État de Washington, É.-U. Cette turbine est semblable à celles installées à Churchill Falls (*gracieuseté de Les Ateliers d'Ingénierie Dominion*).

Wildi : Turbine hydraulique de type Francis

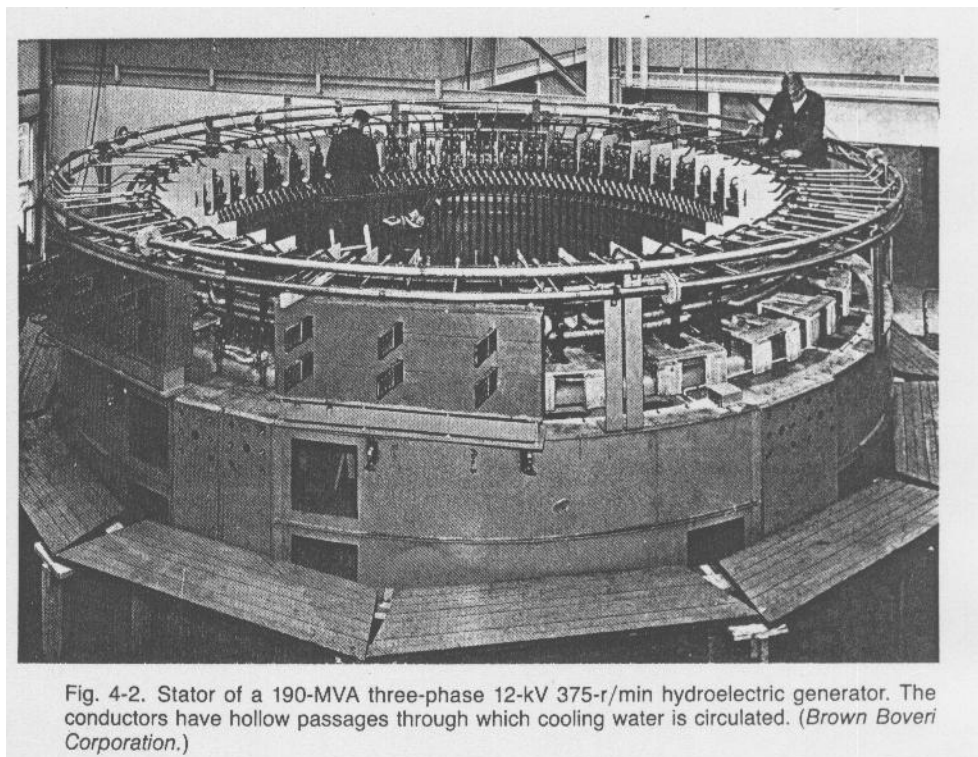


Fig. 4-2. Stator of a 190-MVA three-phase 12-kV 375-r/min hydroelectric generator. The conductors have hollow passages through which cooling water is circulated. (*Brown Boveri Corporation.*)

Fitzgerald: Construction d'un générateur synchrone

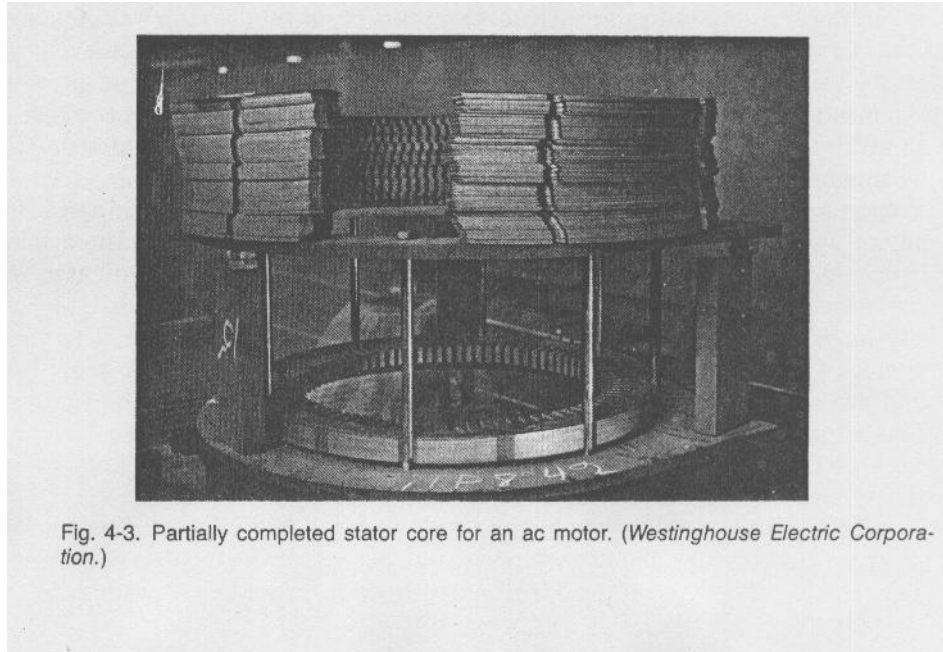


Fig. 4-3. Partially completed stator core for an ac motor. (Westinghouse Electric Corporation.)

Fitzgerald : Construction du noyau magnétique du stator

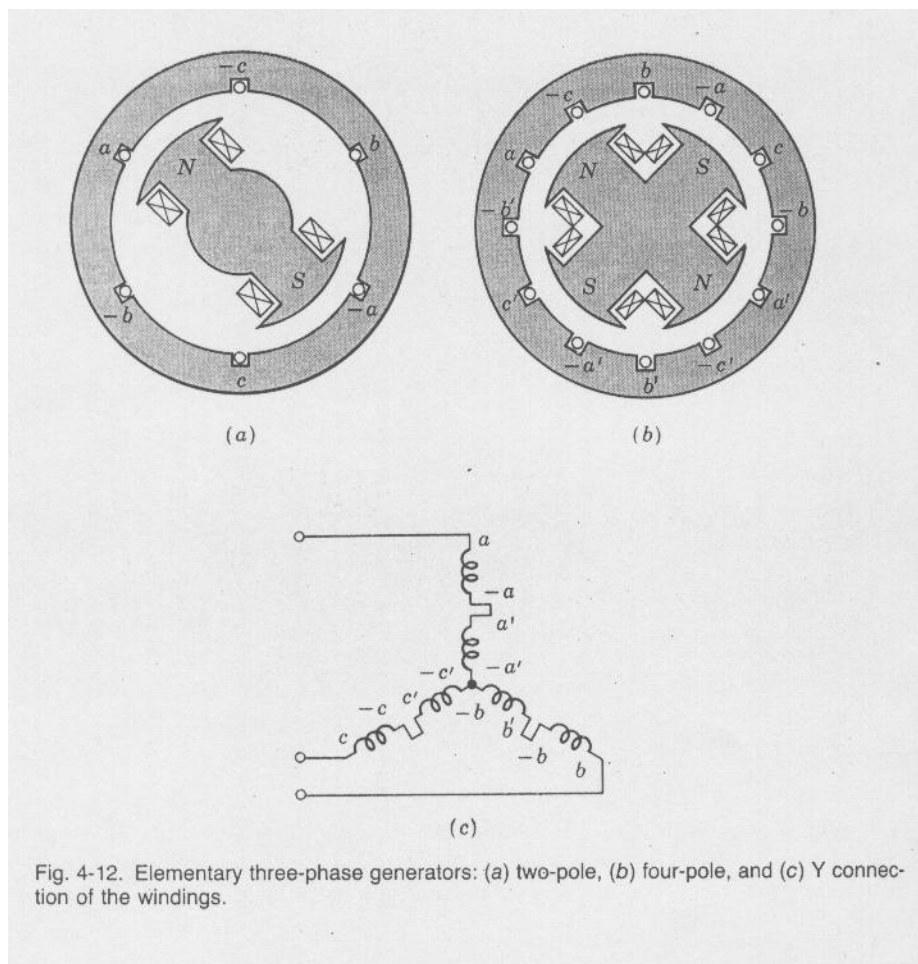
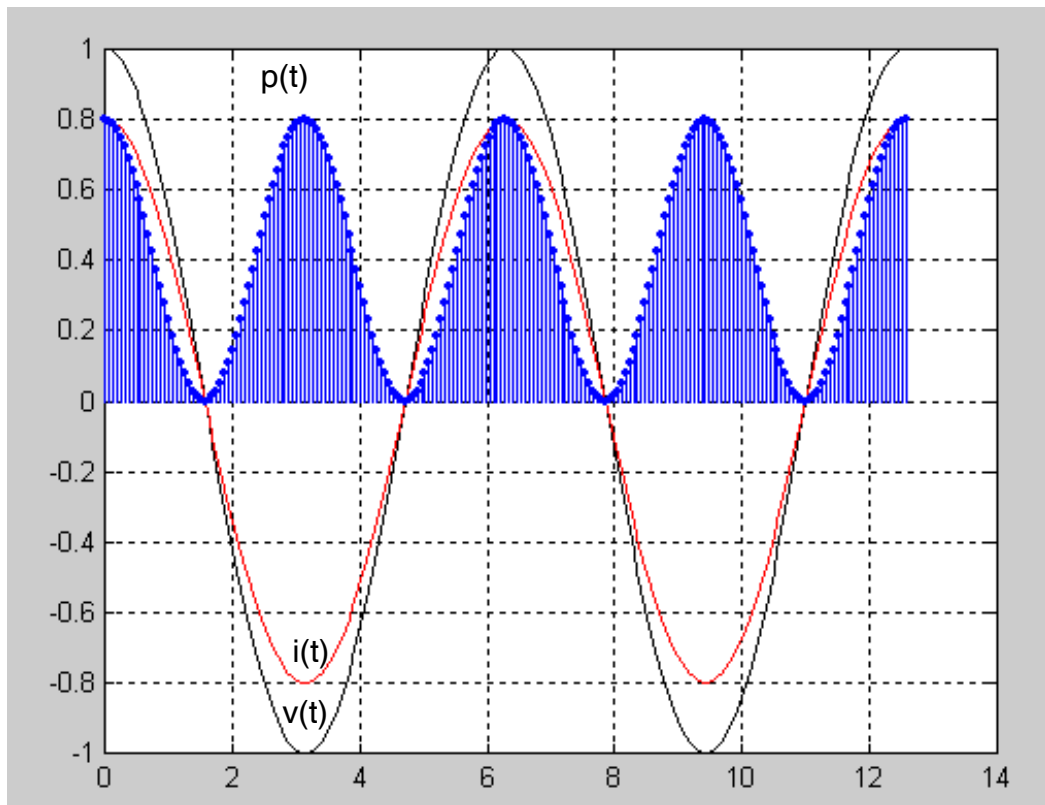
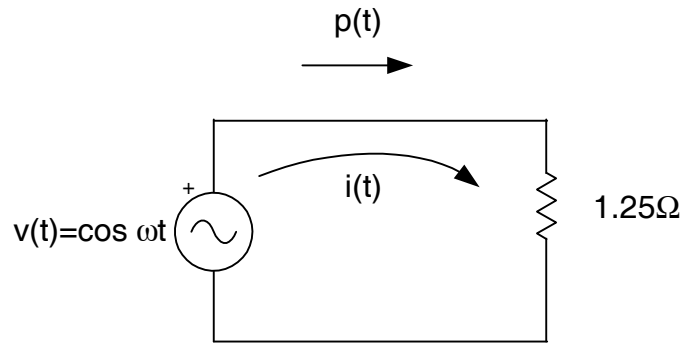


Fig. 4-12. Elementary three-phase generators: (a) two-pole, (b) four-pole, and (c) Y connection of the windings.

Fitzgerald : Vue de coupe d'un générateur triphasé

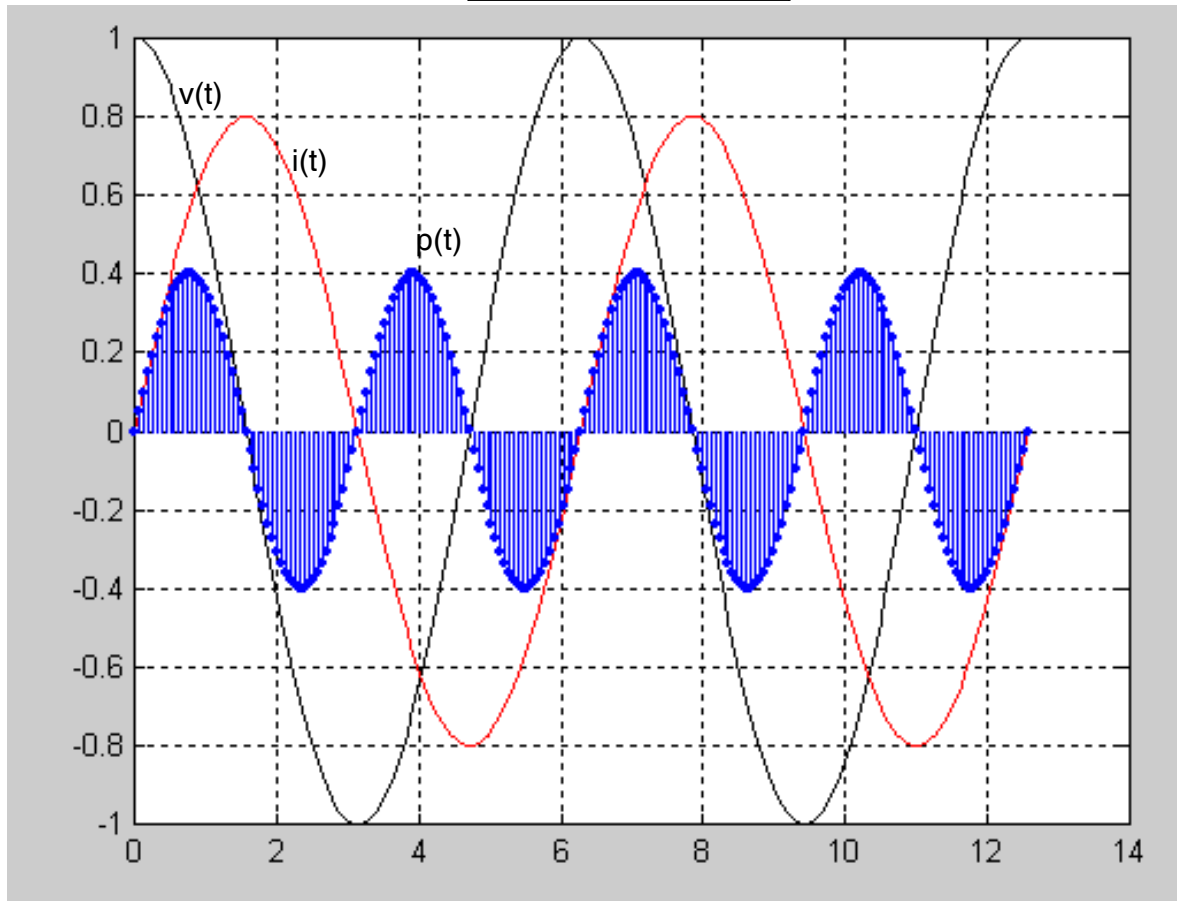
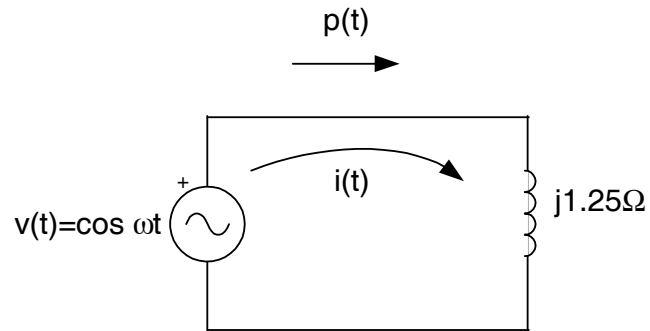


$$V = \frac{1}{\sqrt{2}} \angle 0^\circ \text{ (V)}$$

$$I = \frac{0.8}{\sqrt{2}} \angle 0^\circ \text{ (A)}$$

$$S = V \cdot I^* = 0.4 \angle 0^\circ \text{ (W)}$$

Transfert de puissance à une charge résistive

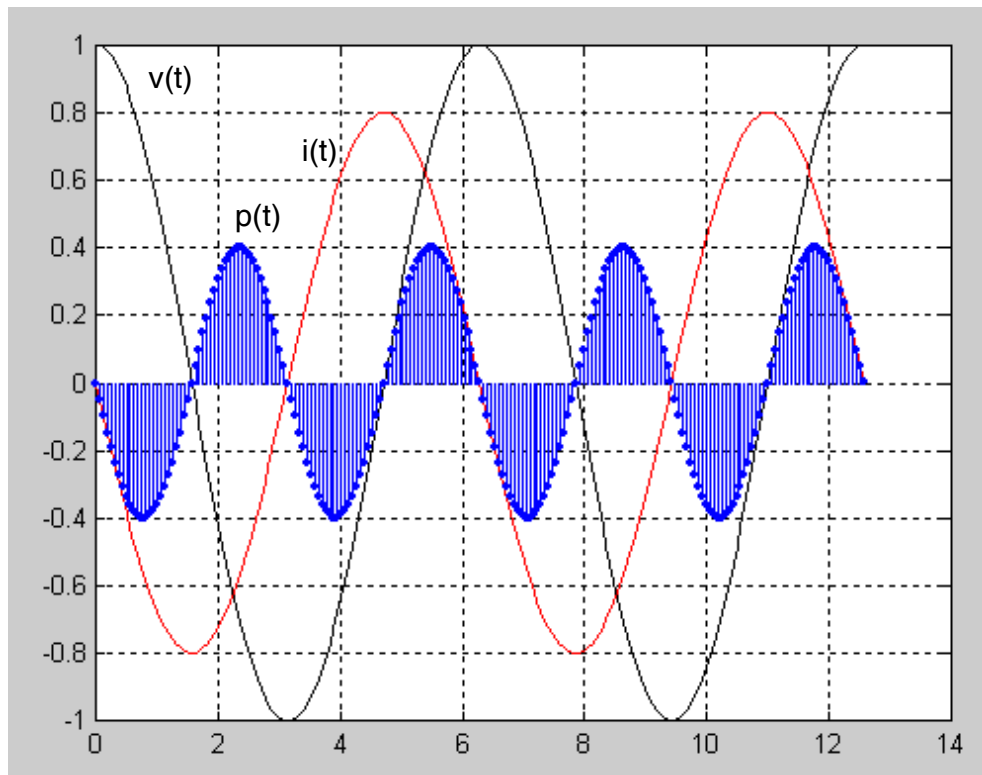
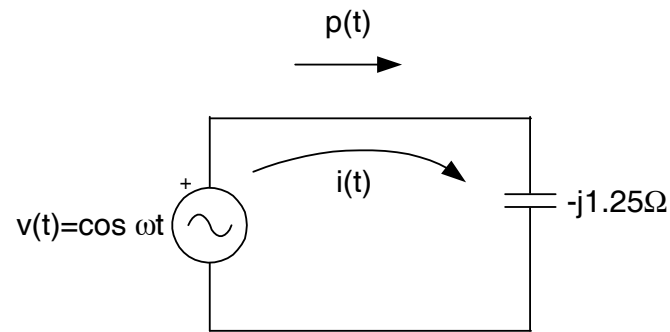


$$V = \frac{1}{\sqrt{2}} \angle 0^\circ \text{ (V)}$$

$$I = \frac{0.8}{\sqrt{2}} \angle -90^\circ \text{ (A)}$$

$$S = V \cdot I^* = 0.4 \angle 90^\circ \text{ (VA)} \rightarrow Q = 0.4 \text{ (Var)}$$

Transfert de puissance à une charge inductive

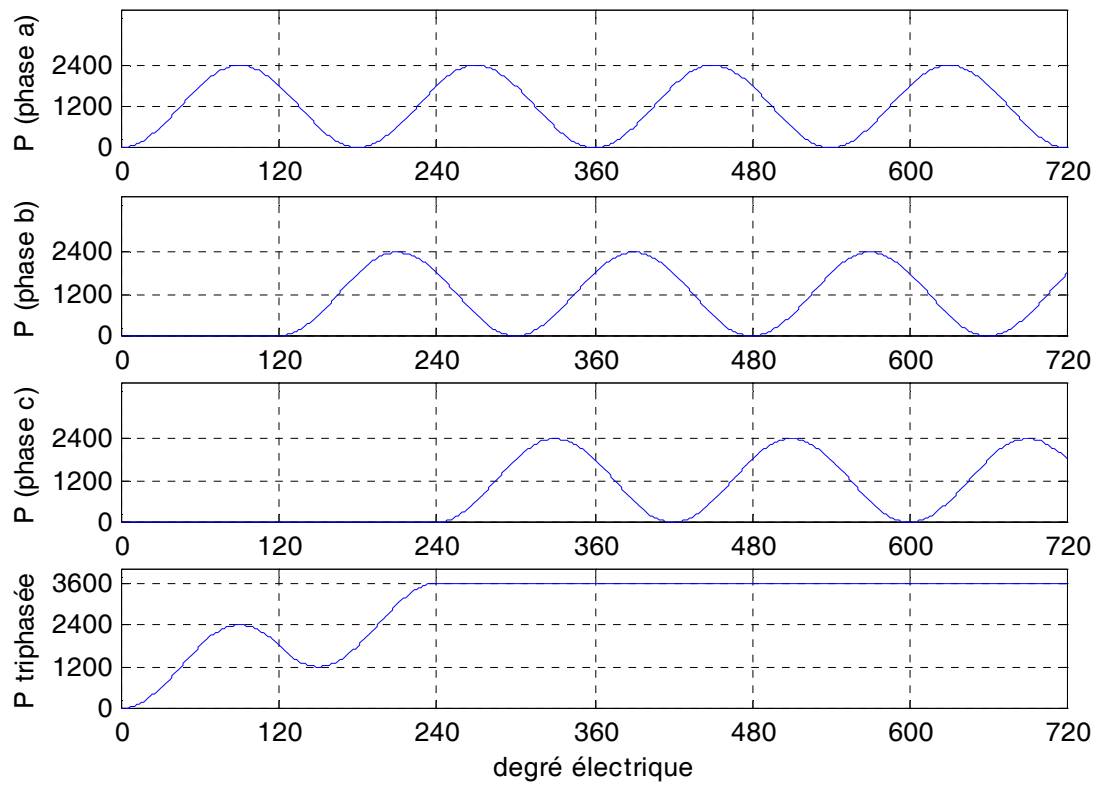
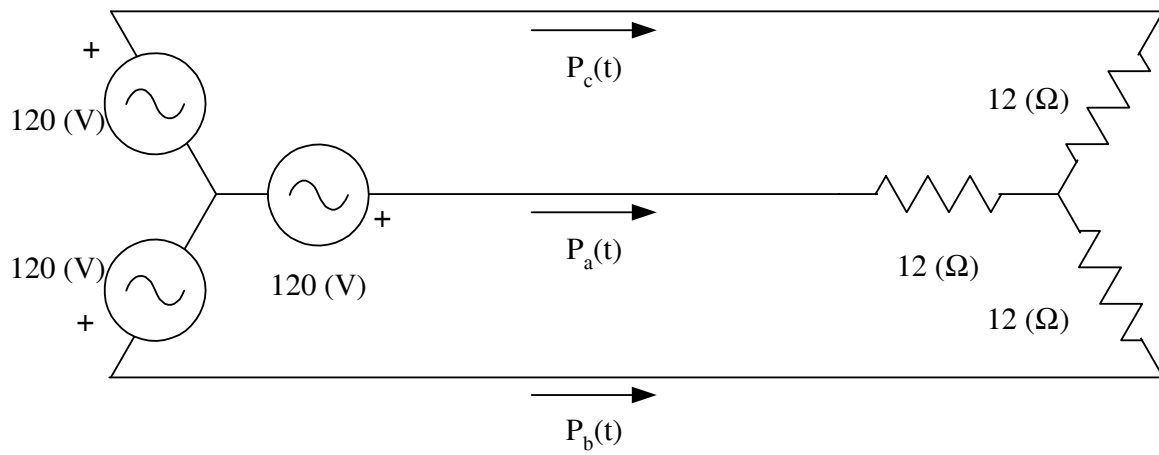


$$V = \frac{1}{\sqrt{2}} \angle 0^\circ \text{ (V)}$$

$$I = \frac{0.8}{\sqrt{2}} \angle 90^\circ \text{ (A)}$$

$$S = V \cdot I^* = 0.4 \angle -90^\circ \text{ (VA)} \rightarrow Q = -0.4 \text{ (Var)}$$

Transfert de puissance à une charge capacitive



Transfert de puissance d'une source triphasée

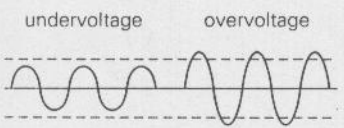
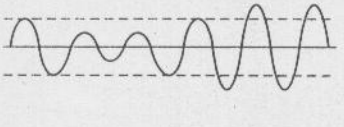
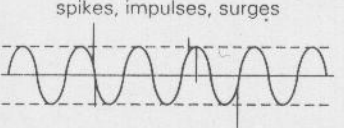
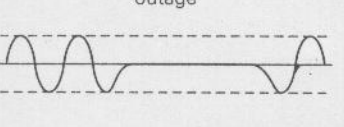
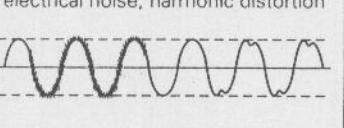
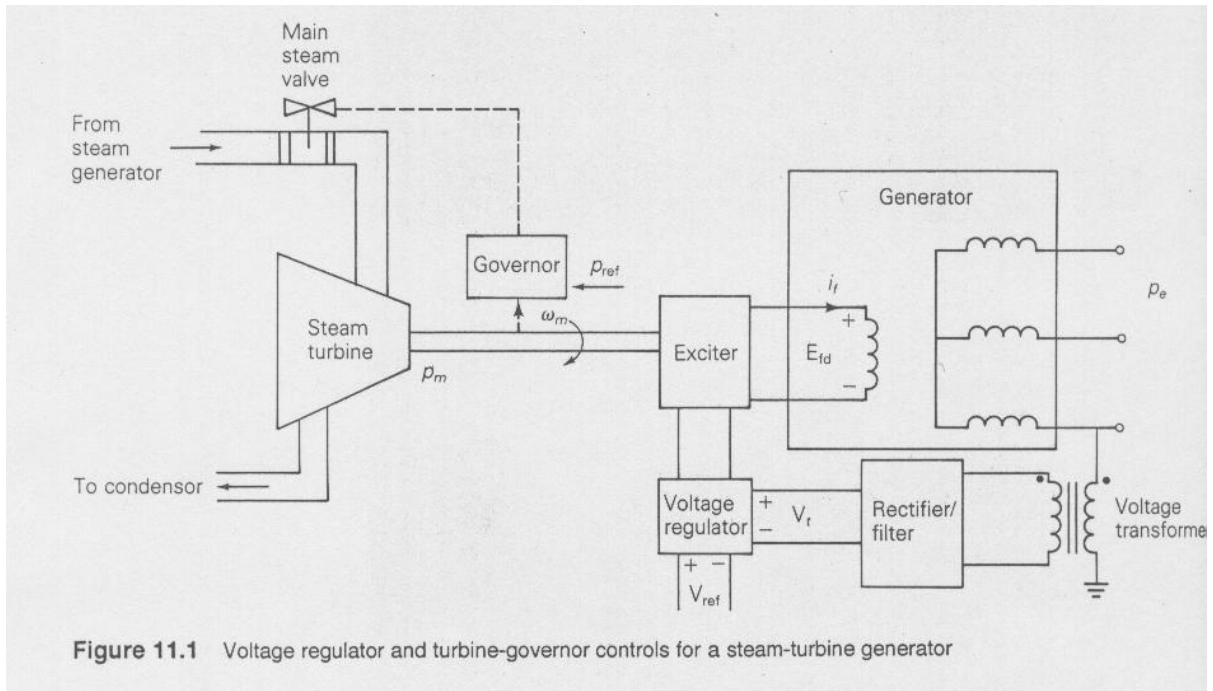
Waveform	Type of disturbance	Type of equipment affected	Effective protection equipment
 undervoltage overvoltage	Undervoltage or overvoltage are conditions of abnormally low or high voltages lasting more than a few seconds and caused by circuit overloads, poor voltage regulation, and intentional reductions by the utility (brownout)	All equipment is affected, although most equipment is designed to tolerate 120 volts $\pm$ 10 percent	Voltage regulator, line conditioner, or uninterruptible power supply (UPS)
 sag momentary overvoltage (swell)	Voltage sags (voltage decreases outside normal tolerance lasting less than a few seconds) that are often caused when heavy loads are started, by lightning, and by power system faults; swells are brief voltage increases often caused by sudden load decreases or turn-off of heavy equipment	Sags affect power-downsensing circuitry on computers and large controllers and can cause equipment to shut down; swells can damage equipment (including spike suppressors) that have insufficient tolerance	Voltage regulator, ferro-resonant transformer, line conditioner, or UPS
 spikes, impulses, surges	Spikes (impulses, switching surges, or lightning surges) are microsecond- to millisecond-long voltage increases, ranging in amplitude from 200 to 6000 volts and caused by lightning, switching of heavy loads, and short circuits or power system faults	Electronic loads can be destroyed and transformer or motor insulation broken down	Spike suppressor (also called surge suppressor), or some line conditioners
 outage	An outage is the complete loss of power for several milliseconds to several hours and may be caused by power system faults, accidents involving power lines, transformer failures, and generator failures. Some sensitive equipment may be disrupted by outages as short as 15 ms	All equipment is affected	UPS or standby power supply
 electrical noise, harmonic distortion	Electrical noise is a distortion of the normal sinewave power and can be caused by radar and radio transmitters, fluorescent lights, power electronic control circuits, arcing utility and industrial equipment, loads with solid-state rectifiers, and switching power supplies typically used in computer systems	Electrical noise disturbs microprocessor-based equipment, such as microcomputers and programmable controllers; harmonic distortion causes motor loads, such as compressors, pumps, and disk drives, to overheat	Filter, isolation transformer, UPS, or some line conditioners

Figure 2 Types of disturbances and effective protection equipment

Glover : Perturbations de la tension



Glover: Régulation de tension et d'angle

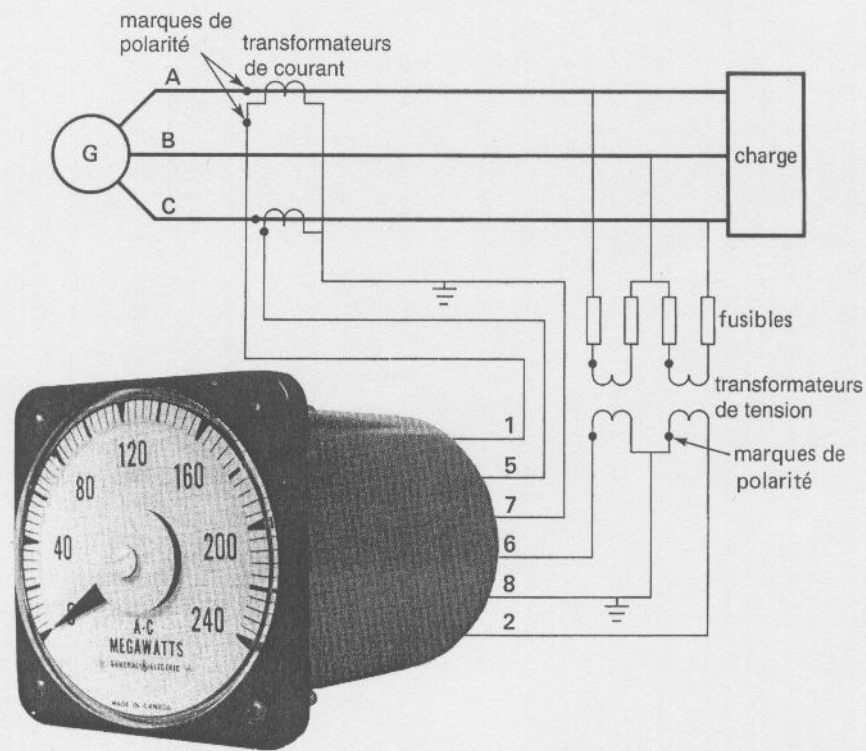


Figure 26-24

Wattmètre utilisé pour la mesure de la puissance active dans une ligne triphasée à 3 fils. Les transformateurs de potentiel et de courant sont intercalés entre la ligne triphasée et l'instrument, selon le schéma de raccordement montré ci-dessus. Le wattmètre lui-même est doté d'un multiplicateur *EI* qui génère une tension à courant continu proportionnelle à la puissance active totale. L'aiguille est donc actionnée par un simple mouvement d'Arsonval (voir aussi la figure 25-9 montrant un varmètre triphasé fonctionnant selon le même principe) (gracieuseté de Cie Générale Électrique).

Wildi : Lecture de la puissance active

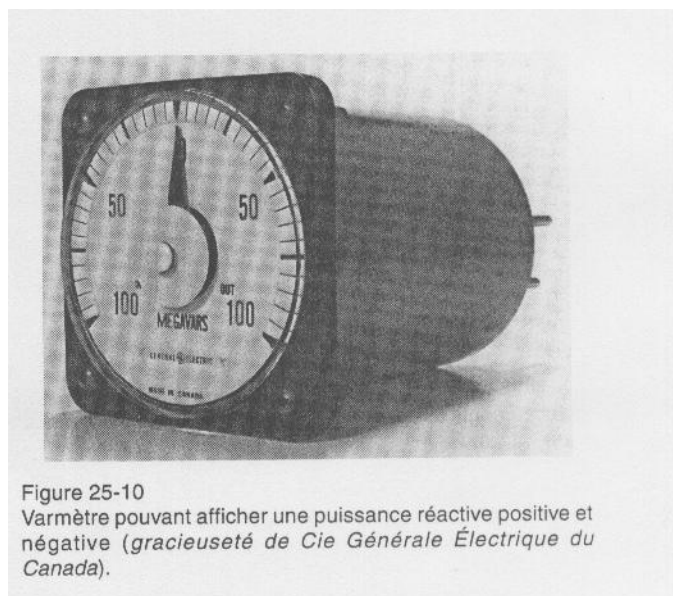
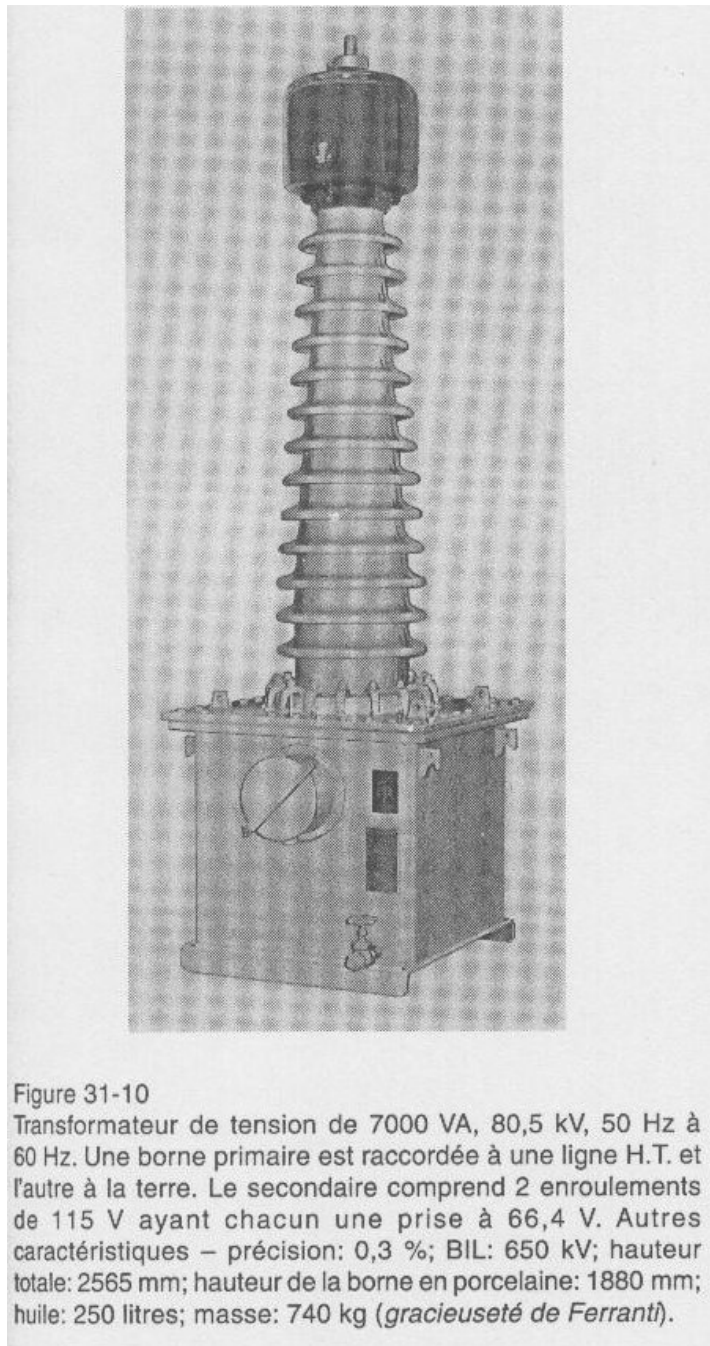


Figure 25-10

Varmètre pouvant afficher une puissance réactive positive et négative (gracieuseté de Cie Générale Électrique du Canada).

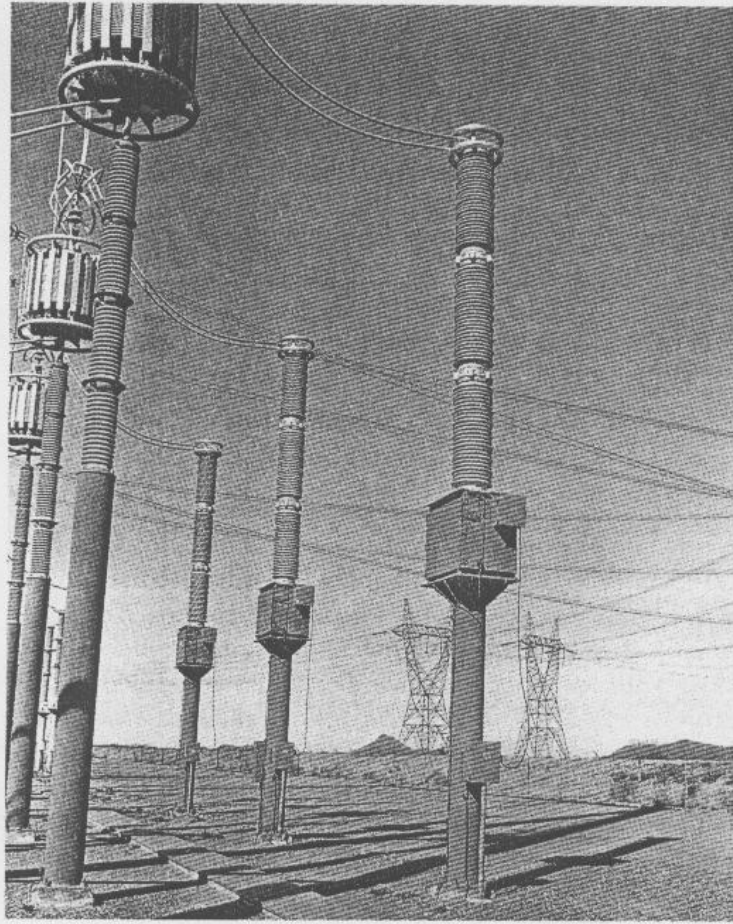
Wildi : Lecture de la puissance réactive



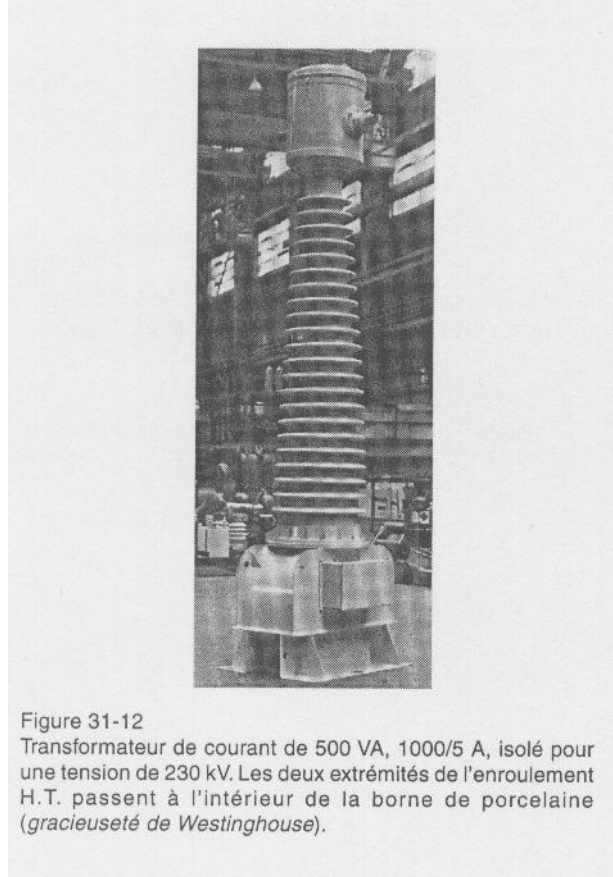
Wildi : Transformateur de potentiel

Figure 10.4

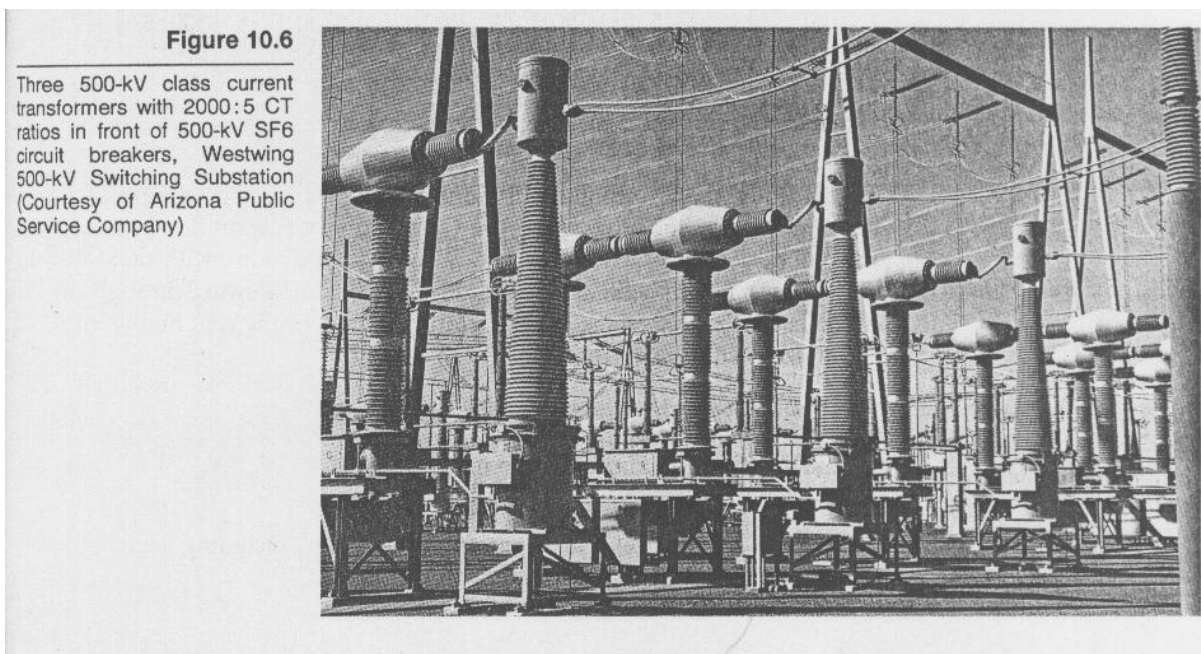
Three 500-kV coupling capacitor voltage transformers on the right with 303.1 kV : 115/67 volt VT ratios, with wave traps on the left, at Westwing 500-kV Switching Substation (Courtesy of Arizona Public Service Company)



Glover : Transformateur de potentiel par couplage capacitif



Wildi : Transformateur de courant



Glover : Transformateur de courant

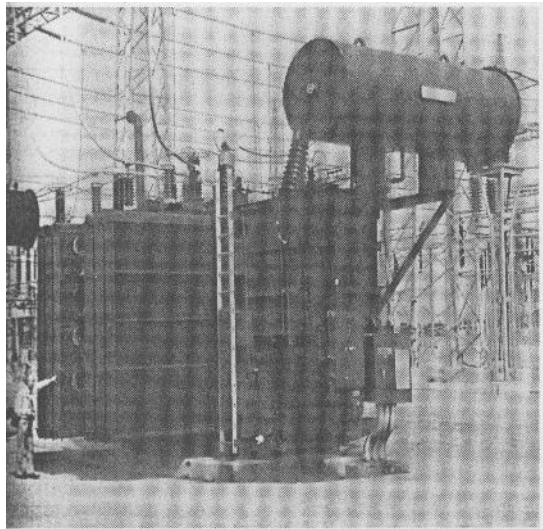


Figure 30-45

Transformateur triphasé de 36/48/60 MVA, 225 kV/26,4 kV, ONAN/ONAF/OFAF, 60 Hz, impédance 7,4 %. La capacité variable de cet appareil dépend du mode de refroidissement utilisé.

Wildi : Transformateur de puissance

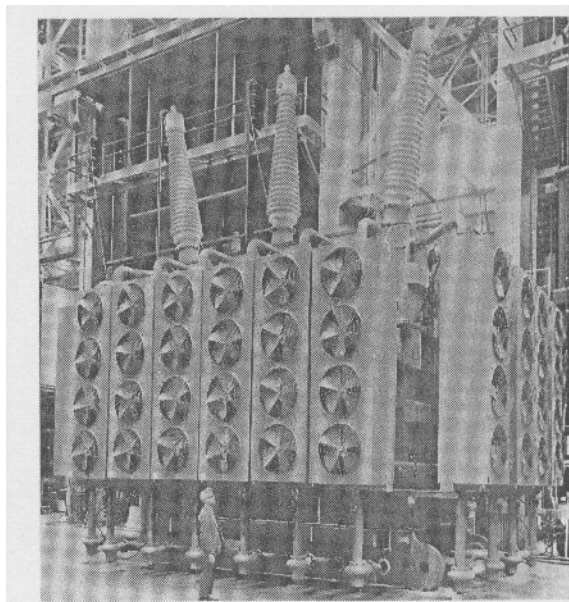
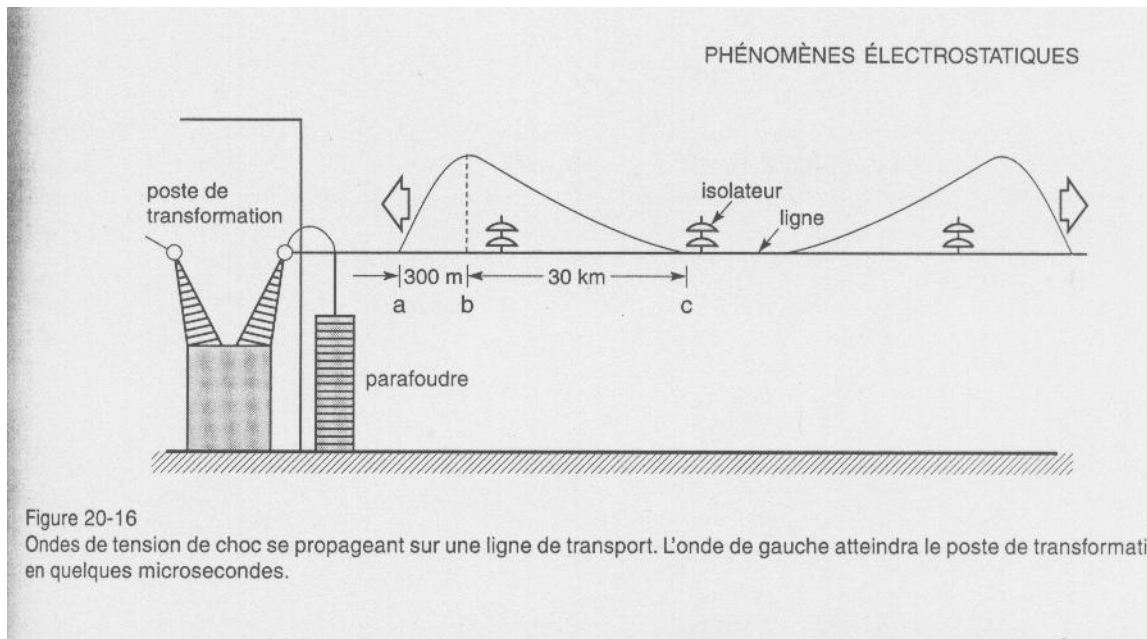


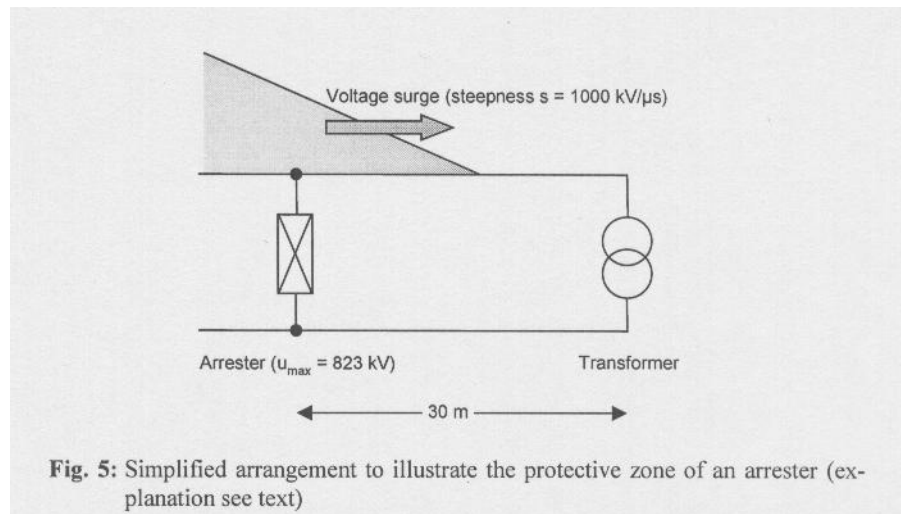
Figure 30-44

Transformateur triphasé de 1300 MVA, 24,5 kV/345 kV, 60 Hz OFAF, 65 °C, impédance 11,5 %. Ce transformateur survolteur, installé à la centrale de génération nucléaire Coolidge à Bridgman, Michigan, est un des plus gros jamais construits. Les pompes assurant la circulation d'huile sont visibles sous les ventilateurs (*gracieuseté de Westinghouse*).

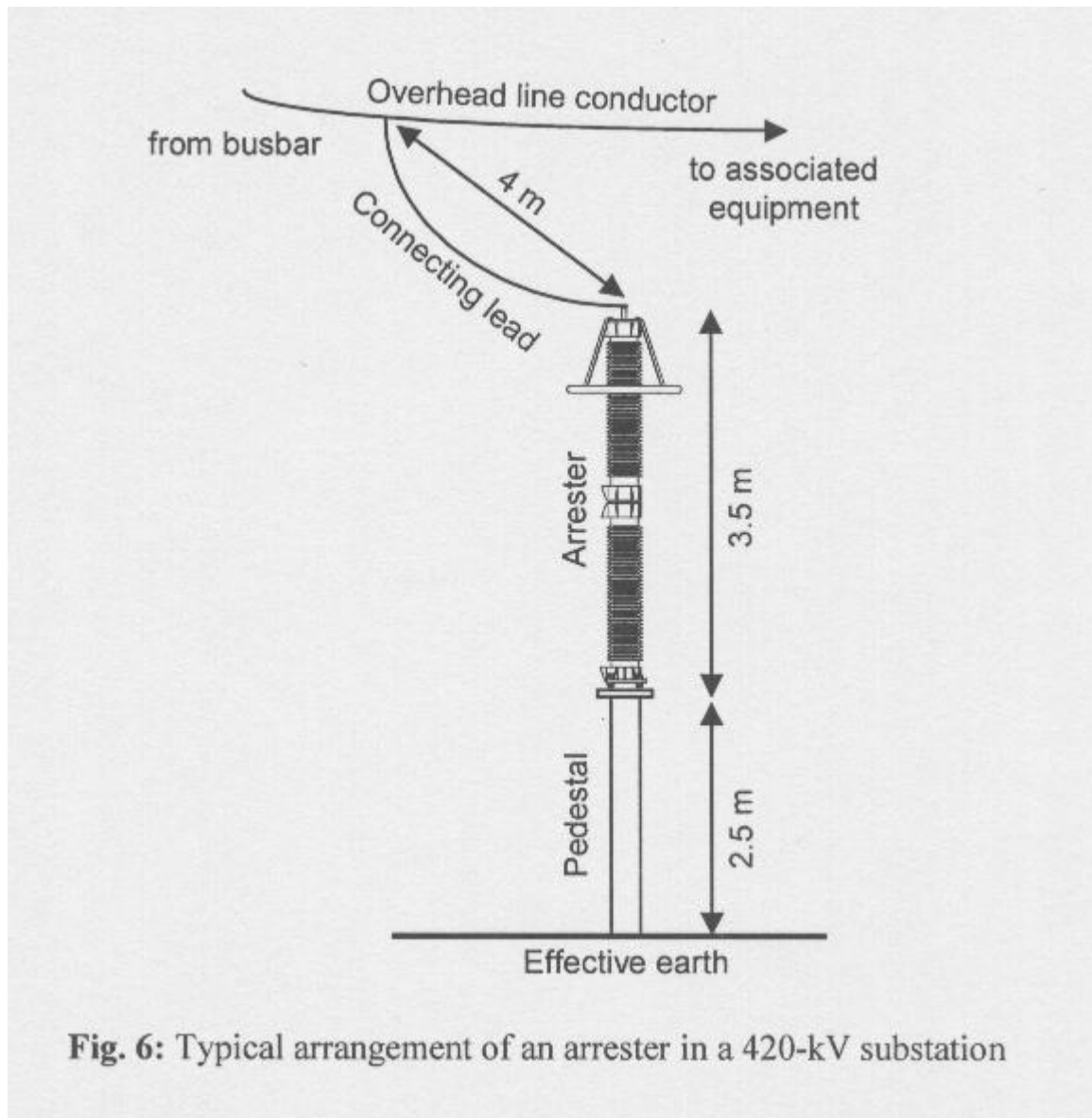
Wildi : Transformateur de puissance



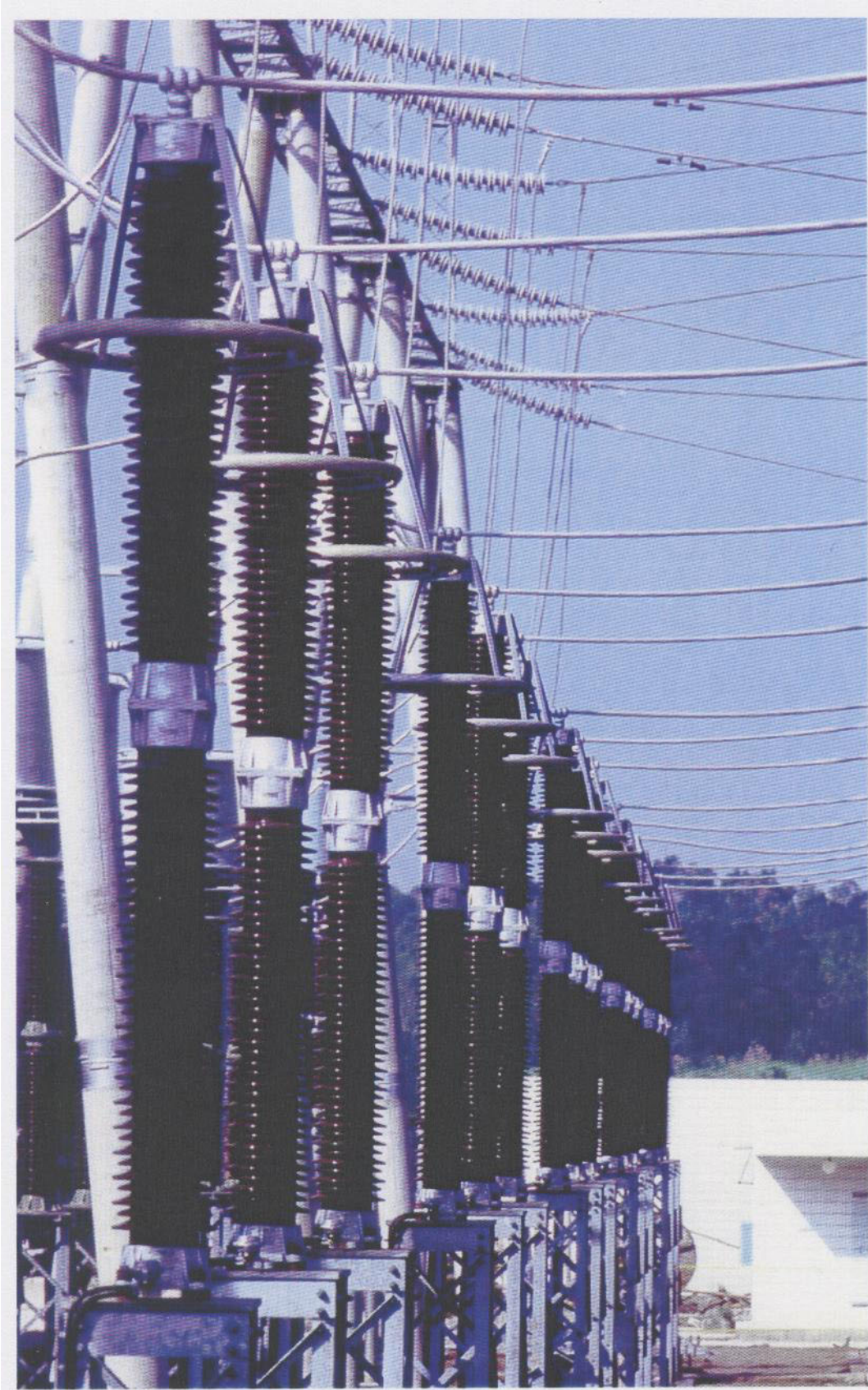
Wildi : Parafoudre



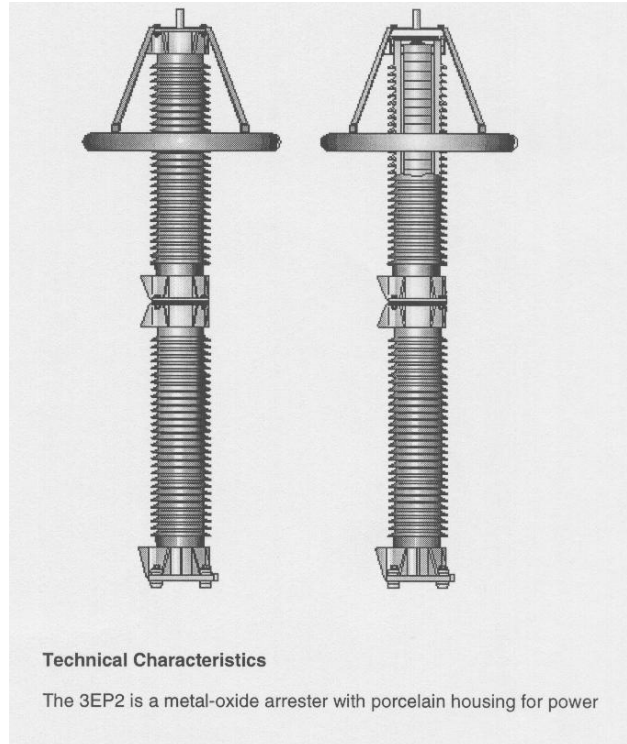
Siemens : Onde de choc incidente à un transformateur



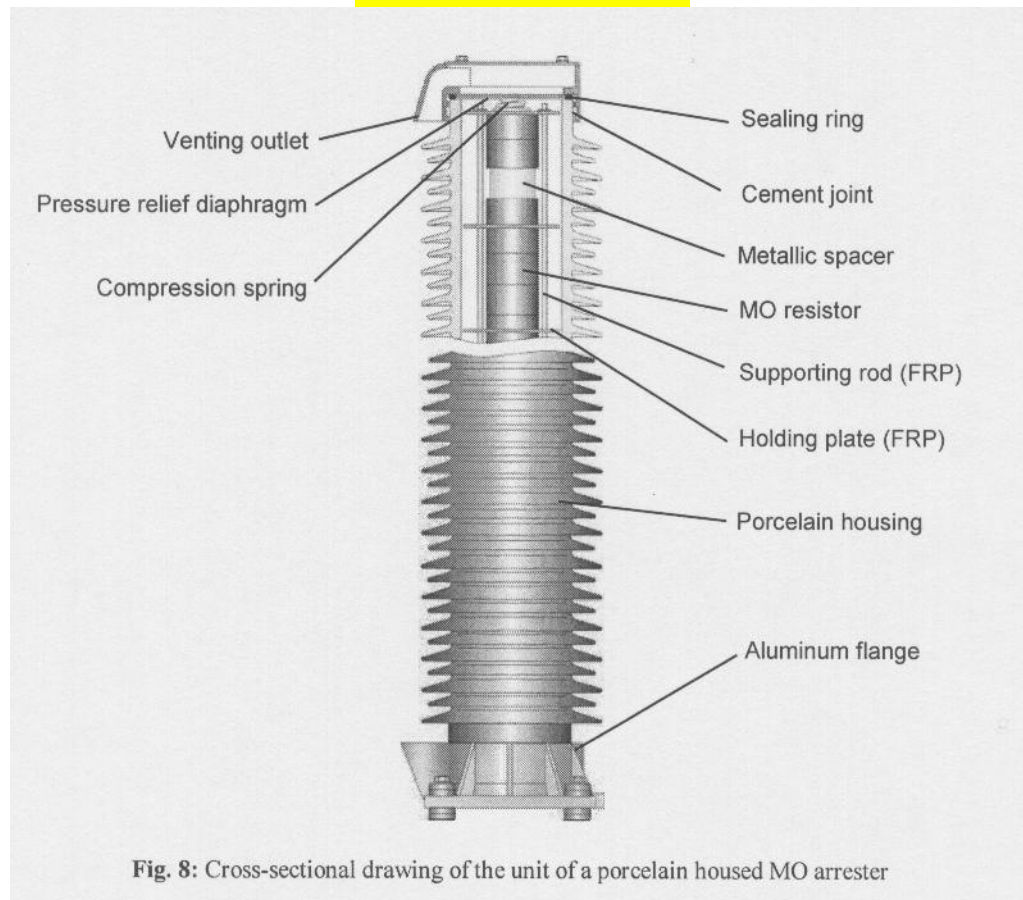
Siemens : Connection d'un parafoudre



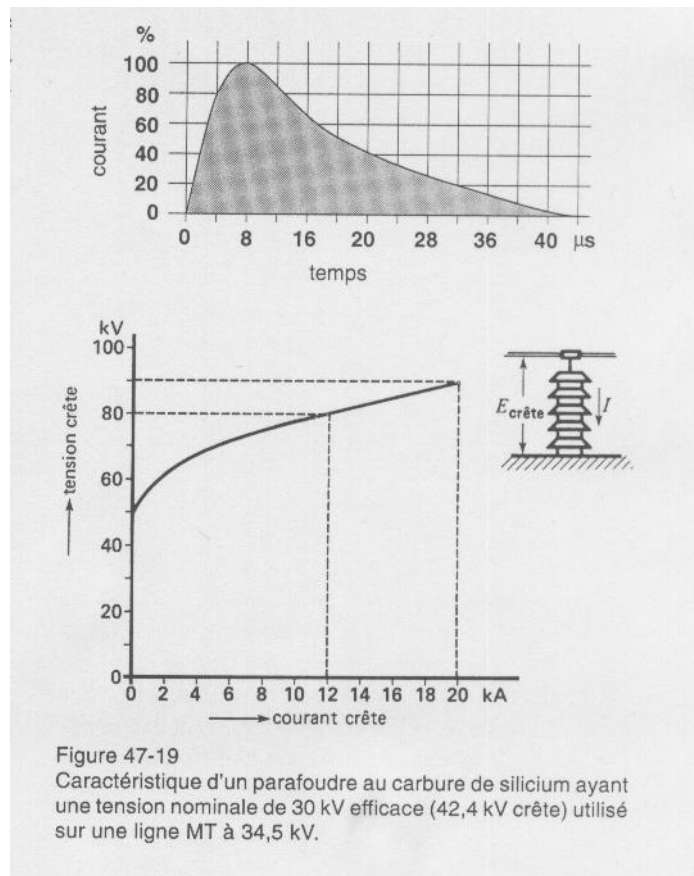
Siemens : Parafoudre



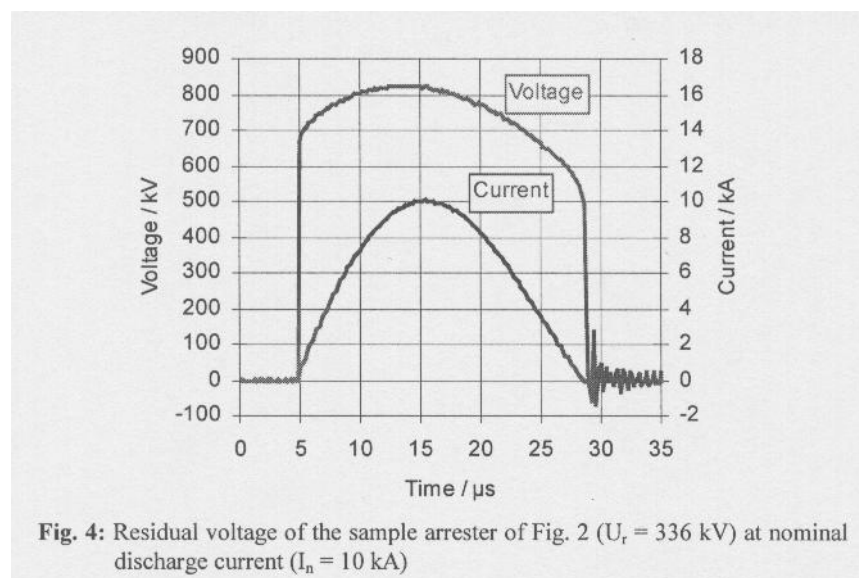
Siemens : Parafoudres



Siemens : Construction d'un parafoudre

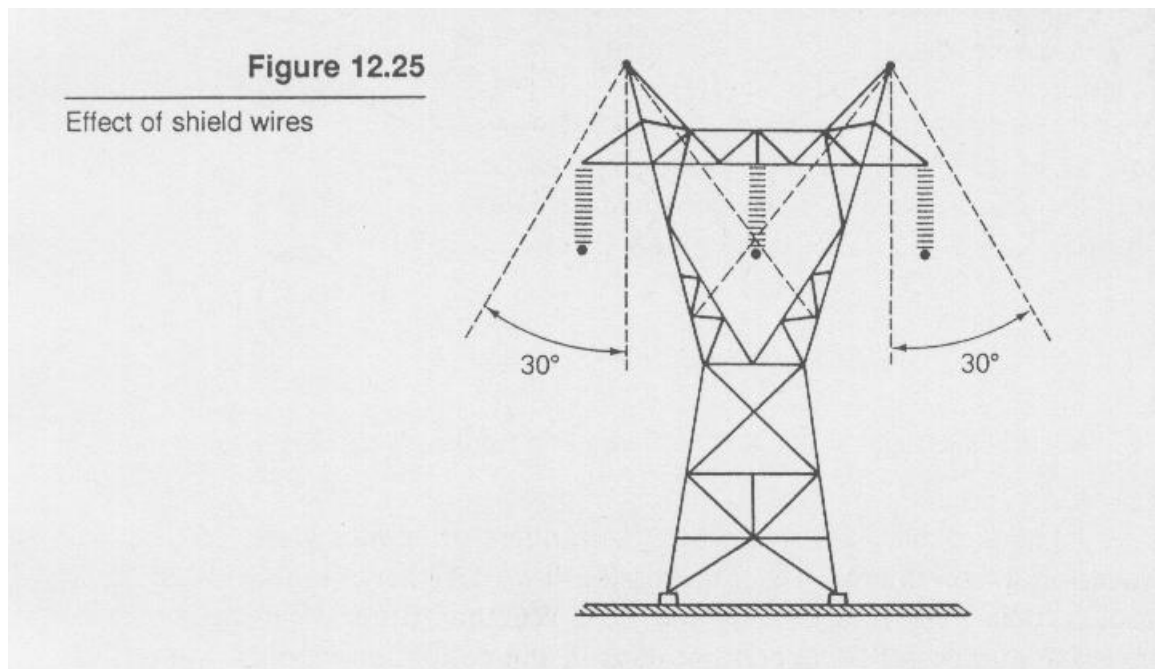


Wildi : Caractéristique tension-courant d'un parafoudre



Siemens : Tension résiduelle aux bornes d'un parafoudre

Transport de l'énergie



Glover : Effet des fils de gardes

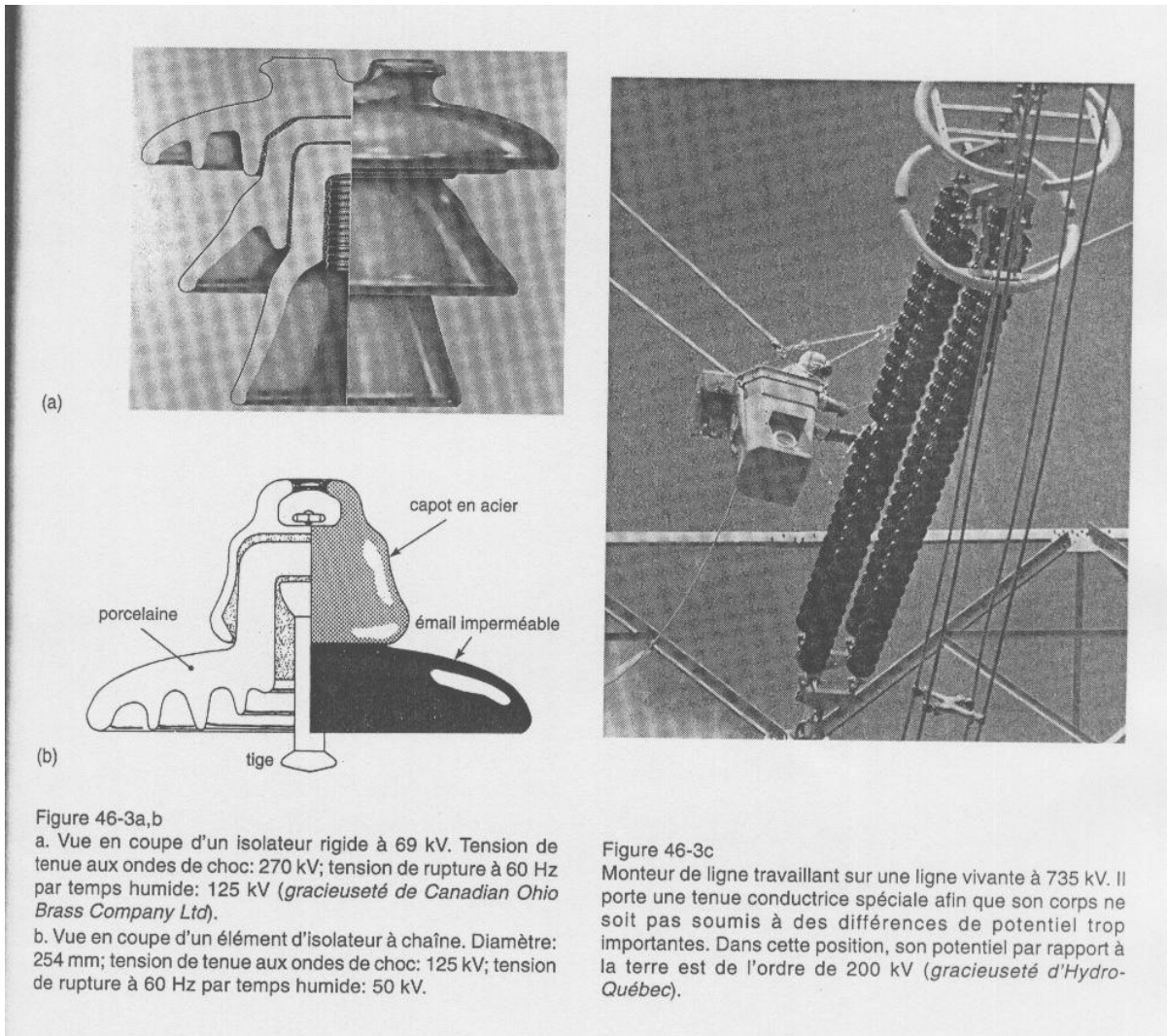


Figure 46-3a,b

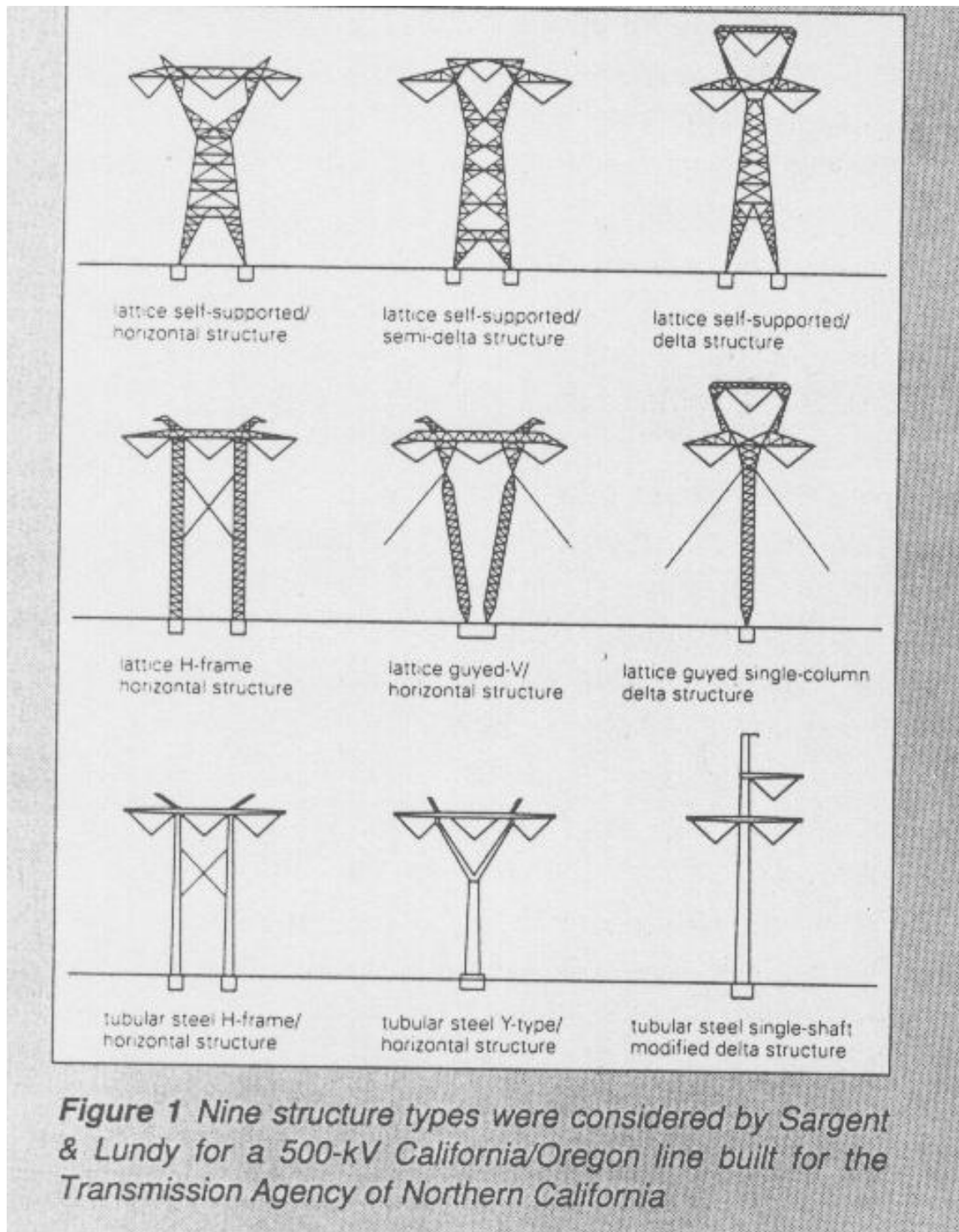
a. Vue en coupe d'un isolateur rigide à 69 kV. Tension de tenue aux ondes de choc: 270 kV; tension de rupture à 60 Hz par temps humide: 125 kV (*gracieuseté de Canadian Ohio Brass Company Ltd*).

b. Vue en coupe d'un élément d'isolateur à chaîne. Diamètre: 254 mm; tension de tenue aux ondes de choc: 125 kV; tension de rupture à 60 Hz par temps humide: 50 kV.

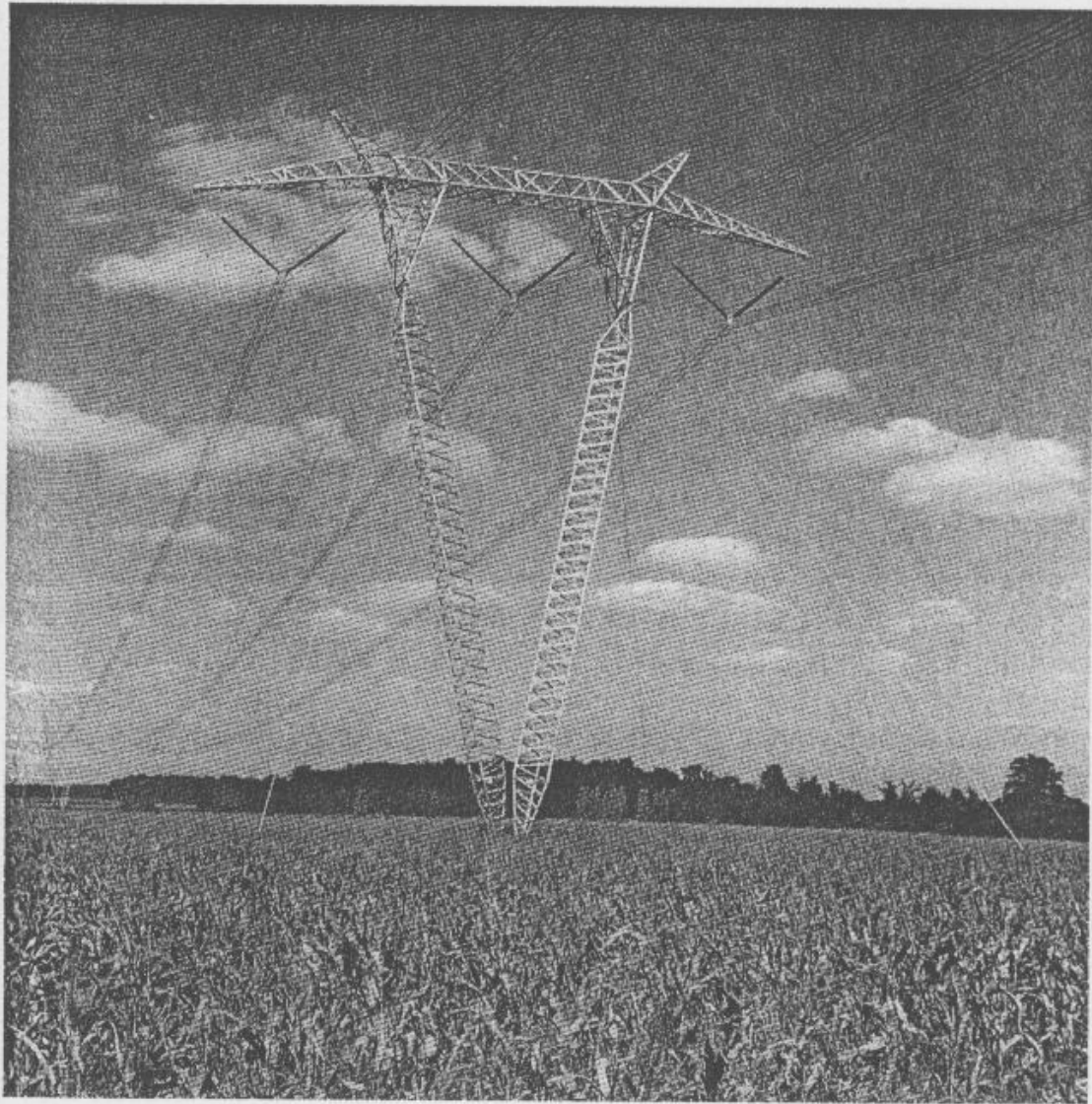
Figure 46-3c

Monteur de ligne travaillant sur une ligne vivante à 735 kV. Il porte une tenue conductrice spéciale afin que son corps ne soit pas soumis à des différences de potentiel trop importantes. Dans cette position, son potentiel par rapport à la terre est de l'ordre de 200 kV (*gracieuseté d'Hydro-Québec*).

Wildi : Chaines d'isolateurs

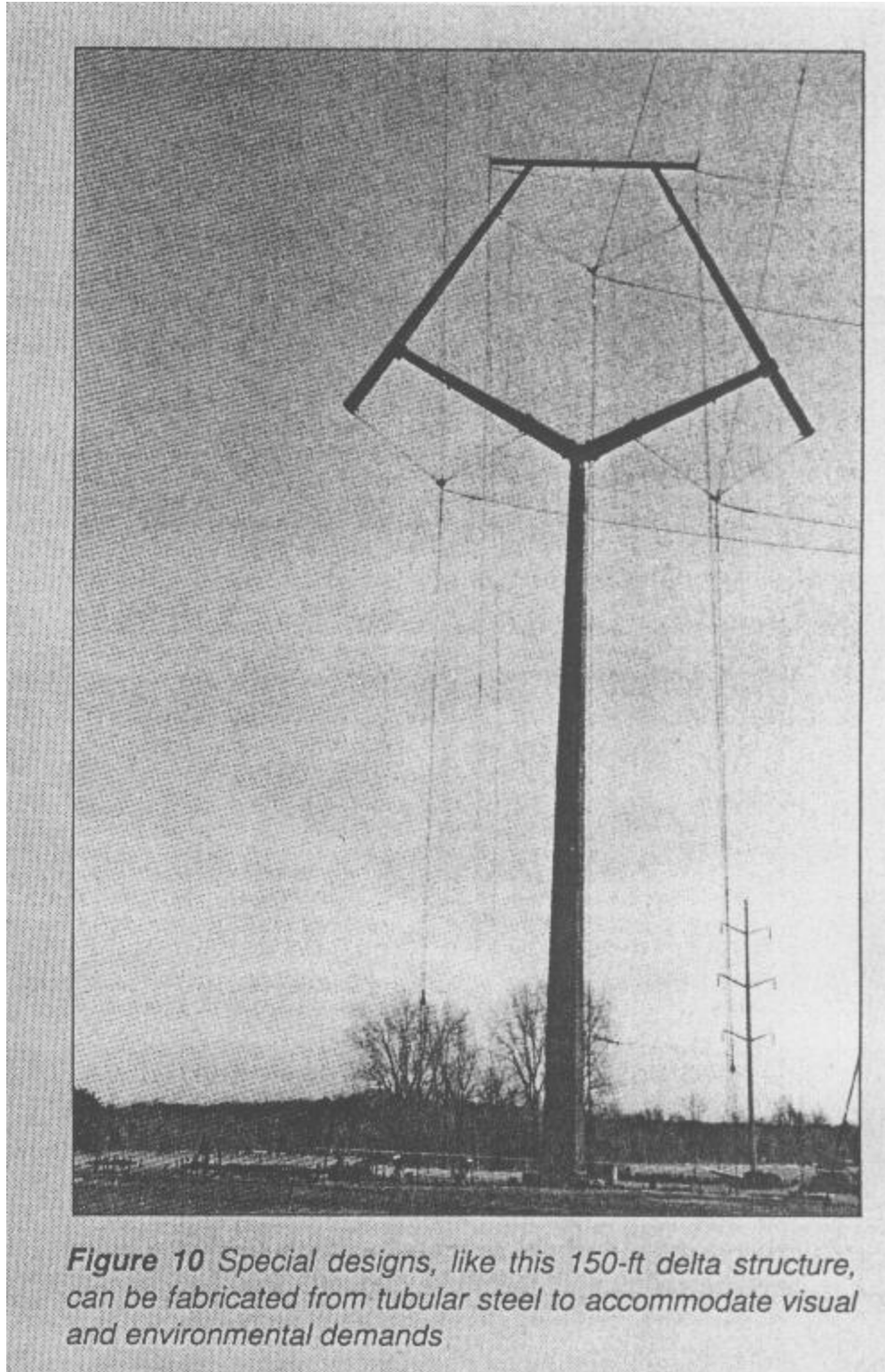


Glover : Différents types de pylône

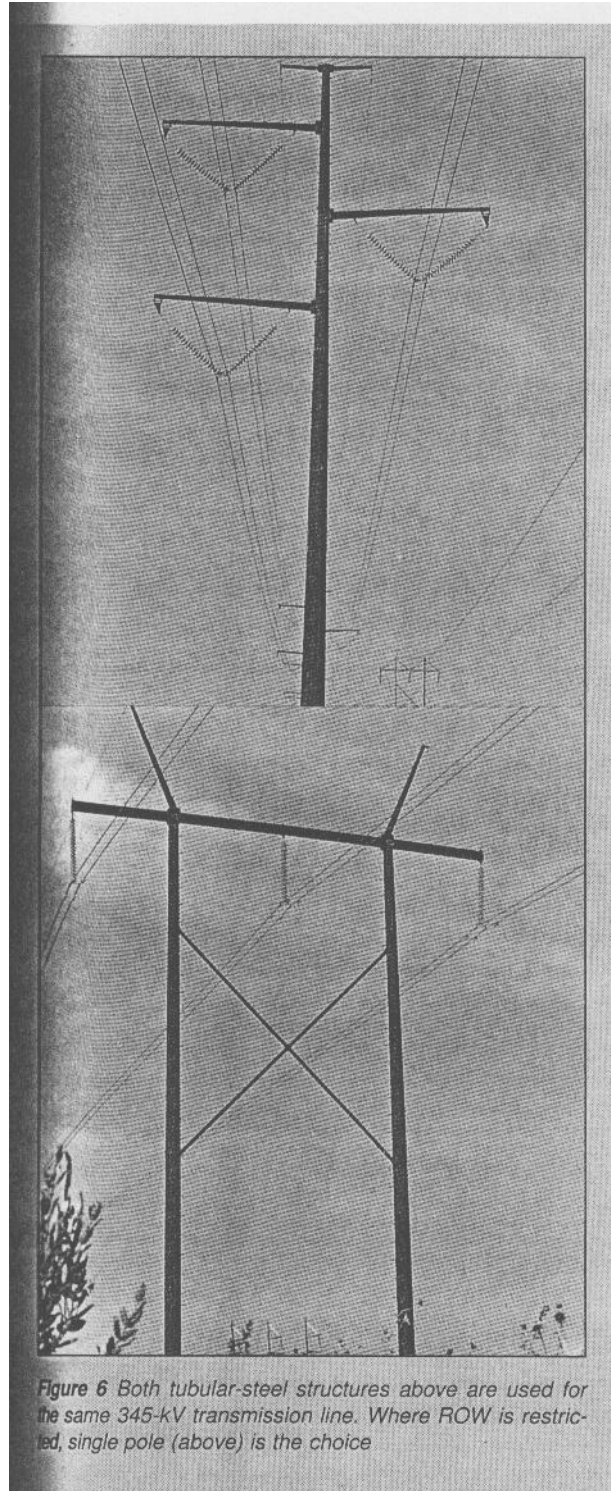


765-kV transmission line with aluminum guyed-V towers
(Courtesy of American Electric Power)

Glover : Pylône haubané



Glover : Pylône à aspect visuel amélioré



Glover : Pylônes tubulaires dans une région de passage restreint

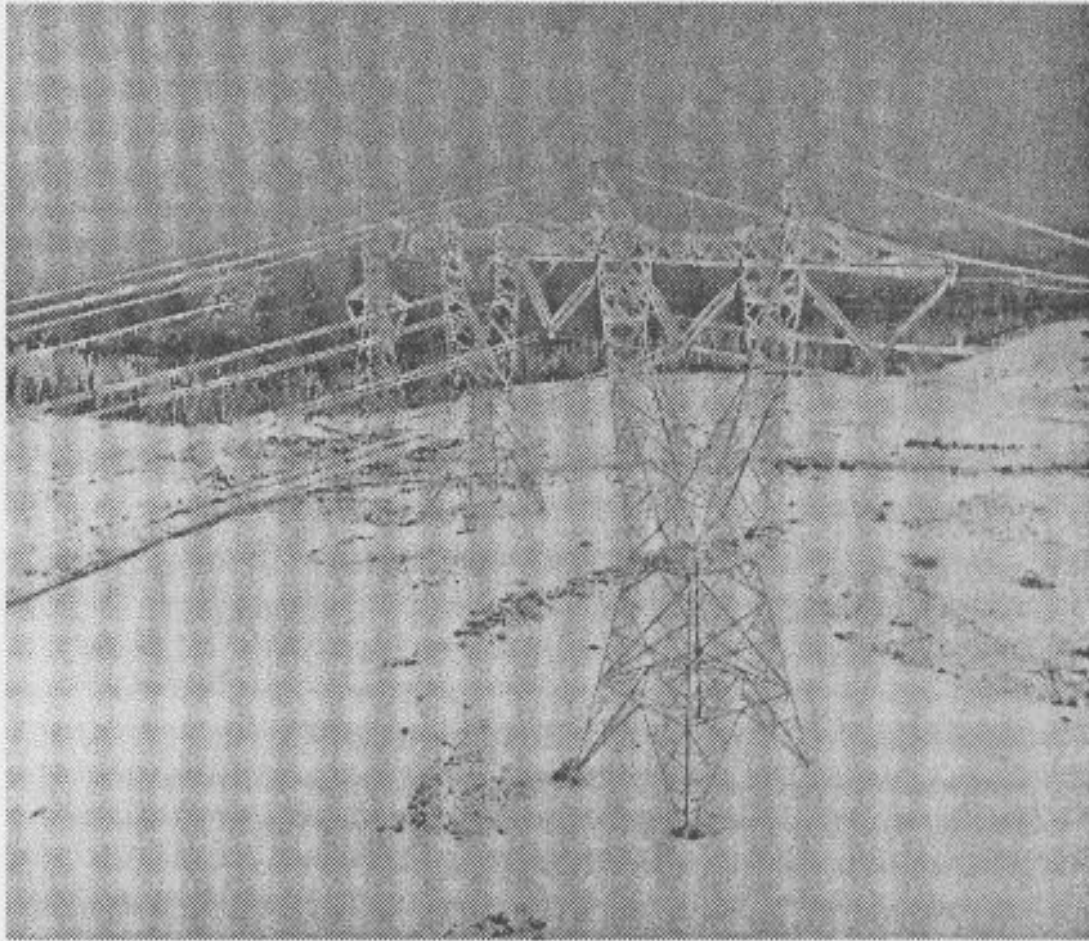


Figure 46-6

Pendant l'hiver, les pylônes doivent supporter le poids des conducteurs et la glace qui s'y accumule (*gracieuse d'Hydro-Québec*).

Wildi : Pylônes métalliques avec pylônes d'arrêt

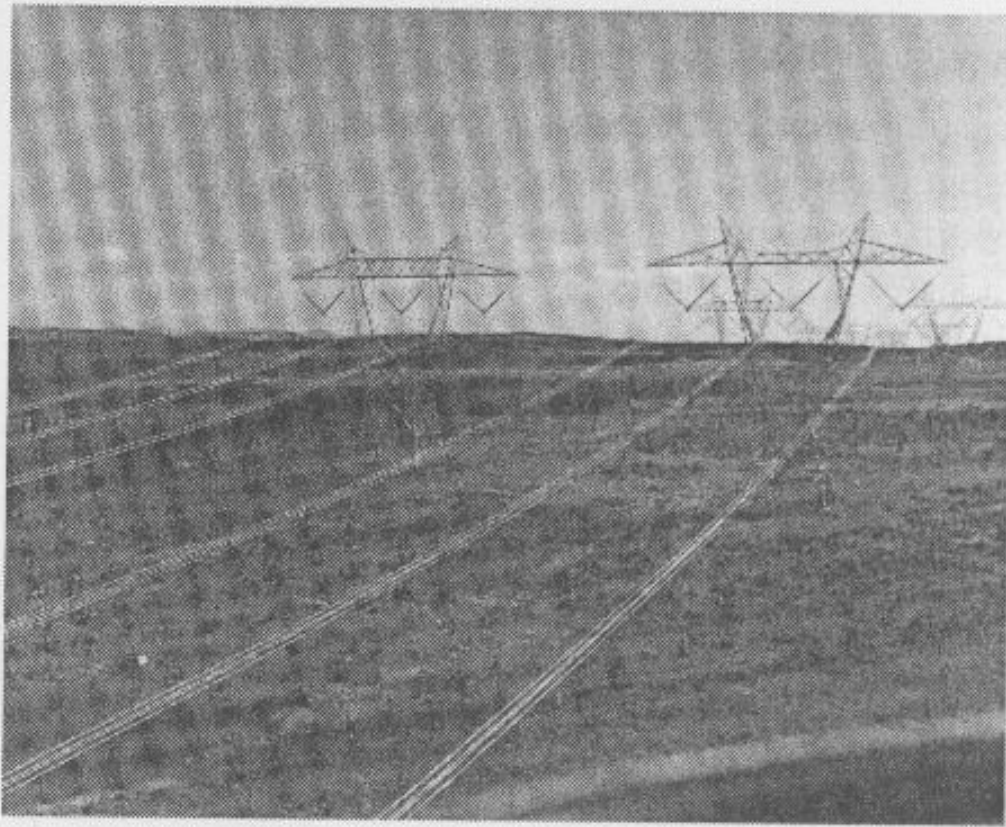
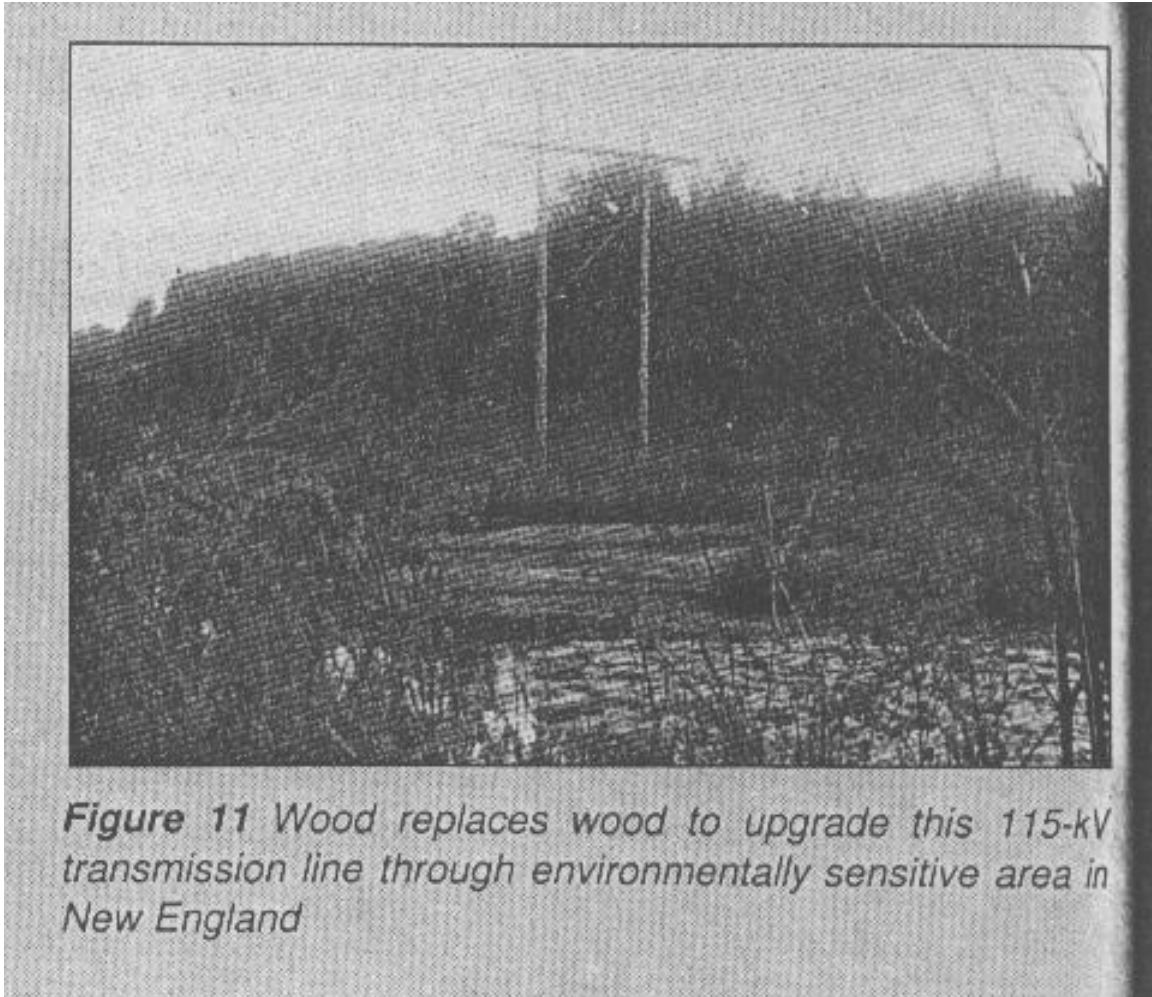


Figure 46-20

Ces deux lignes triphasées à 735 kV en parallèle transportent chacune 2000 MW vers la région de Montréal. Chaque phase est composée de 4 conducteurs en faisceaux dont les dimensions sont données à la Fig. 20-14. La portée moyenne des pylônes est de 480 m (*gracieuseté d'Hydro-Québec*).

Wildi : Ligne 735 kV en parallèle



Glover : Portiques en bois pour ligne 115kV dans une région environnementale

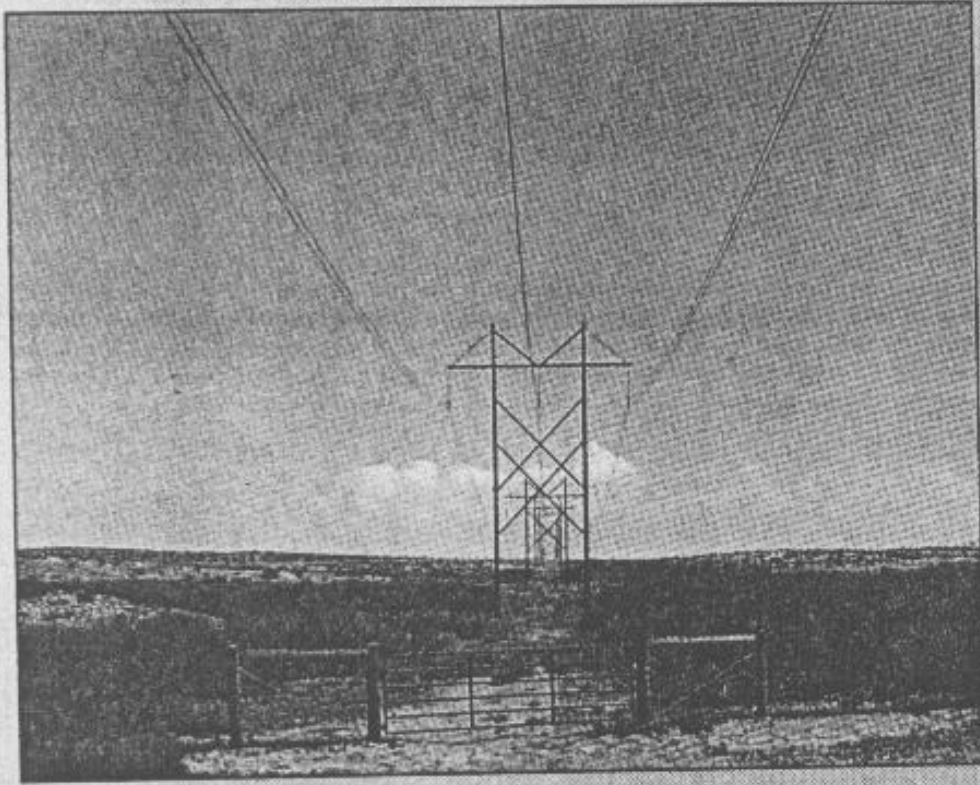
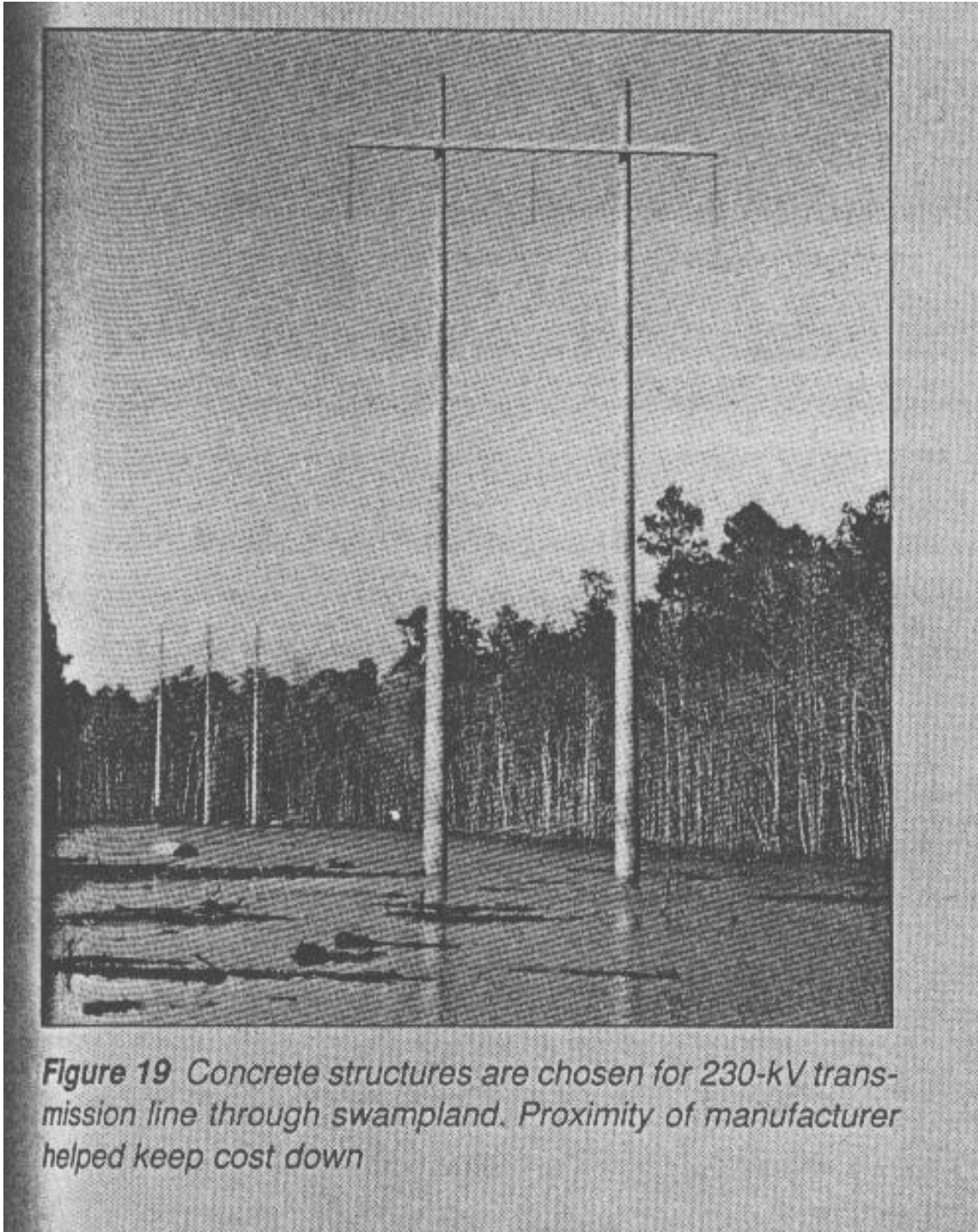
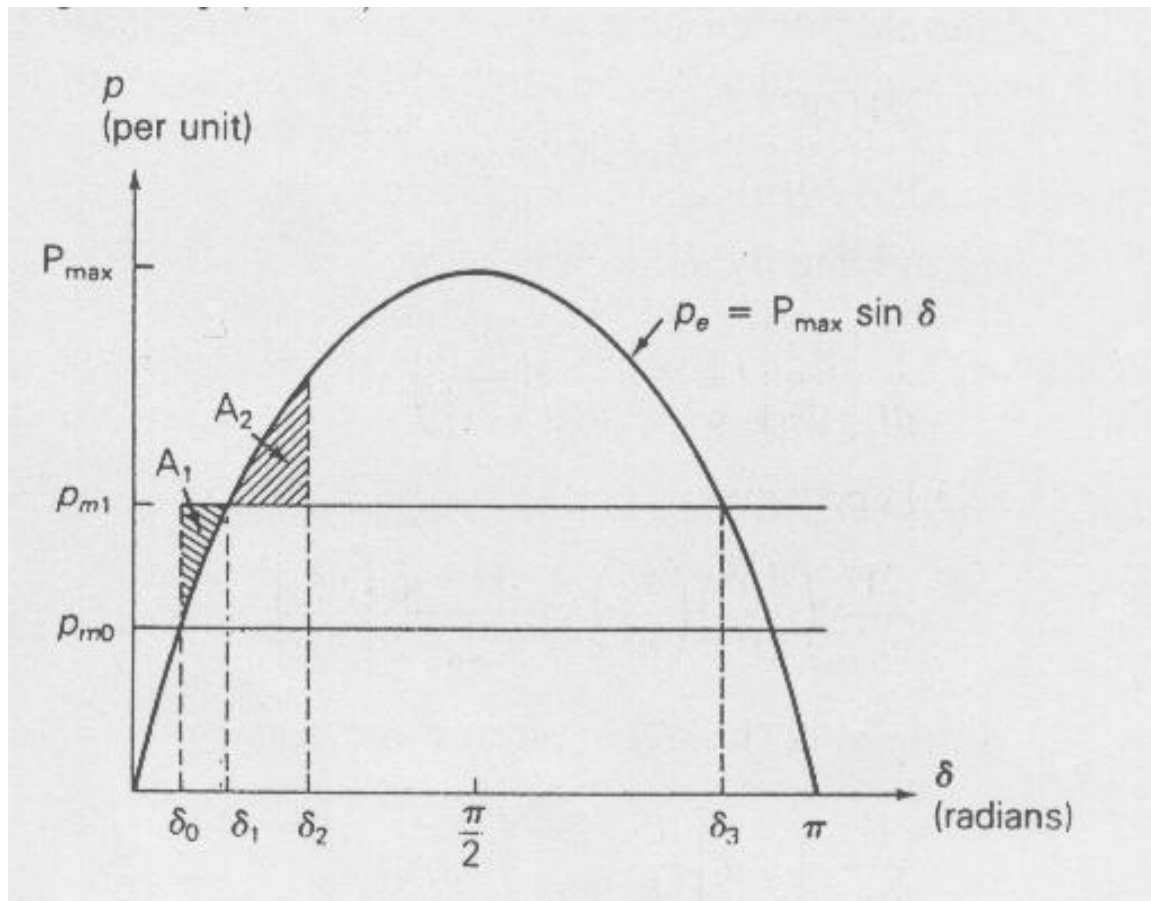


Figure 14 Wood structure was chosen to carry 345-kV line across Texas ranchland after extensive evaluation of lifetime costs

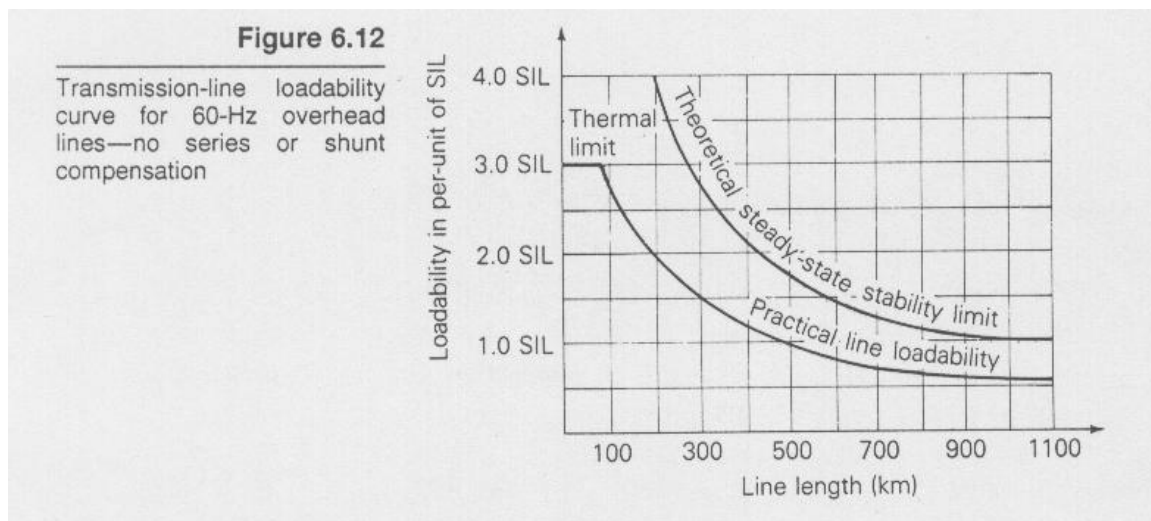
Glover : Pylônes en bois pour une ligne 345 kV dans une région désertique



Glover : Pylône en béton armé dans une région marécageuse



Glover : Transit de puissance active versus déphasage aux extrémités de la ligne



Glover : Limite de puissance transmissible versus longueur de la ligne

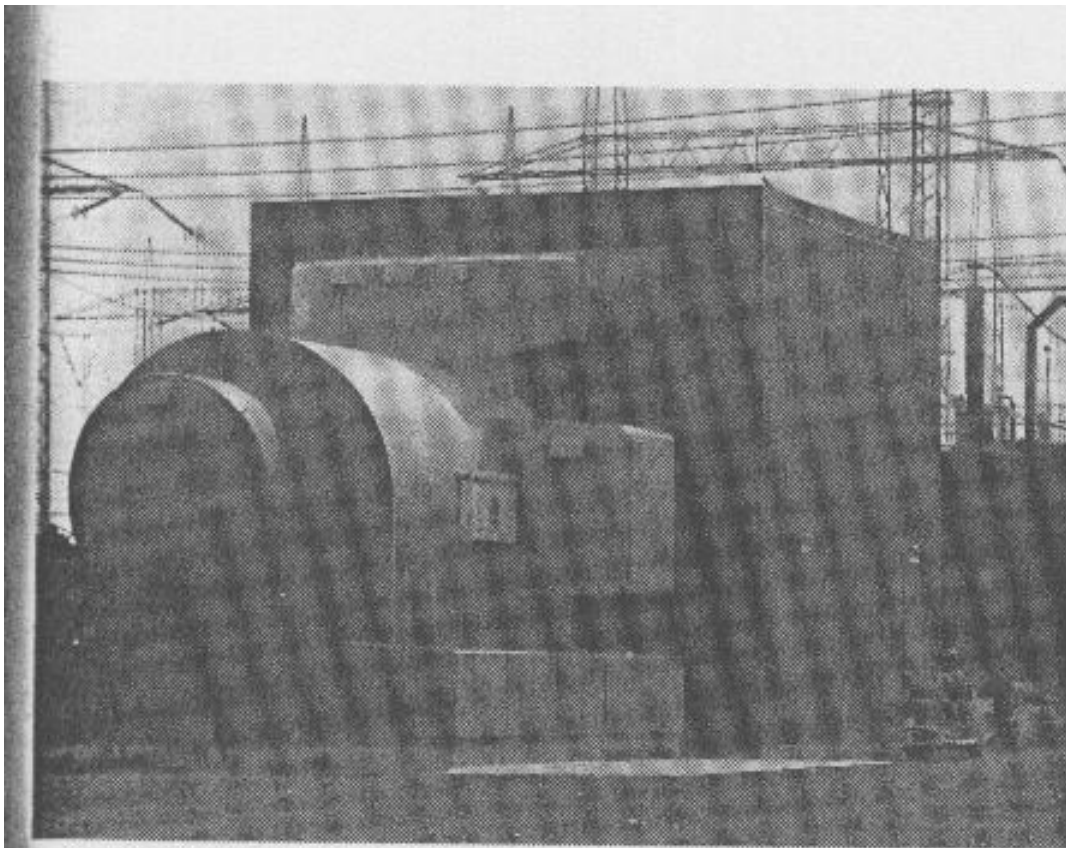


Figure 37-13b
Compensateur monté dans son enveloppe d'acier contenant
de l'hydrogène sous pression (*gracieuseté d'Hydro-Québec*).

Wildi : Compensateur synchrone

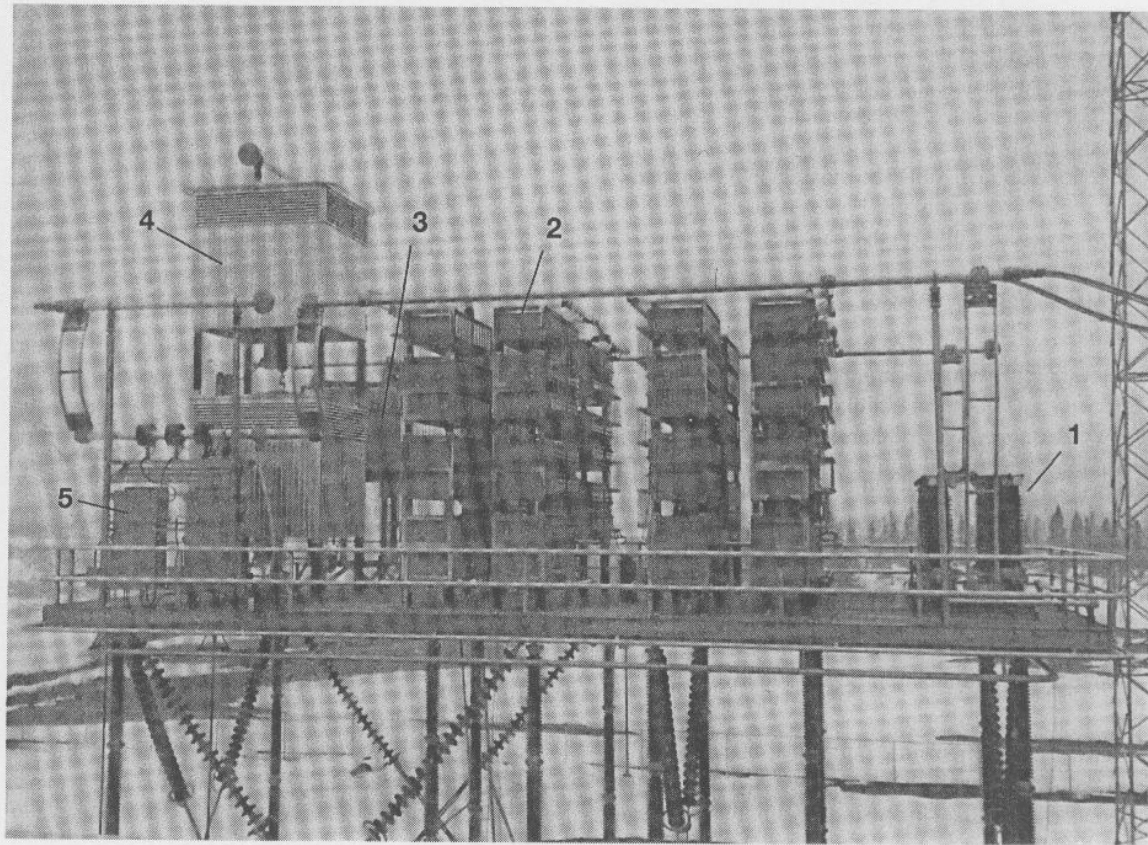


Figure 46-25

Vue de la compensation série montée sur sa plate-forme. On distingue: (1) colonnes de varistors; (2) condensateurs; (3) inductance de 1,7 mH; (4) compartiment entourant

l'éclateur; (5) boîtier contenant les circuits de détection et logiciels de commande. Les autres composants ne sont pas visibles (*gracieuseté d'Hydro-Québec*).

Wildi : Compensation série

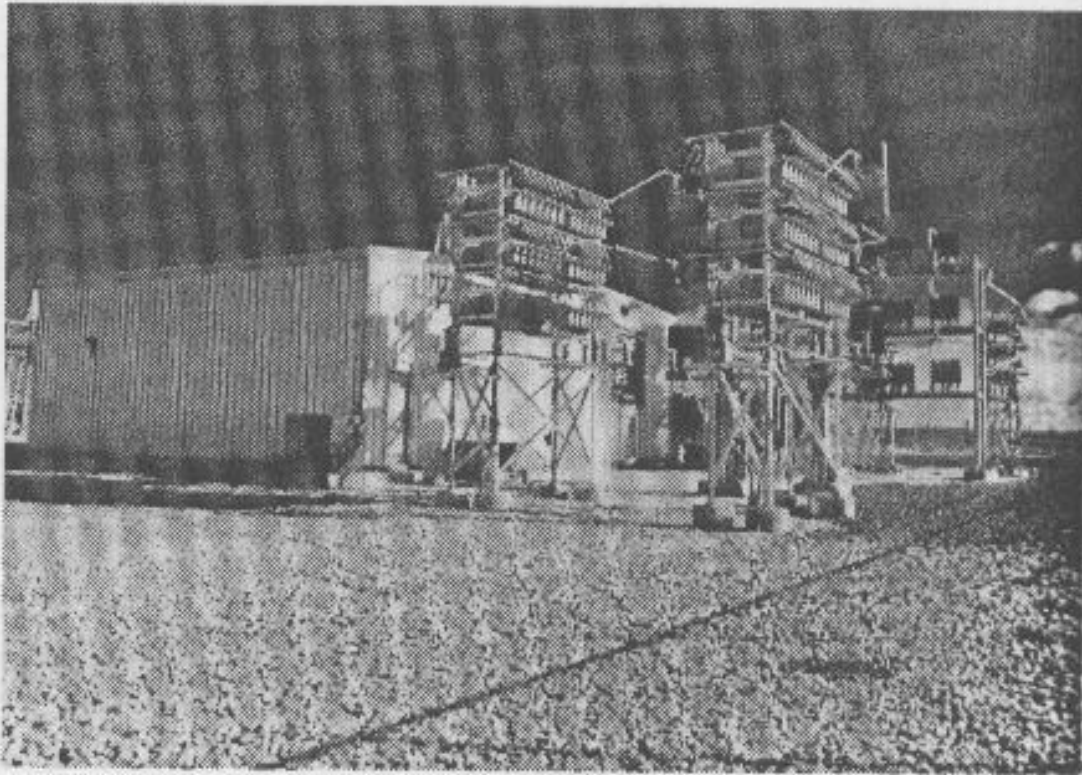


Figure 46-31
Compensateur statique pour une ligne à haute tension
(gracieuseté de General Electric).

Wildi : Compensateur statique

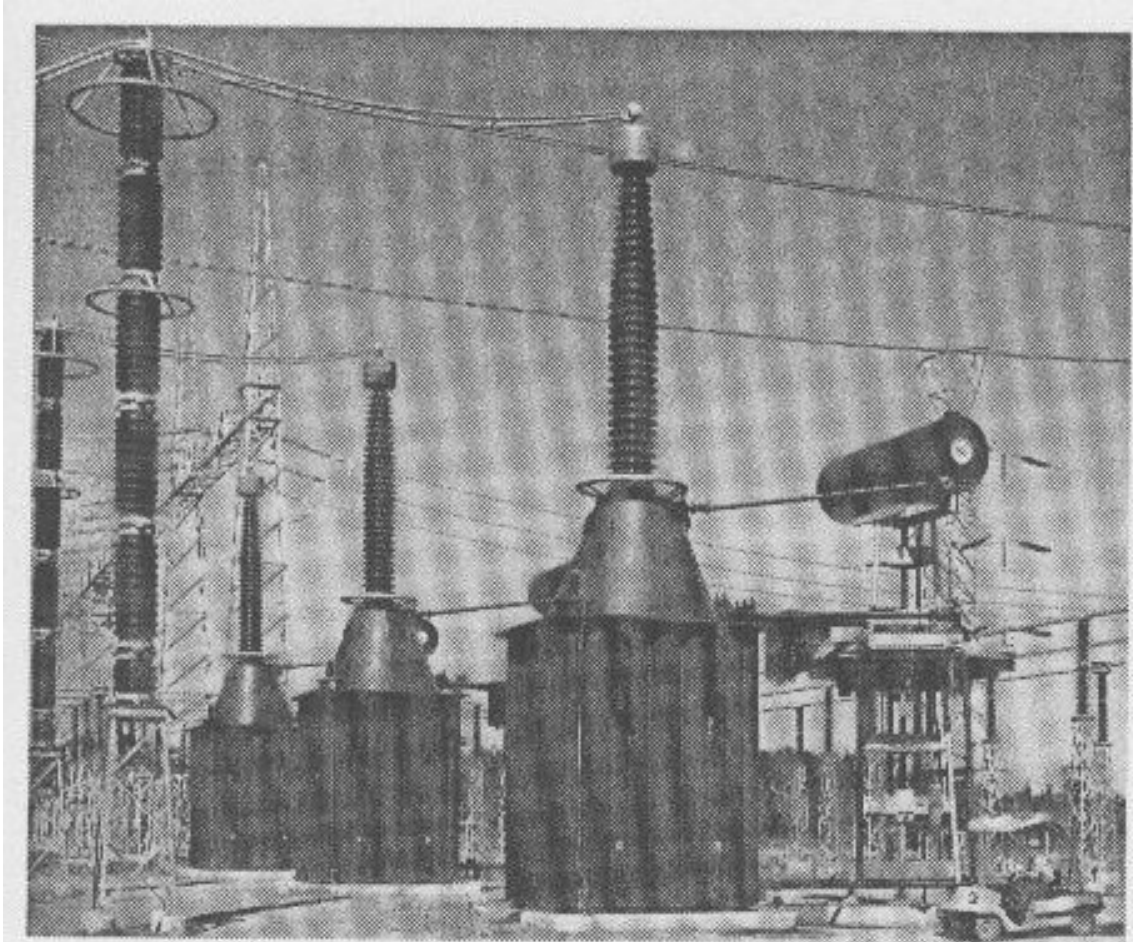
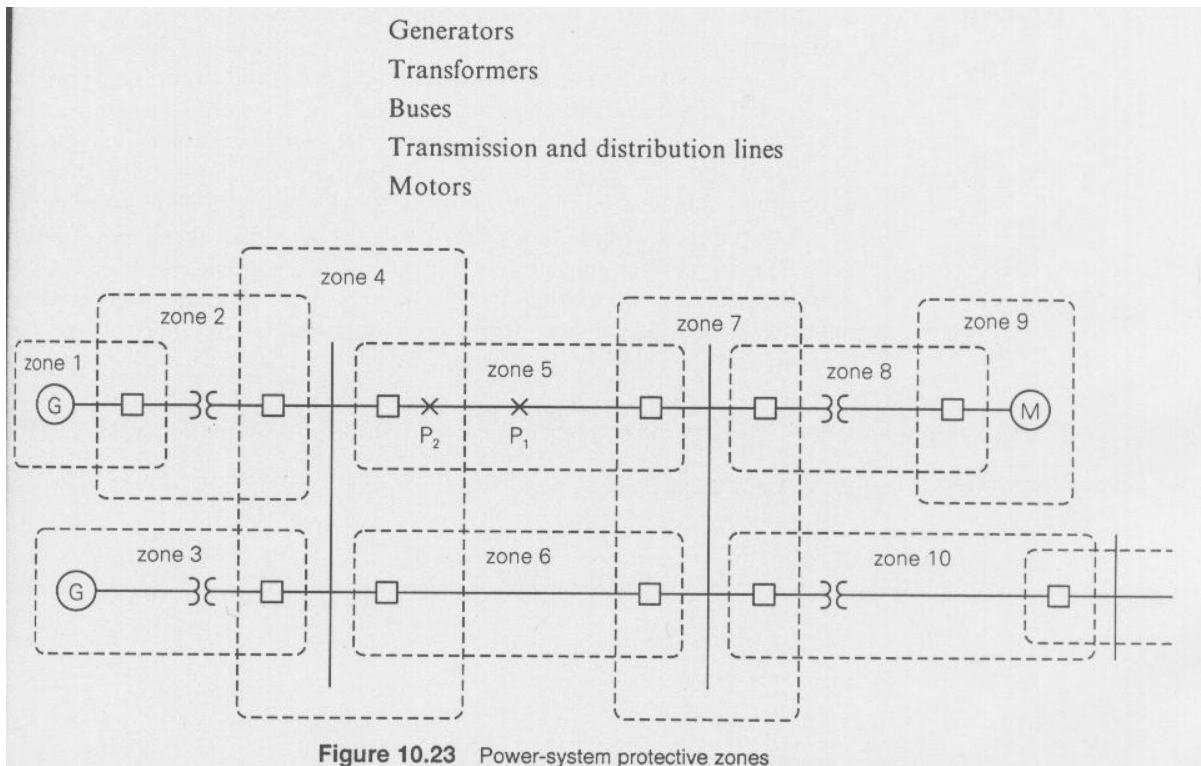


Figure 46-28

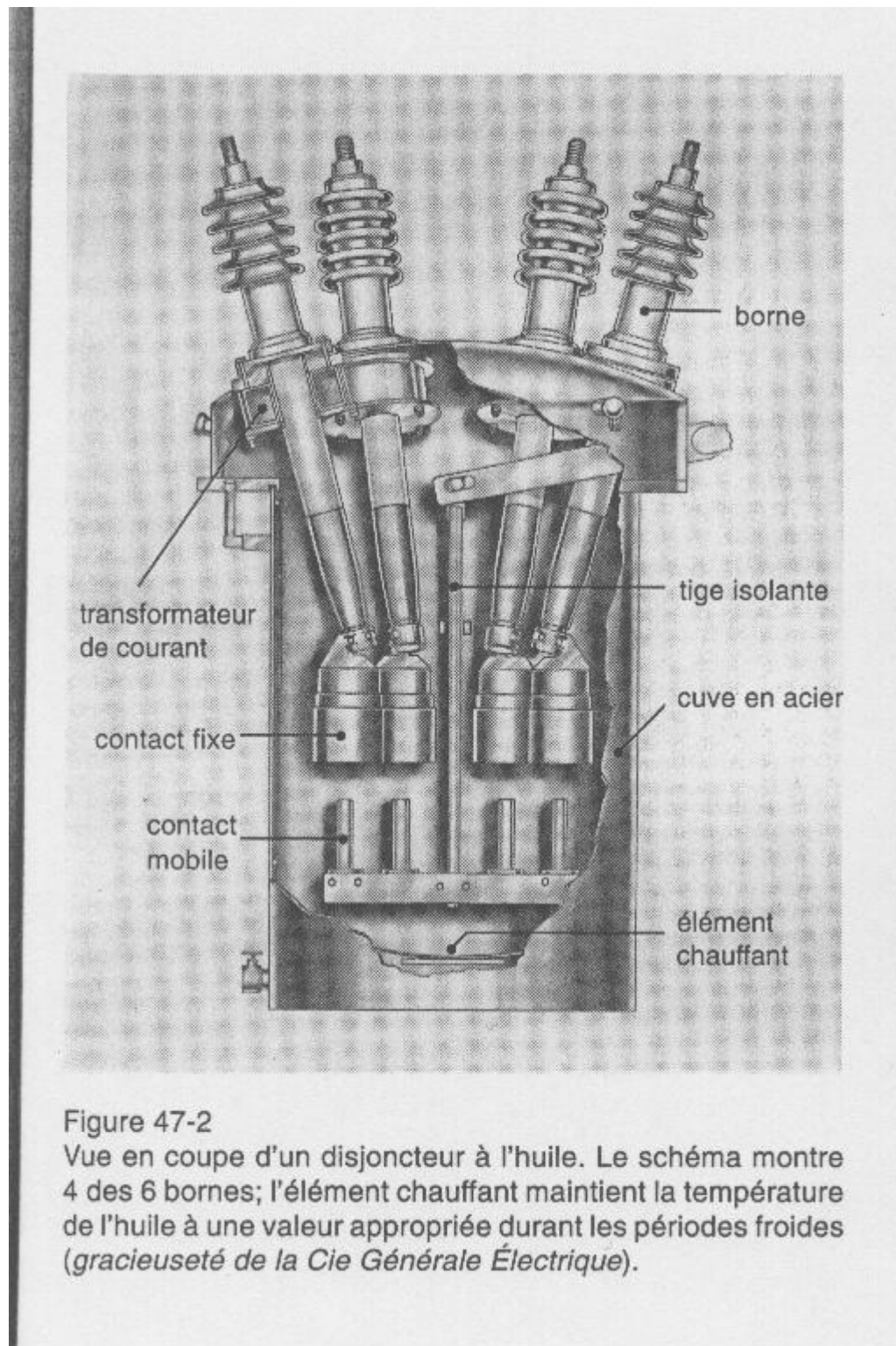
Ces trois réactances inductives monophasées de 110 Mvar chacune, installées au poste de Lévis, servent à compenser la capacitance des lignes à 735 kV entre Manicouagan et Montréal (*gracieuseté d'Hydro-Québec*).

Wildi : Réactances inductives shunt



Glover : Zones de protection

Distribution



Wildi : Disjoncteur à l'huile

DISTRIBUTION DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

1001

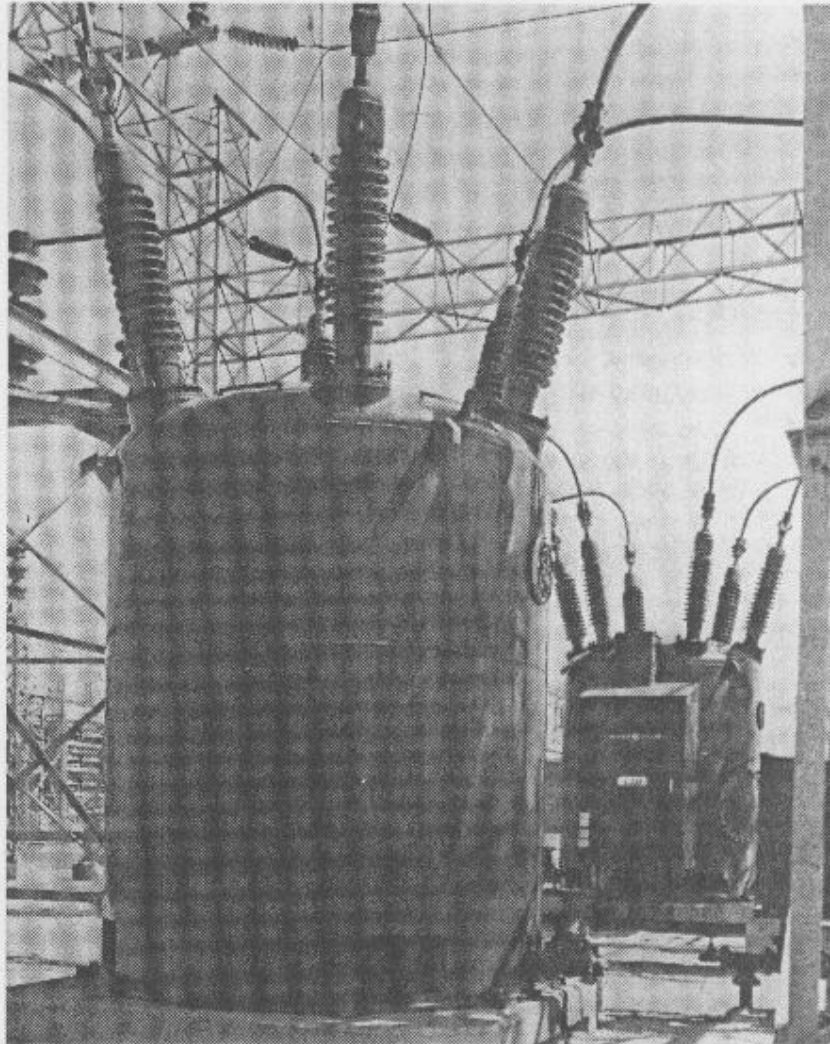
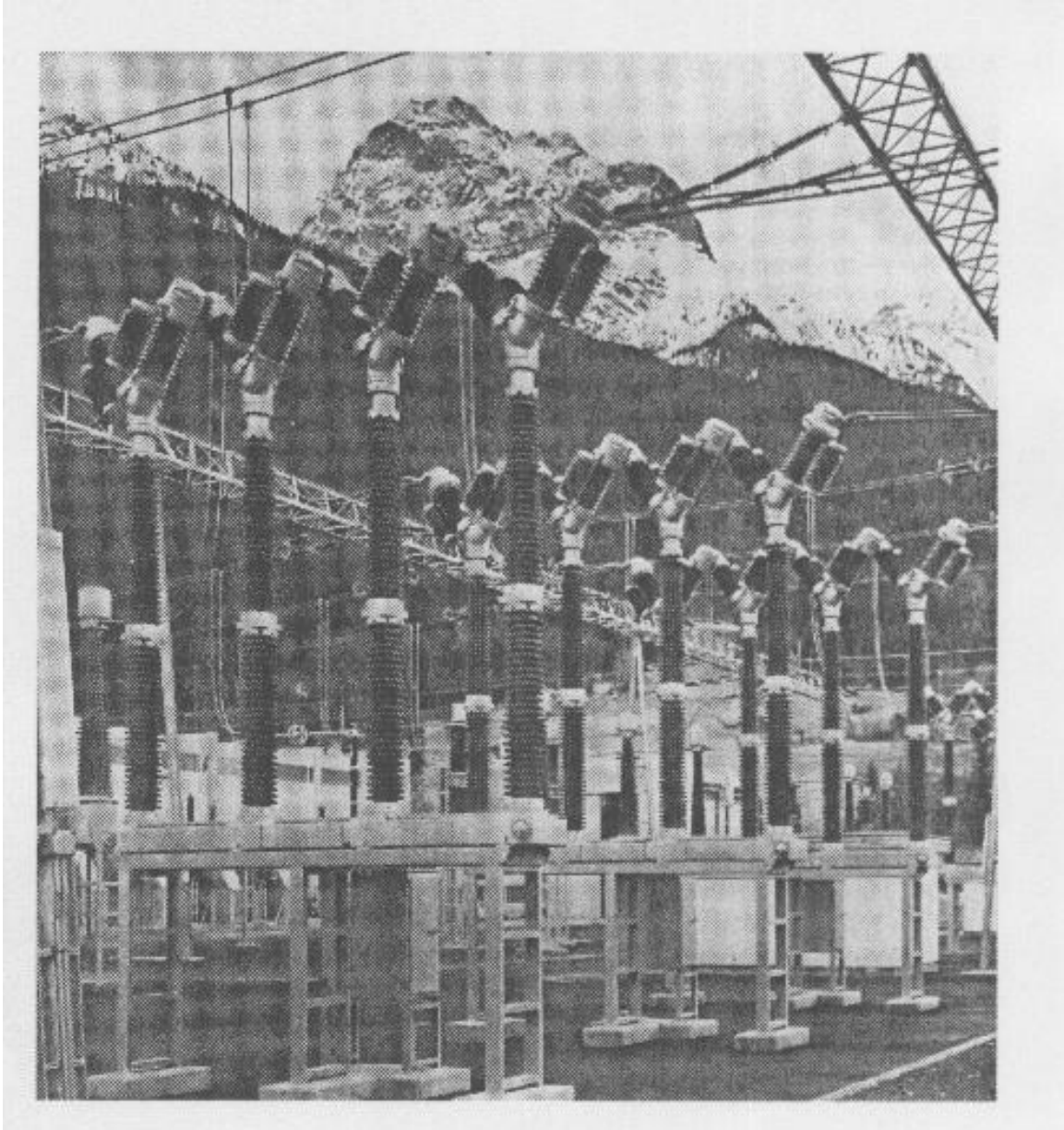


Figure 47-3

Disjoncteur à l'huile triphasé ayant une capacité de 1200 A sous une tension de 115 kV. Il peut interrompre un courant de défaut de 50 kA en 3 cycles sur un réseau à 60 Hz. Autres caractéristiques: tension de tenue aux ondes de choc: 550 kV; hauteur: 3660 mm; diamètre: 3050 mm; masse: 21 t (gracieuseté de la Cie Générale Électrique).

Wildi : Disjoncteur triphasé



Wildi : Disjoncteur à vide

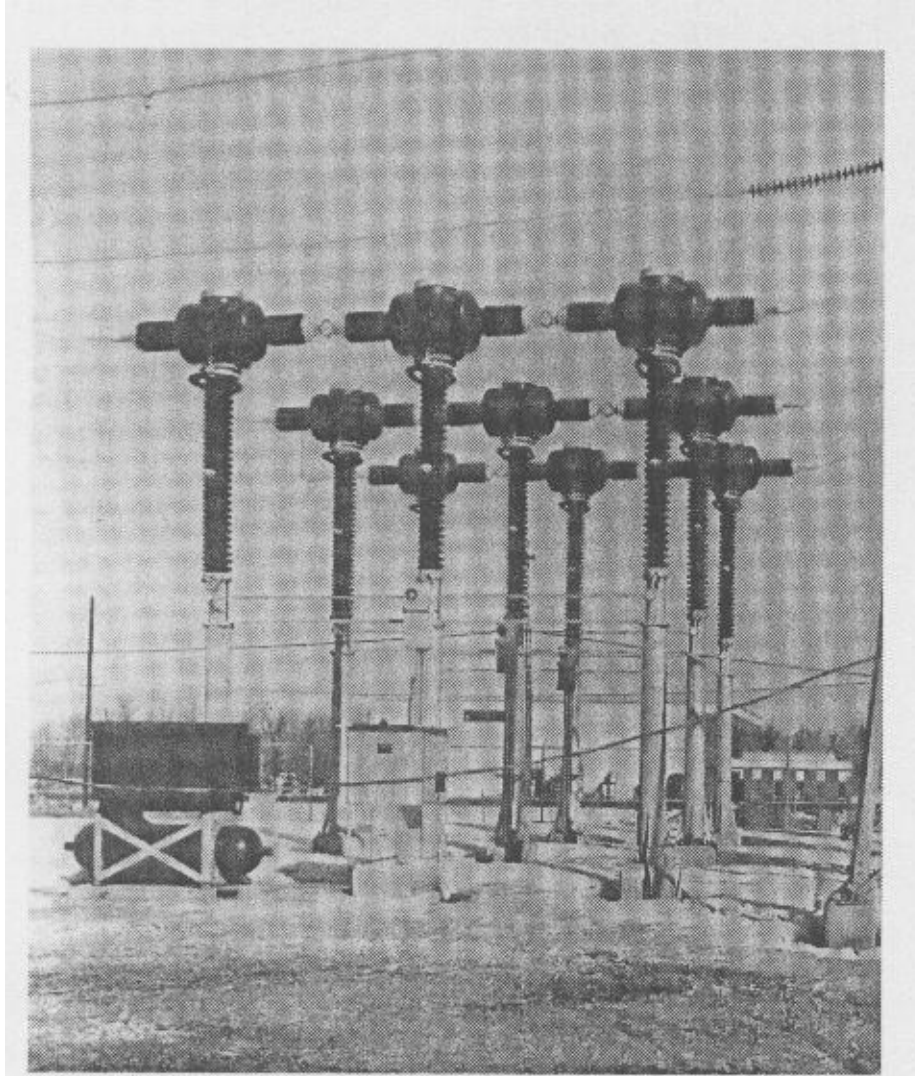
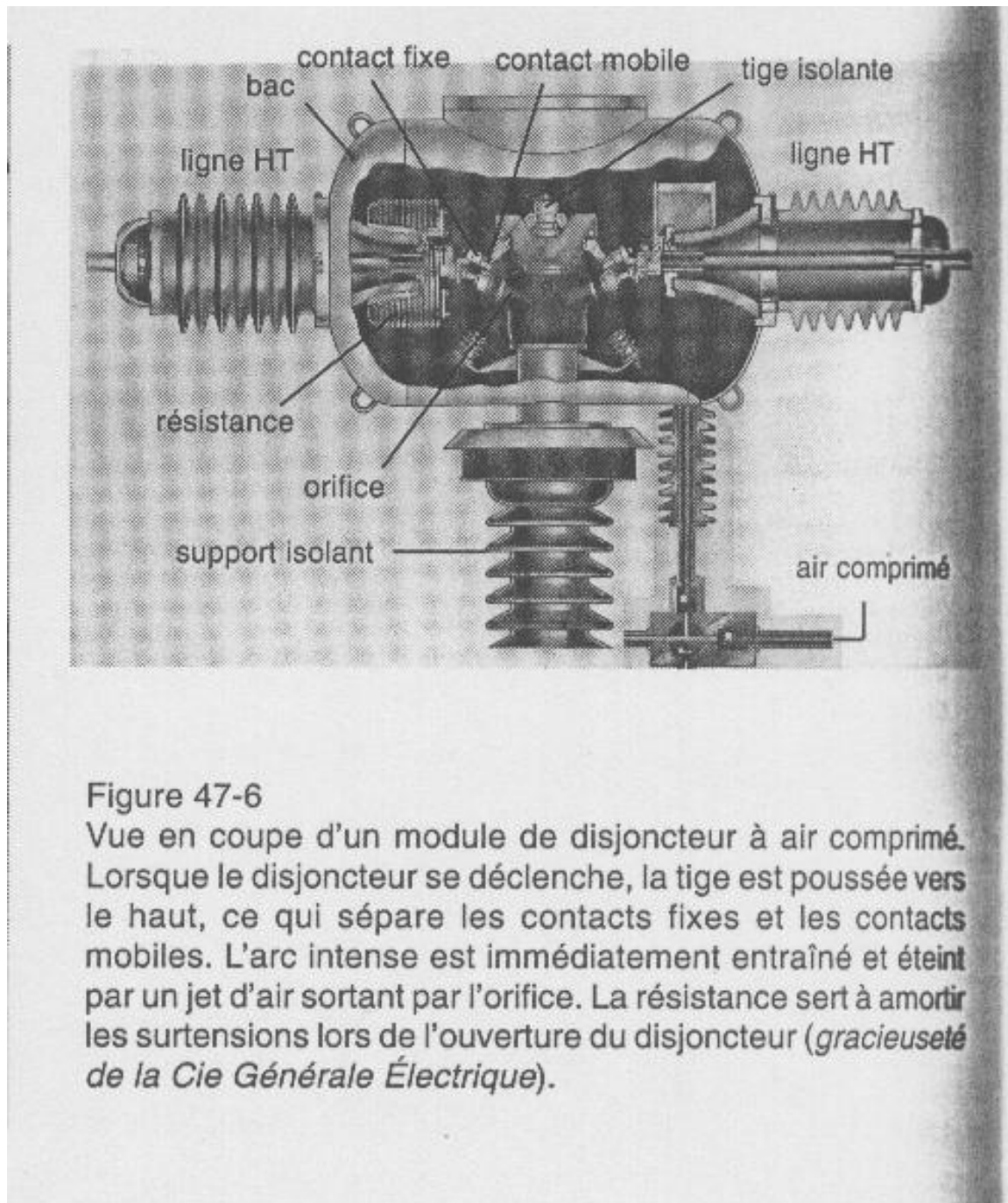


Figure 47-5

Disjoncteur à air comprimé installé dans le poste de transformation d'une usine à Montréal. Sa capacité nominale est de 2000 A sous une tension de 362 kV. Il peut interrompre un courant de défaut de 40 kA en 3 cycles sur un réseau à 60 Hz. Le disjoncteur comprend 3 modules identiques montés en série, chaque module ayant une tension nominale de 121 kV. Le réservoir d'air comprimé est visible à gauche. Autres caractéristiques: tension de tenue aux ondes de choc: 1300 kV; hauteur: 5640 mm; longueur hors tout: 9150 mm (*gracieuseté de la Cie Générale Électrique*).

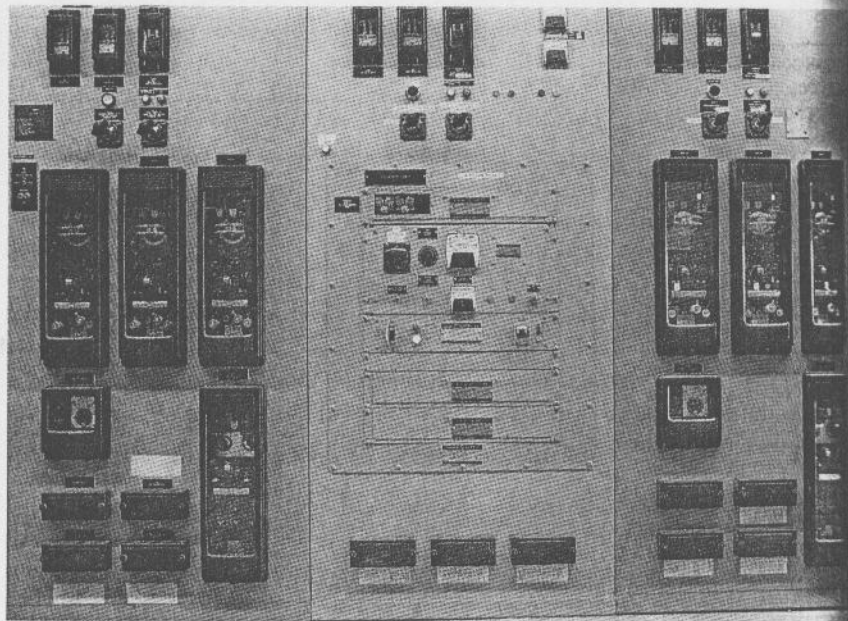
Wildi : Disjoncteur à air comprimé



Wildi : Disjoncteur à air comprimé

Figure 10.15

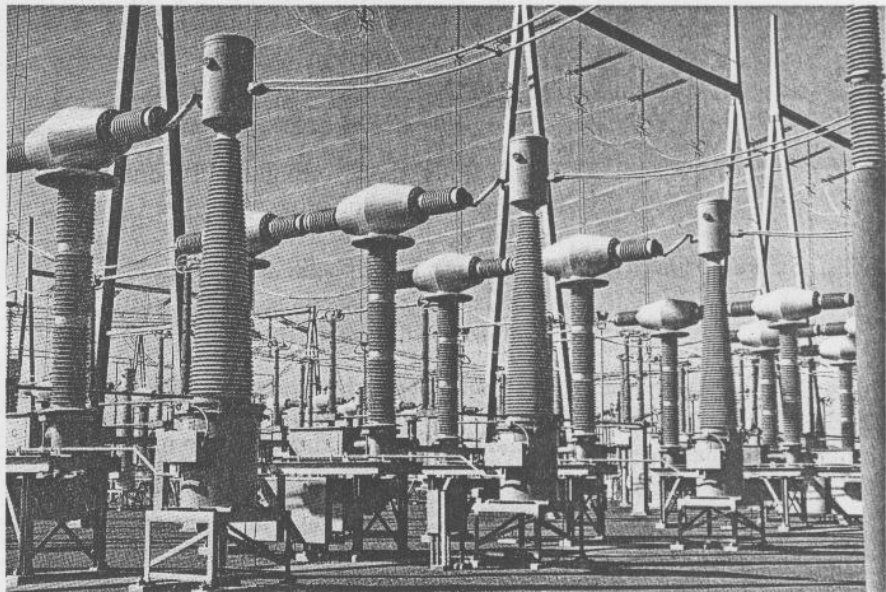
Solid-state relay panel (center) for a 345-kV transmission line, with electromechanical relays on each side, at Electric Junction Substation, Naperville, IL (Courtesy of Commonwealth Edison Company)



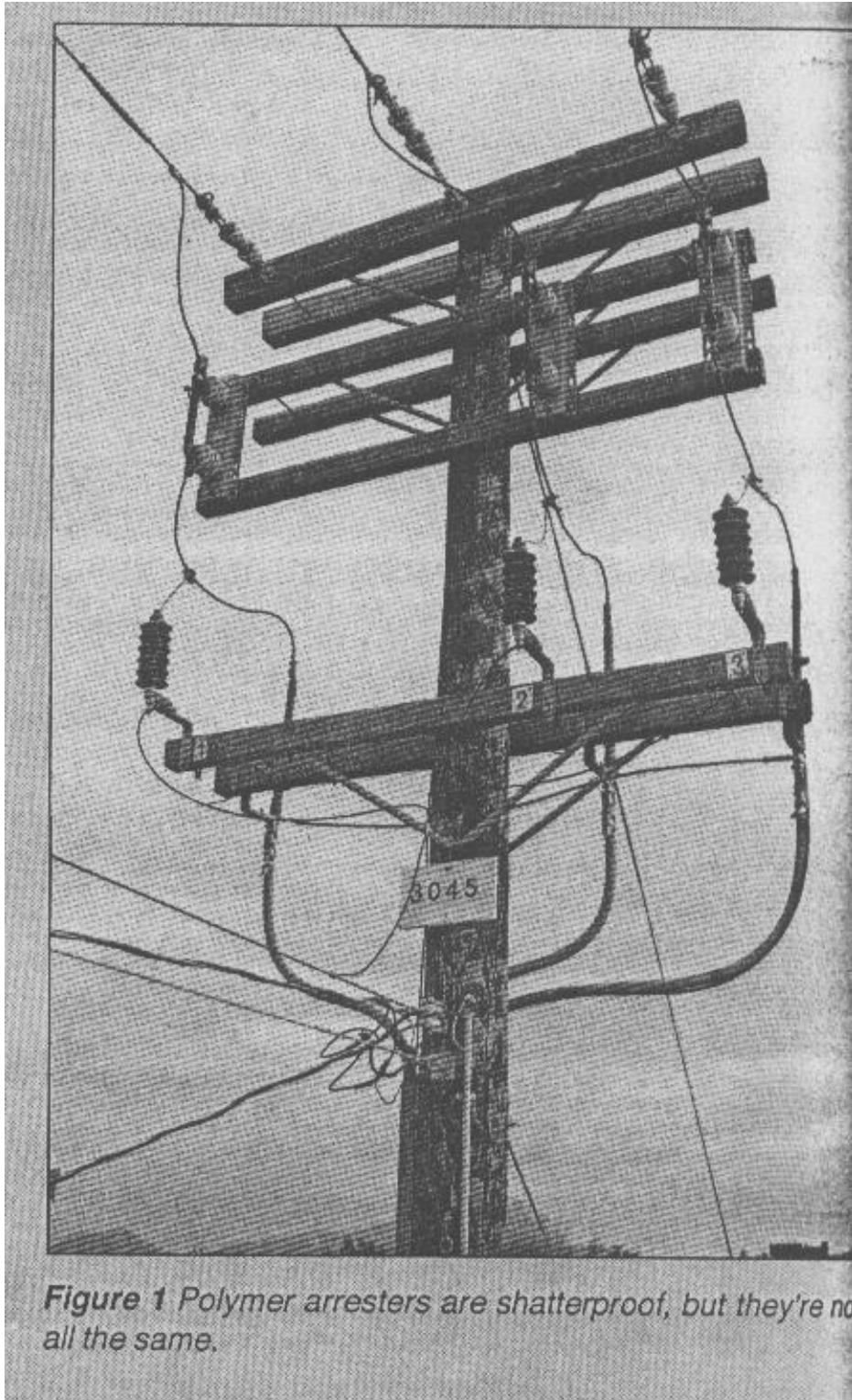
Glover : Relais électromécaniques

Figure 10.6

Three 500-kV class current transformers with 2000:5 CT ratios in front of 500-kV SF6 circuit breakers, Westwing 500-kV Switching Substation (Courtesy of Arizona Public Service Company)



Glover : Disjoncteur à air comprimé



Glover : Parafoudres et fusibles

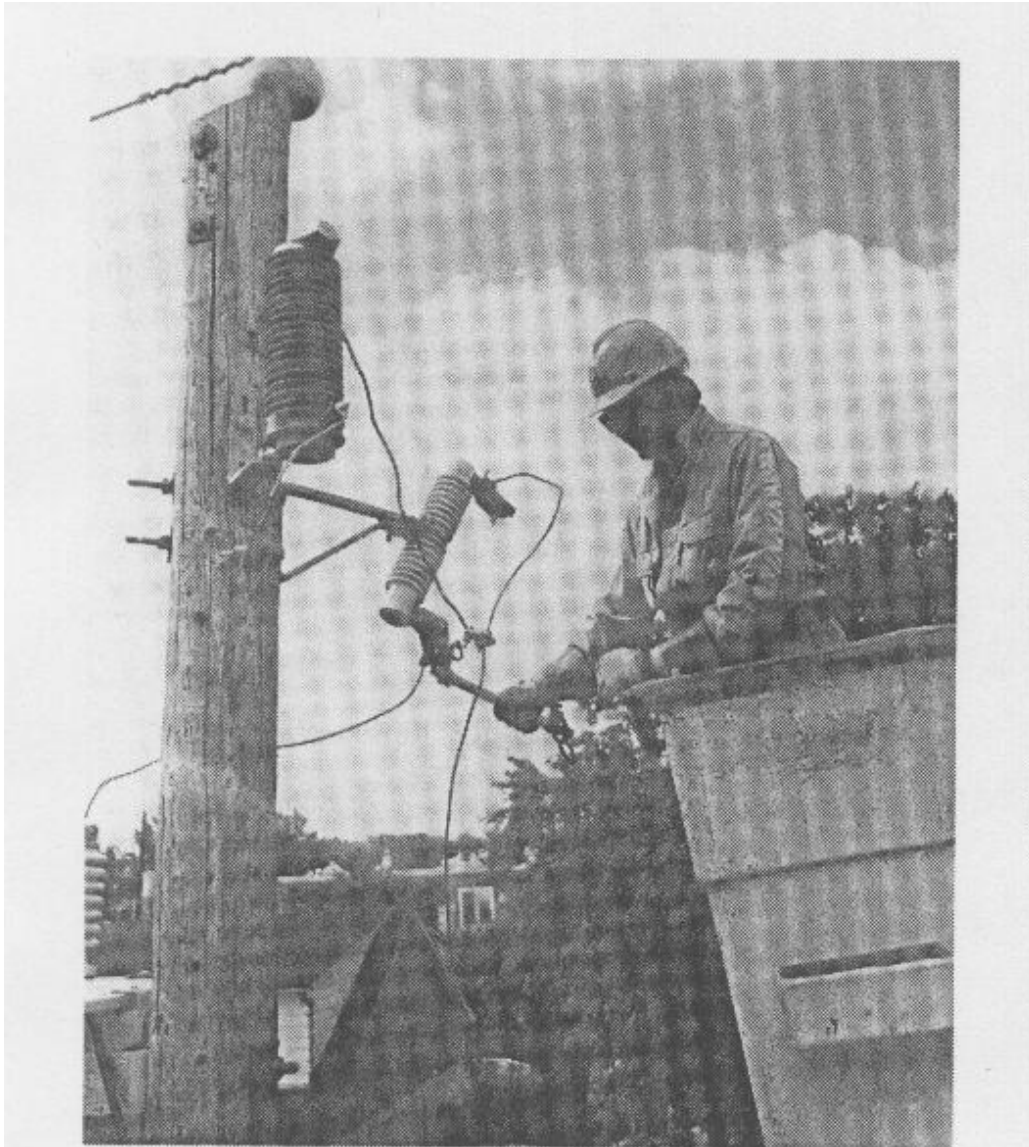


Figure 47-31

Monteur de ligne en train de remplacer le fusible d'un coupe-circuit protégeant un transformateur de distribution. Le parafoudre à oxyde de zinc est raccordé en parallèle avec le primaire (*gracieuseté d'Hydro-Québec*).

Wildi : Fusible protégeant un transformateur de distribution

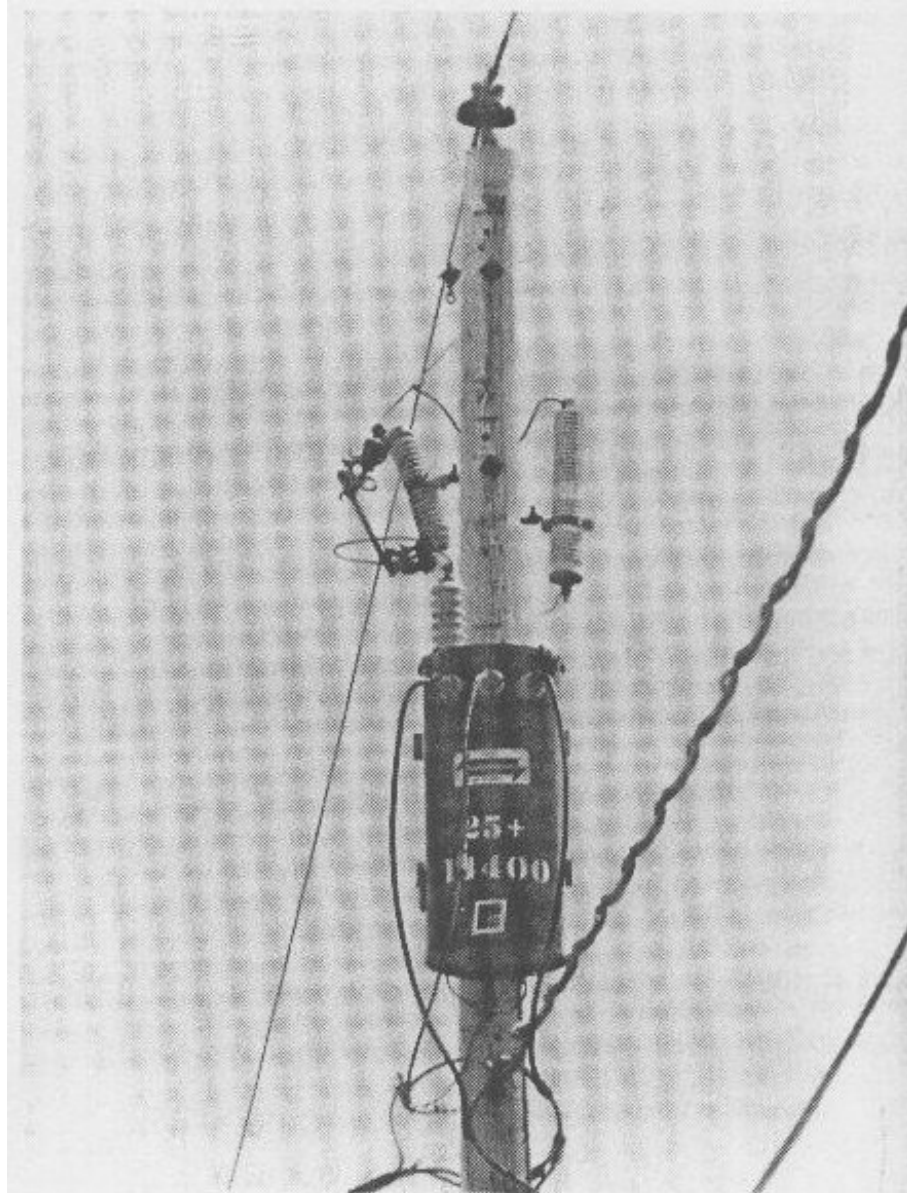
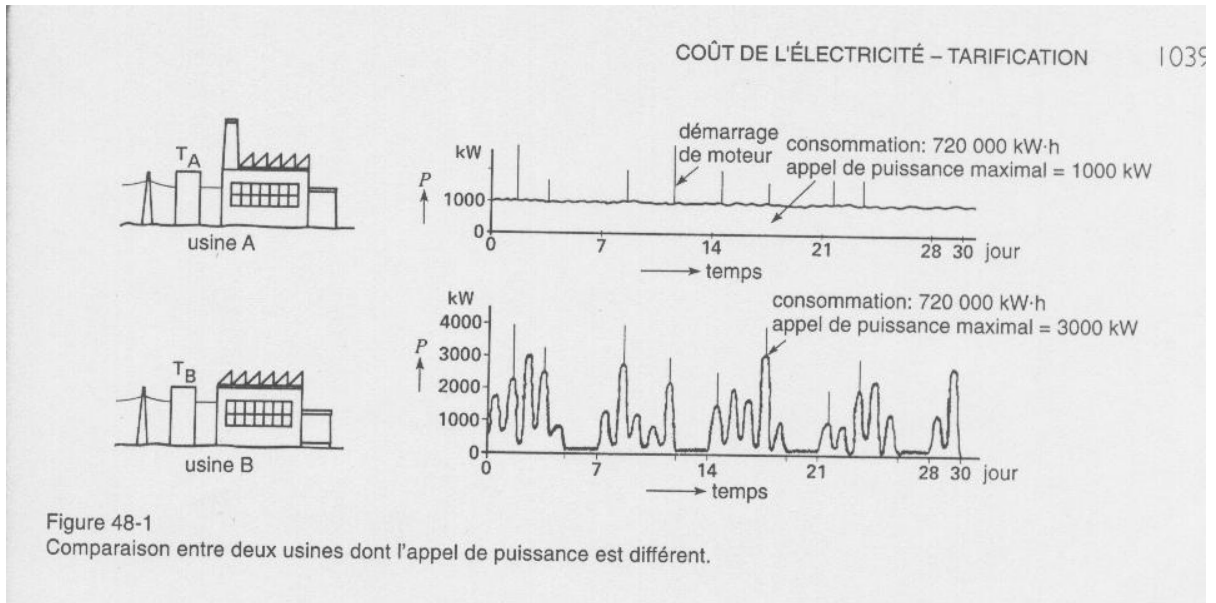


Figure 47-32

Coupe-circuit et parafoudre protégeant le primaire d'un transformateur monophasé de 25 kVA, 14,4 kV/120-240 V. Le fil sous tension de 14,4 kV est au sommet du poteau et la portion du conducteur situé au coin droit de la figure est le neutre de retour. Les conducteurs torsadés amènent la tension 120 V/240 V à une résidence.

Wildi Coupe circuit et parafoudre protégeant un transformateur de distribution

Tarification



Wildi : Tarification de deux clients

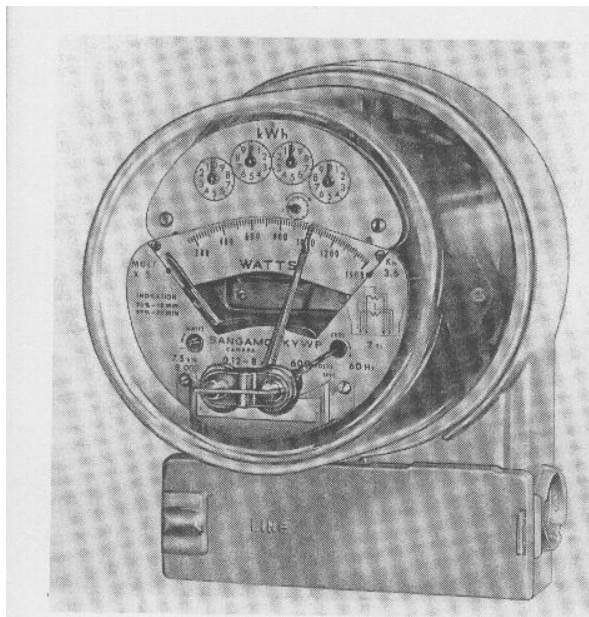


Figure 48-2
 Compteur servant à enregistrer la consommation en kW-h et l'appel de puissance maximal (gracieuseté de Sangamo).

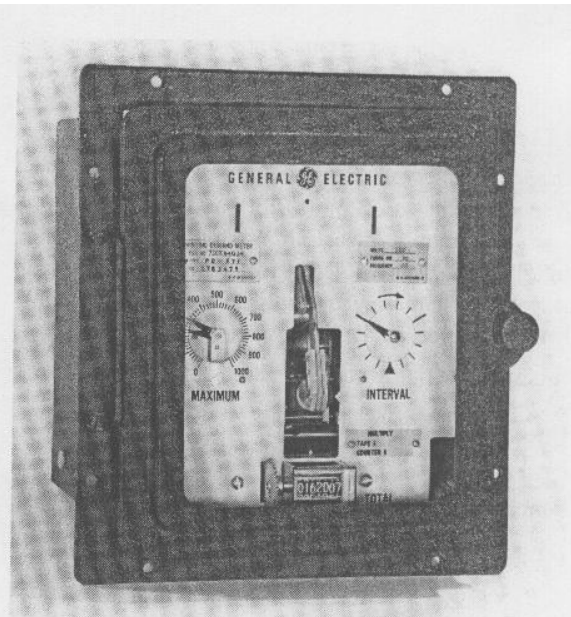
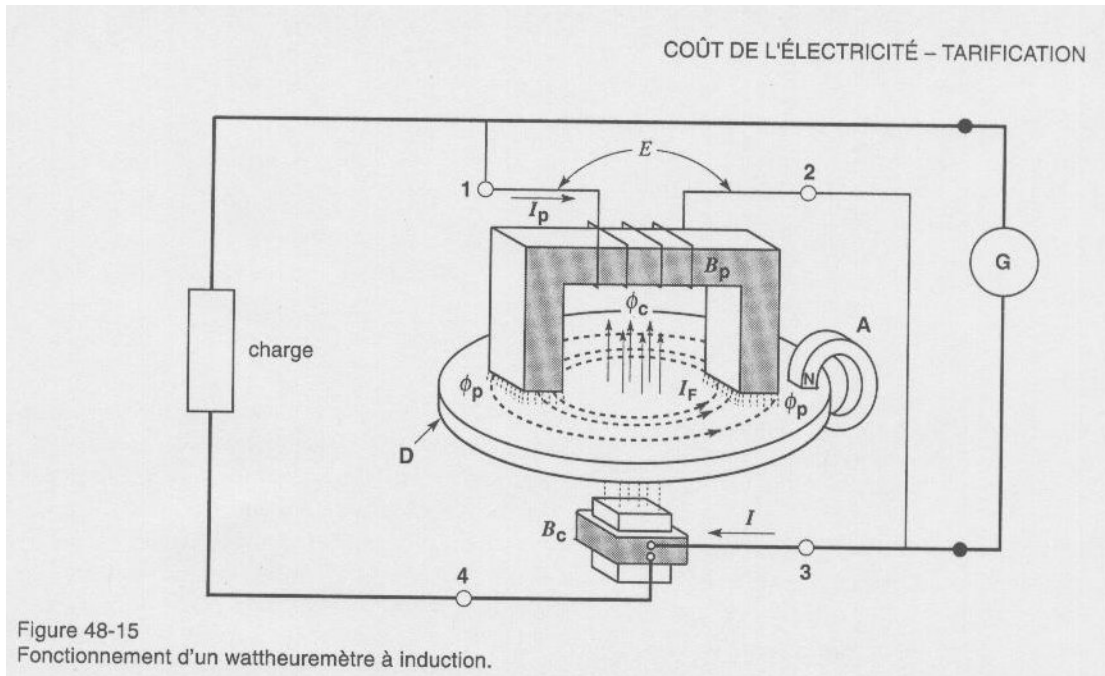


Figure 48-3
 Compteur à demande qui imprime durant chaque intervalle l'appel de puissance enregistré chez un gros consommateur d'électricité (gracieuseté de General Electric).

Wildi : Wattheuremètre



Wildi : Fonctionnement d'un wattheuremètre

Références:

- [1] T. Wildi, G. Sybille, "Électrotechnique Troisième Édition", Les Presses de l'université Laval, ISBN 2-7637-7593-4, 1999
- [2] J.D. Krauss, K.R.Carver, "Electromagnetics", Second Edition, McGraw-Hill Company, ISBN 0-07-035396-4, 1973
- [3] W.H. Hayt, "Engineering Electromagnetics", Fifth Edition, McGraw-Hill, ISBN 0-07-027406-1, 1989
- [4] D.K. Cheng, "Field and Wave Electromagnetics", Second Edition, Addison-Wesley, ISBN 0-201-12819-5, 1989
- [5] V. Del Toro, "Electromechanical Devices for Energy Conversion and Control Systems", Prentice-Hall, 1968
- [6] A.E. Fitzgerald, C. Kingsley, S.D. Umans, "Electric Machinery", Fifth Edition, McGraw-Hill, ISBN 0-07-02113405, 1990
- [7] J.D. Glover, M. Sarma, "Power System Analysis and Design", Second Edition, PWS Publishing Company, ISBN 0-53493-960-0, 1994
- [8] A.R. Bergen, V. Vittal, "Power Systems Analysis", Second Edition, Prentice-Hall, ISBN 0-13-691990-1, 2000
- [9] S.V. Marshall, G.G. Skitek, "Electromagnetic Concepts and Applications", Third Edition, Prentice-Hall, ISBN 0-13-250960-1, 1990