

Transformateurs de réglage dans les réseaux électriques – nouveaux concepts et applications

A l'origine, les transformateurs de réglage étaient essentiellement utilisés pour la compensation des variations de tension. Comme l'ont montré clairement des études, ils offrent pourtant aussi quelques autres avantages remarquables dans les réseaux de transmission. Par le choix sélectif des rapports de transformation, on peut influencer les flux de puissance active et réactive, de manière à exploiter plus économiquement les capacités de transport disponibles. En outre, il est possible de réduire considérablement les puissances de perte par une répartition judicieuse des charges et d'éviter presque complètement les courants de circulation. L'implantation de transformateurs de réglage en des endroits appropriés du réseau s'amortit donc en peu de temps. Les nouvelles applications doivent être vues dans le contexte de l'«Interphase Power Controller».

Pour des raisons économiques et de politique d'environnement, on est actuellement de plus en plus souvent forcé de mieux utiliser les réseaux de transport d'énergie. Cela s'obtient de manière très fiable par des transformateurs de réglage. Dans les constructions conventionnelles, on branche en série des transformateurs supplémentaires avec le transformateur principal. Un nouveau développement d'ABB Sécheron SA permet de renoncer à ces transformateurs supplémentaires, vu que les enroulements de réglage sont intégrés dans le transformateur principal. Les différents réglages sont réalisés au moyen de changeurs de prises commandés séparément et par les couplages adéquats.

Lors du transport d'énergie électrique, les pertes doivent rester aussi basses que possible. Avec des transformateurs de réglage déphaseurs qui interviennent sur le flux naturel de la charge réparti selon les impédances, on peut ajuster la répartition de la puissance dans le réseau

pour réduire les courants de circulation et les pertes dans le réseau.

Les réseaux peuvent être exploités plus économiquement en régulant et modifiant la répartition du flux de puissance. Un réglage approprié permet une répartition des flux de puissance conformément aux capacités de transport disponibles. On peut ainsi effectuer un transfert de puissance sur une ligne à tension plus élevée, souvent sous-chargee. Par cette mesure, on décharge les lignes moyenne tension généralement

fortement chargées et on réduit ainsi les pertes dans le réseau. Dans le contexte d'une plus grande interconnexion des réseaux internationaux et de l'ouverture des marchés de l'électricité, une commande appropriée des flux d'énergie à l'aide de transformateurs de réglage permet aussi aux exploitants de réseaux de mieux échanger l'énergie électrique par des chemins donnés et sans en surcharger d'autres.

La surveillance des puissances évite en outre la surcharge de certaines lignes de transport qui, tôt ou tard, devraient être déconnectées du réseau. Par ailleurs, les transformateurs de réglage permettent d'ajuster les puissances transmises conformément aux contrats de livraison.

Réglage longitudinal, transversal et diagonal

Le réglage des transformateurs permet l'adaptation du rapport de transformation au rapport de tensions des réseaux [1, 2]. Ce réglage est normalement sur le point neutre. Il est représenté dans **1**.

Pour le réglage longitudinal **1a**, la tension de réglage est en phase avec la tension de l'enroulement principal. Le rapport de transformation est alors adapté aux variations de tensions qui se produisent lors de l'exploitation du réseau. On peut aussi agir sur la puissance réactive qui transite par le transformateur.

Un réglage purement transversal **1b**, avec une tension supplémentaire déphasée de 90°, perpendiculairement à la tension de l'enroulement principal, s'utilise lorsque la puissance active qui s'écoule à travers le transformateur doit être réglée. Avec un réglage transversal, on ne peut pas compenser les variations de tension des réseaux.

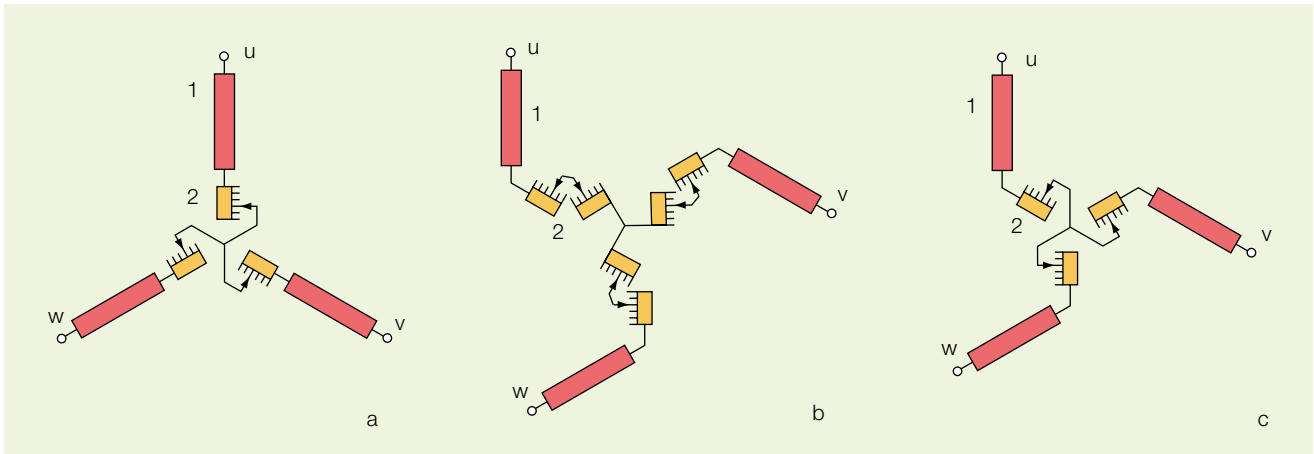
Pour les transformateurs à réglage diagonal, un seul changeur de prises suffit pour le réglage de la tension supplémentaire **1c**. Au contraire des réglages longitudinaux et transversaux, le réglage diagonal commande simultanément le flux des puissances réactives et actives. Les arguments d'impédances de réseaux haute tension étant inférieurs à 90°, les transformateurs de couplage de réseaux avec un réglage diagonal de 60° ont très bien fait leurs preuves pour le réglage du flux de puissance.

Ernst Wirth

ABB Haute tension SA

Jean-François Ravot

ABB Sécheron SA



Schémas des réglages au point de neutre de l'enroulement principal d'un transformateur les plus courants

1

- a Réglage longitudinal – la tension de réglage est en phase avec la tension de l'enroulement principal.
- b Réglage transversal – la tension est déphasée de 90° par rapport à la tension de l'enroulement principal.
- c Réglage diagonal – le réglage est déphasé par rapport à la tension de l'enroulement principal.

1 Enroulement principal 2 Enroulement secondaire

Si on prévoit des enroulements de réglage séparés et deux changeurs de prises indépendants pour le réglage longitudinal et diagonal, la tension additionnelle est réglable librement en grandeur et en phase dans les quatre quadrants.

Le mode de fonctionnement et le comportement du transformateur pour le réglage longitudinal, transversal et diagonal sont illustrés par les diagrammes vec-

toriels correspondants. **2a** montre le mode de fonctionnement d'un transformateur réglé longitudinalement. **2b** se rapporte à un réglage transversal et **2c** à un réglage diagonal.

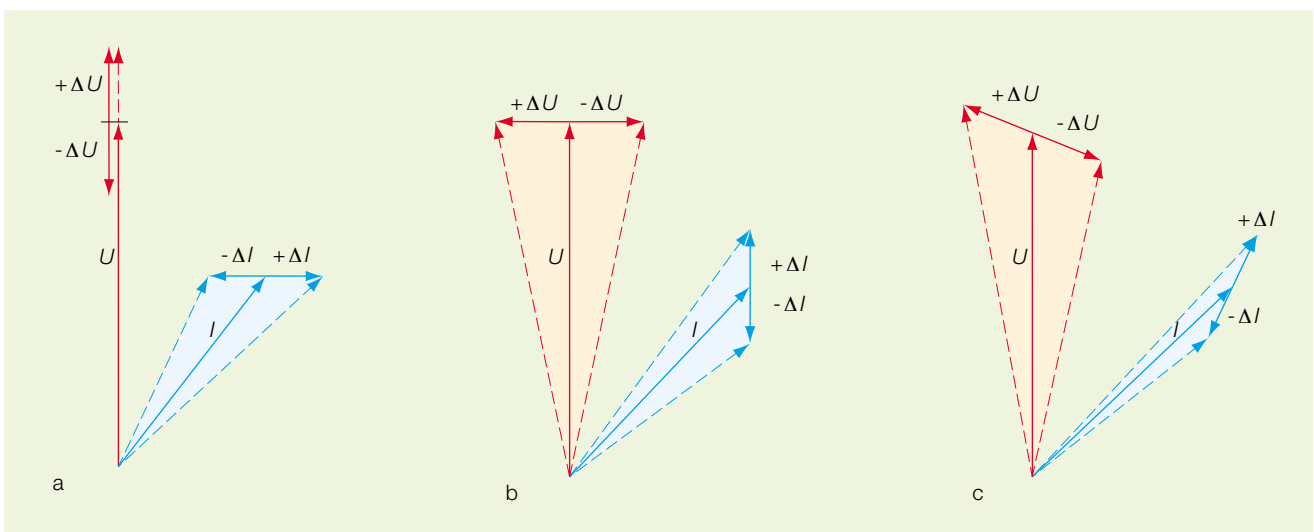
Hormis le couplage en étoile représenté, quelques autres couplages sont également réalisables. Le couplage optimal dépend du projet. Il est déterminé par les conditions suivantes:

- L'impédance de court-circuit nécessaire ou maximale admissible pour le transformateur
 - La grandeur et le type de réglage de tension
 - La puissance traversante du transformateur
 - Les tensions de service
- Dans le domaine des transformateurs de réglage, ABB dispose d'une expérience

Représentation simplifiée de la fonction de réglage longitudinal, transversal et diagonal sous forme de schéma vectoriel

2

a Réglage longitudinal b Réglage transversal c Réglage diagonal U Tension I Courant

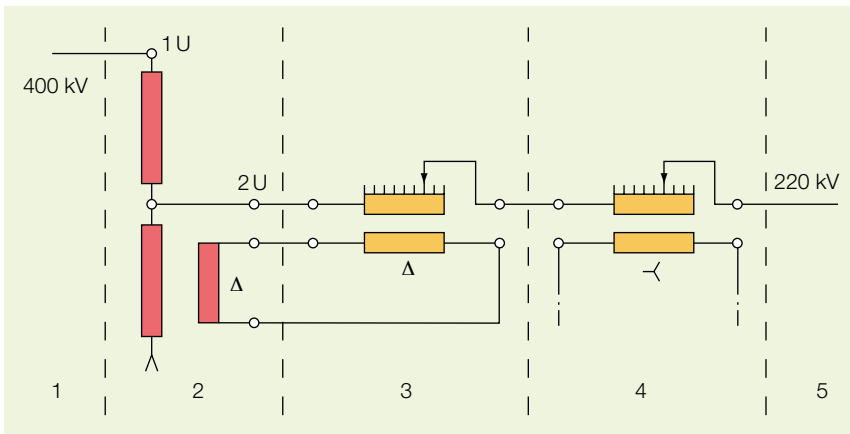




Montage économique pour le réglage longitudinal et transversal séparé de groupes de transformateurs de 400 MVA pour 400/370 ± 17 × 2,06/49 kV

Schéma de connexion électrique du groupe de 400 MVA présenté sur la figure 3. Le type d'exécution avec des transformateurs séparés pour le réglage longitudinal et transversal a été choisi pour pouvoir régler séparément les puissances active et réactive.

- | | |
|--|---|
| 1 Réseau 400 kV | 4 Transformateur de réglage transversal, alimenté par l'enroulement tertiaire V |
| 2 Transformateur principal | 5 Réseau 220 kV |
| 3 Transformateur de réglage longitudinal, alimenté par l'enroulement tertiaire U | |



4

de nombreuses années et est en mesure d'offrir des solutions adaptées de manière optimale aux conditions de réseaux données et aux attentes des clients. Aujourd'hui, on applique des technologies de pointe qui diminuent en particulier fortement les pertes de service et les frais de fabrication.

3 montre à titre d'exemple un groupe de transformateurs de 400 MVA pour les niveaux de tension 380/220 kV avec deux transformateurs supplémentaires et des changeurs de prises pour un réglage longitudinal et transversal.

Concepts conventionnels et nouveaux des transformateurs de réglage

Pour la régulation indépendante de la puissance active et réactive, c'est-à-dire pour le réglage diagonal à angle variable,

Type d'exécution du nouveau transformateur de réglage compact qui réunit le transformateur principal et les enroulements de réglage dans la même cuve. Des changeurs de prises indépendants les uns des autres pour le réglage longitudinal et transversal permettent de régler la tension et la puissance active transmise. 5

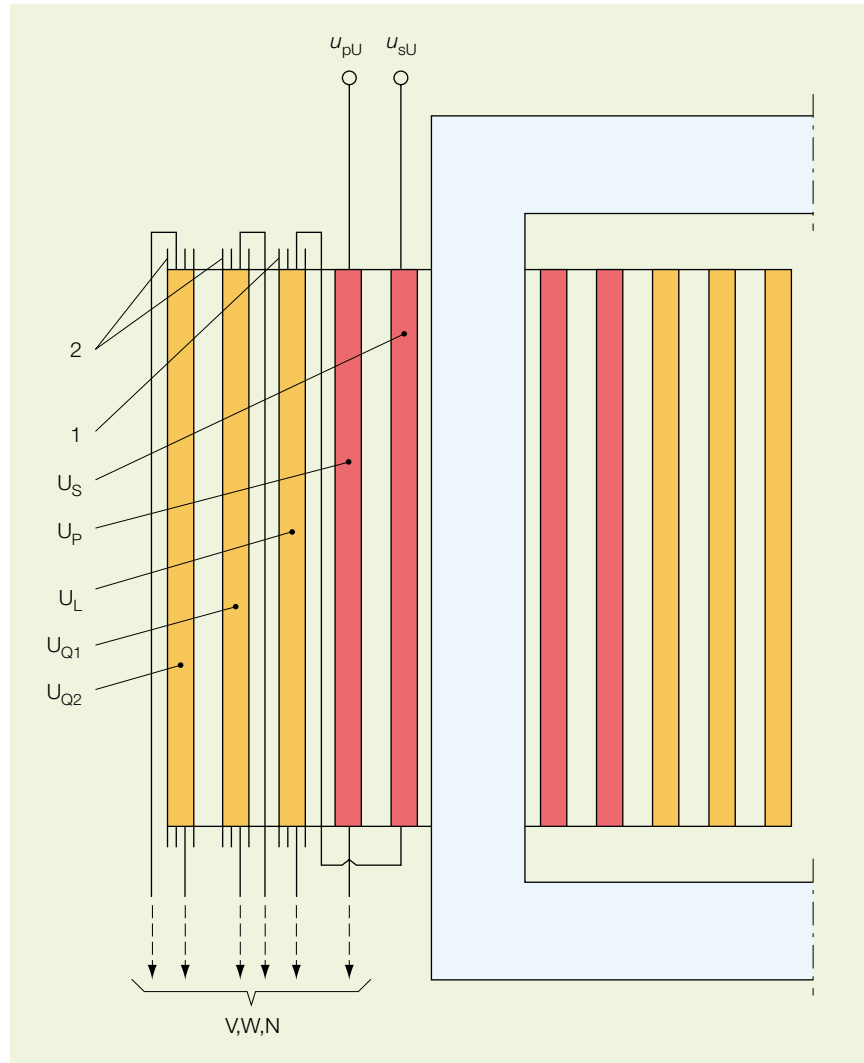
- 1, 2 Connexion des changeurs de prises
- U_P Enroulement primaire
- U_S Enroulement secondaire
- U_L Enroulement de réglage longitudinal
- U_{Q1} Enroulement de réglage transversal 1
- U_{Q2} Enroulement de réglage transversal 2
- u_{pU} Tension primaire
- u_{sU} Tension secondaire

la technique conventionnelle requiert, en plus du transformateur principal, deux transformateurs de réglage connectés en série. Le schéma de couplage du transformateur de réglage de 400 MVA mentionné ci-dessus est illustré par 4.

Les transformateurs supplémentaires pour le réglage longitudinal et transversal permettent à vrai dire une exploitation très souple. Les investissements et le besoin de place relativement élevés sont des inconvénients importants. Dans cette forme d'exécution, on doit en outre tenir compte de la capitalisation des pertes de cuivre et des pertes fer.

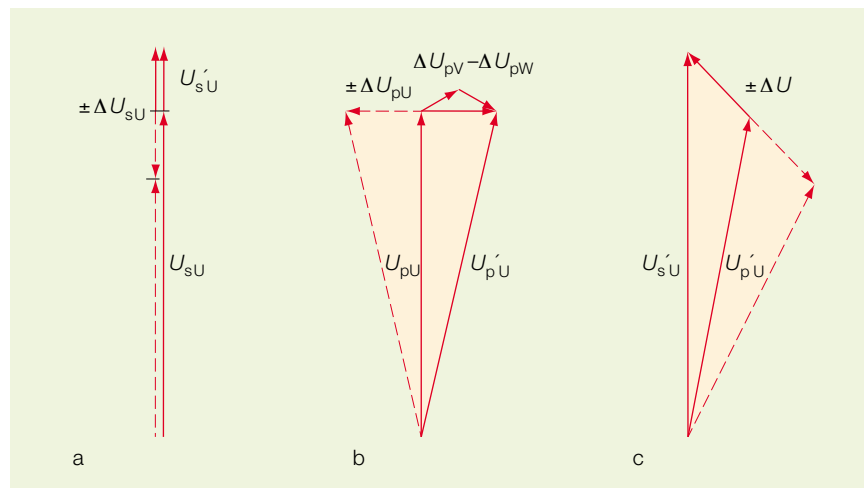
Un nouveau concept d'ABB Sécheron SA permet de remplacer les transformateurs de réglage connectés en série avec le transformateur principal par quelques enroulements placés dans le transformateur principal. Grâce à cette mesure, tant le coût d'investissement que les frais d'exploitation ultérieurs sont fortement réduits. Les économies de coûts proviennent surtout de la simplification des parties actives des transformateurs. Le besoin de place fortement réduit représente un autre avantage [3]. 5 montre la configuration du transformateur avec deux changeurs de prises pour le réglage longitudinal et transversal.

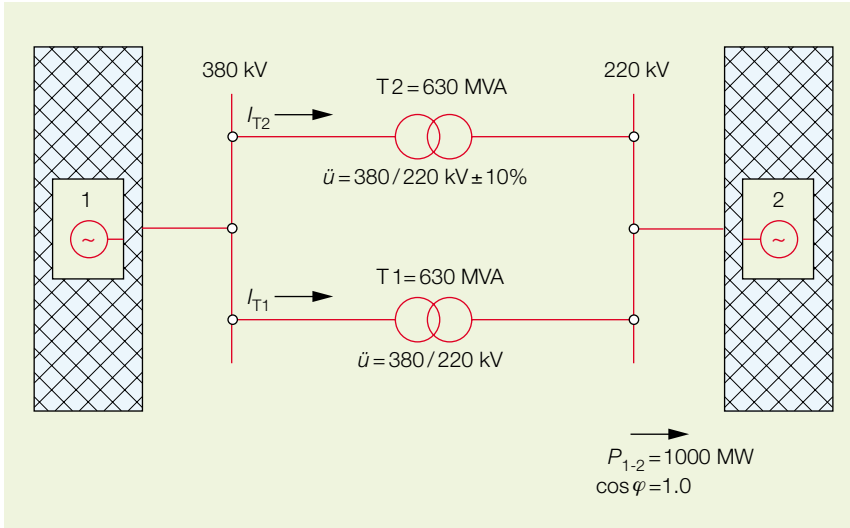
Les enroulements de réglage longitudinal U_L , V_L et W_L sont connectés par le changeur de prises 1 aux enroulements de même phase U_S , V_S et W_S . Ce chan-



Possibilités de réglage de la tension additionnelle ΔU sur les quatre quadrants par des changeurs de prises indépendants 6

- a Réglage longitudinal de l'enroulement secondaire
- b Réglage transversal de l'enroulement primaire
- c Superposition de l'effet des régulations longitudinale et transversale



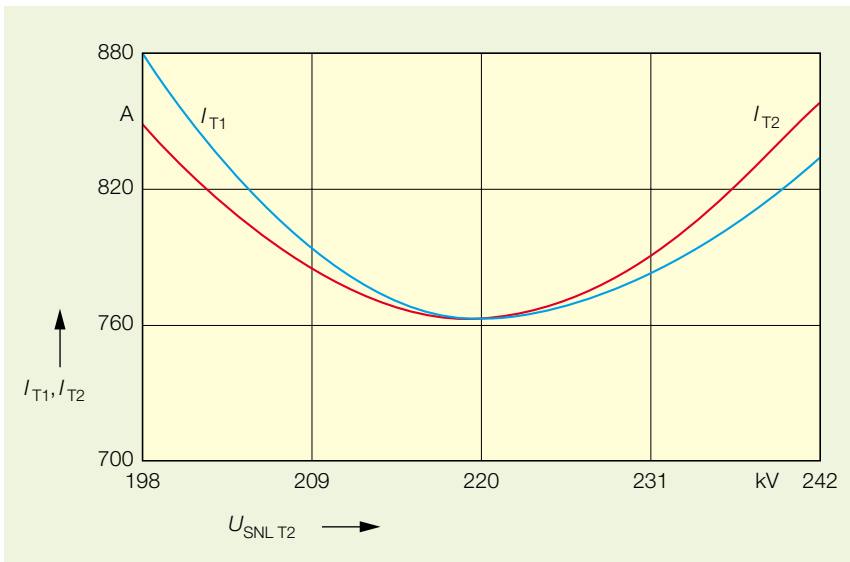


7 Extension d'un couplage existant par un transformateur de réglage longitudinal T2 de 630 MVA. Le transformateur T1 existant a un rapport constant.

1, 2 Réseaux
I Courant
ü Rapport de transformation

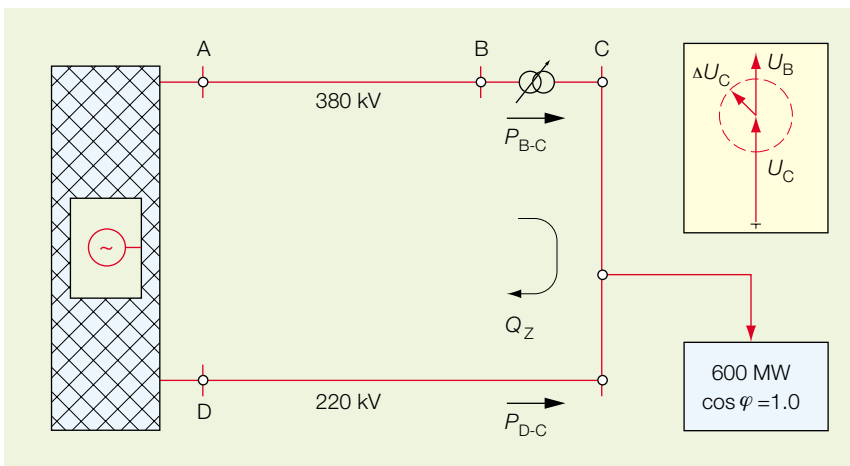
Le réglage transversal est réalisé par les enroulements de réglage côté primaire U_{Q1} , U_{Q2} , V_{Q1} , V_{Q2} , W_{Q1} et W_{Q2} connectés aux enroulements principaux U_p , V_p et W_p par le changeur de prises 2. Conformément au schéma d'enroulement, la valeur $n^*(U_{pV} - U_{pW})$ s'ajoute à la tension U_{pU} de la phase U du côté primaire. Ce réglage est toujours perpendiculaire à U_{pU} et remplit ainsi les conditions du réglage transversal. Les mêmes relations sont valables pour les deux autres phases V et W. En combinant le réglage longitudinal et le réglage transversal, on obtient une possibilité de régulation sur les 4 quadrants **6**.

En alternative à la solution présentée, le réglage longitudinal peut également s'effectuer sur le côté primaire et le réglage transversal sur le côté secondaire du transformateur. Les enroulements primaires U_p , V_p et W_p sont alors reliés par le changeur de prises 1 aux enroulements de réglage longitudinaux U_L , V_L et W_L et les enroulements secondaires U_s , V_s et W_s sont reliés par le changeur de prises 2 aux enroulements de réglage des phases voisines. On obtient de nou-



8 Courants I_{T1} et I_{T2} dans la sous-station en 380 kV (Fig. 7) en cas de variation du rapport de tension du second transformateur T2 de 380/198 kV à 380/242 kV, avec une puissance de transmission d'énergie constante de 1000 MW sur le côté 220 kV.

$U_{SNL T2}$ Tension secondaire à vide du transformateur 2



9 Utilisation d'un transformateur de réglage pour l'exploitation parallèle de lignes de différentes tensions sur une distance de 100 km. Le schéma vectoriel illustre la tension de marche à vide résultant du transformateur sur le côté réglé en 220 kV.

A, B, C, D Points nodaux du réseau
P Puissance de transmission d'énergie
Q_Z Puissance réactive de circulation

veau une tension additionnelle de réglage transversal avec une avance ou un retard de phase de 90°, cette fois sur le côté secondaire du transformateur.

Selon les exigences des clients et les conditions limites de construction, il est possible de réaliser des variantes dans lesquelles les enroulements de réglage sont tous actifs, soit du côté primaire, soit du côté secondaire.

Nombreuses possibilités d'application des transformateurs de réglage

A l'origine, les transformateurs de réglage étaient principalement destinés à compenser des variations de tension provenant de la charge variable des réseaux. En prévoyant un réglage transversal en complément au réglage longitudinal, on peut non seulement régler la puissance réactive nécessaire, mais aussi la puissance active. Il en résulte toute une série d'applications intéressantes pour les réseaux haute tension, tout comme pour la moyenne tension. Si on les combine à d'autres moyens d'exploitation traditionnels, tels que des condensateurs et des réactances, on obtient ce qu'on appelle des éléments FACTS (*Flexible Alternative Current Transmission Systems*) très robustes. Le *tableau 1* résume les principaux domaines d'application et les avantages qu'ils offrent aux exploitants des réseaux.

Transformateurs de couplage de réseaux

Quand on couple des réseaux, on branche souvent plusieurs transformateurs en parallèle. Si les rapports de tension des transformateurs de couplage de réseaux sont différents, ou s'ils sont réglés différemment, une différence de tension ΔU à vide provoque un courant de circulation lors de l'exploitation en charge.

L'exemple **7** montre deux transformateurs de couplage de 630 MVA T1 et T2 reliant deux réseaux de tension nominale de 380 kV et 220 kV. La puissance transmise est de 1000 MW. Le rapport de transformation du premier transformateur est constant, selon les tensions nominales. A la seconde unité T2, on ajoute, lors d'une extension ultérieure du réseau, un réglage longitudinal du côté en 220 kV. Pour le reste, les caractéristi-

ques fondamentales de T1 et T2 sont identiques.

L'observation du flux de puissance montre les effets du réglage en cours d'exploitation, ainsi que les inconvénients de cette solution. Pour plus de clarté, on a fait varier le réglage longitudinal du côté 220 kV entre une valeur minimale (198 kV) et une valeur maximale (242 kV).

L'illustration **8** montre la répartition de courant qui en résulte pour la sous-station 380 kV. Lorsque le changeur de prises est en position médiane, le rapport des deux transformateurs est identique et les intensités également. Dans les positions extrêmes du changeur de prises T2, comme on peut le prévoir, on obtient des courants nettement plus élevés dans les groupes de transformateurs, puisqu'un qu'un courant de circulation s'y superpose. Ce courant est essentiellement inductif et atteint environ 400 A sur le côté 380 kV. L'augmentation des courants dans les transformateurs entraîne des pertes supplémentaires.

Pour éviter les courants de circulation, qui provoquent des pertes et qui alourdissent la charge du transformateur, les transformateurs de couplage de réseaux parallèles installés devraient, si possible, avoir les mêmes rapports de tension et le même groupe de couplage.

Optimisation des pertes de transmission d'énergie pour l'exploitation en parallèle de lignes de tensions différentes

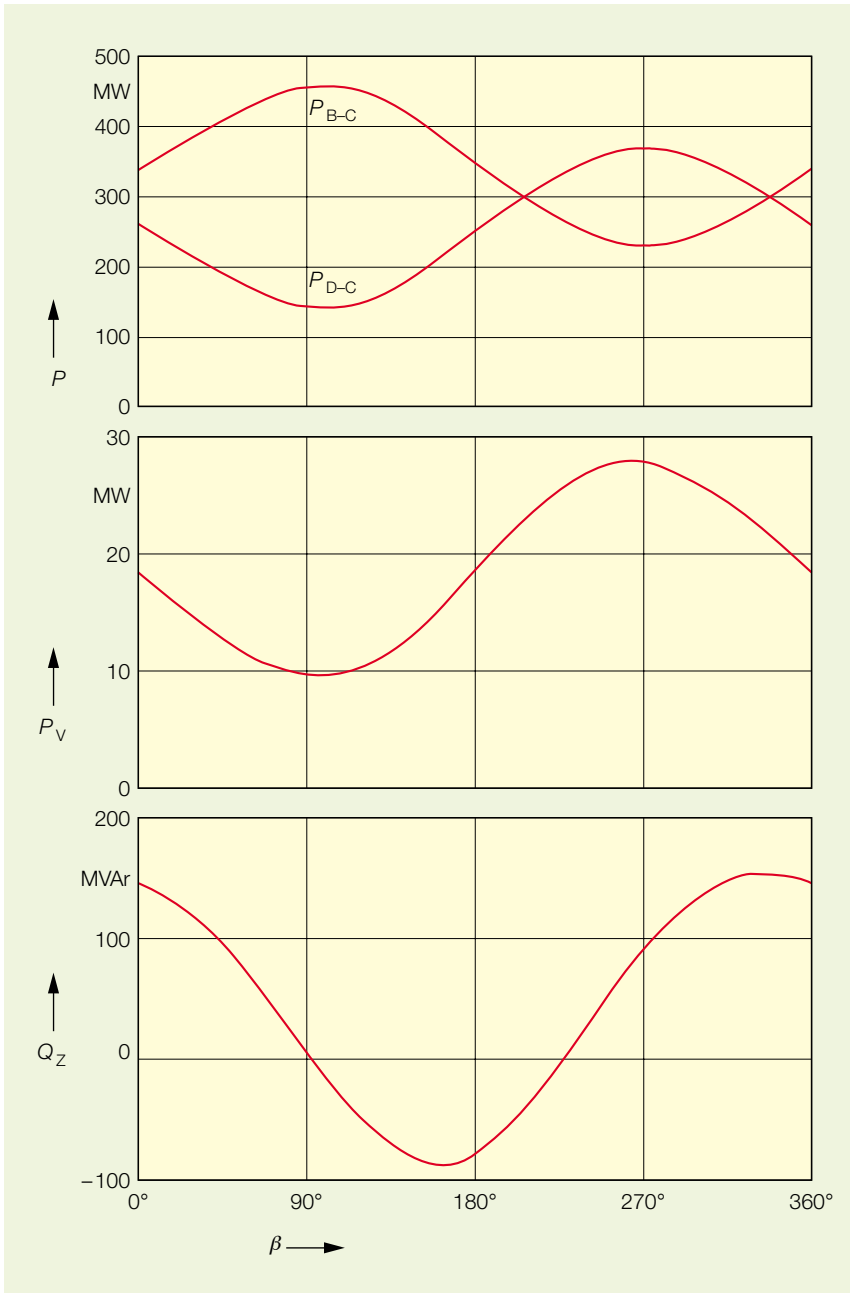
9 montre une section de réseau 380/220 kV. Deux lignes alimentent une sous-station de 220 kV sur une distance de 100 km. Pour une réduction optimale des pertes de couplage des deux lignes de tension, il faut installer un transformateur de réglage sur le côté en 220 kV, avec une tension additionnelle de ΔU de 26,4 kV. La puissance reçue sur la sous-station 220 kV est alors de 600 MW. Pour le contrôle de ce type de configuration de réseau, l'angle β de la tension de réglage varie de 0 à 360°.

Les résultats représentés dans **10** montrent chacune des puissances transmises, les pertes totales des lignes et celles du transformateur, ainsi que la puissance réactive de circulation qui est plus élevée avec un réglage longitudinal.

Comme on pouvait le prévoir, la puissance transmise sur la ligne 220 kV diminue quand l'angle β augmente, puisque la différence de phase entre les tensions appliquées aux extrémités des lignes diminue du fait de la tension déphasée ΔU . Simultanément, la puissance transmise sur la ligne 380 kV passe à 340 MW, avec un réglage longitudinal à environ

Tableau 1:
Transformateurs de réglage – Domaines d'application et avantages pour les exploitants de réseaux électriques

- Suppression ou réduction de courants de circulation dans le réseau
- Inhibition de l'échange indésirable de puissance réactive
- Réglage de la puissance de transfert et d'échange
- Optimisation de la réduction des pertes pour les connexions parallèles de niveaux de tension différents, ou de différentes longueurs
- Décalage de la transmission d'énergie à des niveaux de tension plus élevés, souvent moins chargés
- Surveillance des lignes et redistribution des flux de puissance dans des réseaux fortement chargés
- Transfert de l'énergie suivant des déplacements donnés, sans charge ou avec une charge minimale des autres réseaux
- Fiabilité accrue des alimentations électriques, grâce à une meilleure répartition des flux de puissance dans les réseaux
- Éléments FACTS très robustes, grâce à l'emploi combiné de réacteurs et de condensateurs



Puissances de transmission d'énergie (P), pertes totales (P_V) et puissance réactive de circulation (Q_Z) pour la configuration de réseau illustrée sur la Fig. 9 en cas de variation de l'angle de phase (β) de la tension additionnelle ΔU de 0 à 360°

10

455 MW avec le réglage transversal déphasé de 90° .

En conséquence, les pertes sur les deux lignes et le transformateur, qui étaient de 18,7 MW avec un réglage longitudinal, se réduisent à 9,8 MW avec un réglage transversal. Si le prix est de 0,05 SFr. par kWh, on obtient une économie annuelle d'environ 3,9 millions de SFr.

pour une puissance de transmission énergie de 600 MW sur la section de réseau considérée.

Comme on le voit sur **10**, si la tension additionnelle a un retard de phase, on obtient l'effet contraire. Dans ce cas, la transmission d'énergie se déplace vers la ligne en 220 kV, étant donné que le déphasage augmente en fin de la

ligne 220 kV. Les pertes augmentent alors d'environ 4,6%, correspondant à 27,7 MW. Le coût annuel qui en résulterait serait d'environ 12,1 millions de SFr.

Les considérations qui précèdent permettent de voir clairement les avantages de la régulation du flux des tensions. On peut voir que le réglage de la réduction optimale des pertes dépend largement de leur topologie et de leur charge momentanée. Seule une plage de réglage qu'on peut ajuster librement entre 0 et 360° permet de tenir compte efficacement des conditions limites d'exploitation.

Systèmes flexibles de transmission AC avec des transformateurs de réglage «Interphase Power Controller» (IPC)

La technologie IPC permet l'utilisation de transformateurs déphaseurs pour la régulation des flux de puissance et l'interconnexion des réseaux de transmission, que les tensions soient identiques ou différentes, le couplage étant réalisé conventionnellement ou par des moyens électroniques [4, 5].

11 illustre le schéma de principe de l'Interphase Power Controller constitué d'un condensateur et d'une réactance connectée en parallèle. Les éléments déphaseurs sont chacun montés en série, par exemple des transformateurs de réglage à commutation conventionnelle. Les deux branches de l'IPC peuvent être accordées l'une par rapport à l'autre. Elles ont alors la même valeur d'impédance pour l'onde fondamentale.

Le réglage des angles de phases α_1 et α_2 des deux transformateurs PAR1 et PAR2 détermine la puissance active transmise par l'IPC et le rapport de la puissance réactive. La puissance réactive absorbée ou restituée par l'IPC, sans tenir compte des pertes des transformateurs, résulte de la somme vectorielle des puissances réactives de la réactance et du condensateur. Si la différence des angles $\alpha_1 - \alpha_2$ de l'IPC accordé est nulle, aucune puissance ne circule.

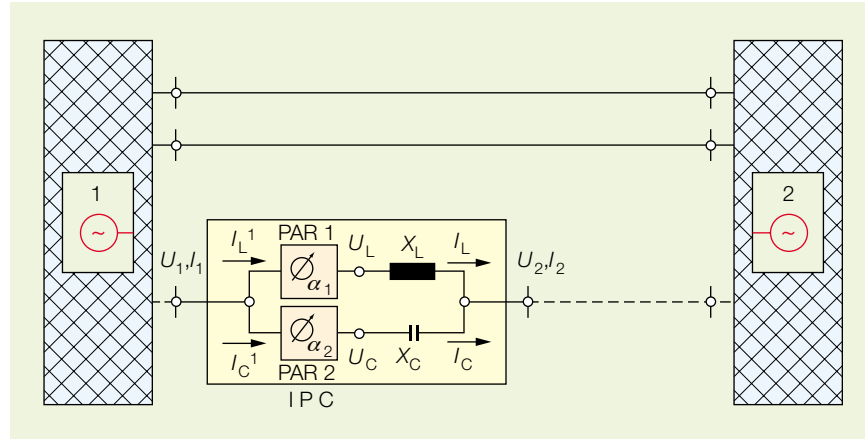
On peut voir le mode de fonctionnement de l'IPC sur le schéma vectoriel **12**. La tension U_L entre PAR1 et la réactance tourne de α_1 dans le sens antihoraire. La tension U_C entre PAR2 et le condensateur se décale de α_2 dans le sens horaire. Dans les mêmes conditions, on obtient

les mêmes angles de déphasage α_1 et α_2 pour les courants I_L et I_C .

Différentes formes d'exécution sont possibles selon les problèmes à résoudre et les conditions du réseau, par exemple avec un transformateur de réglage dans la branche inductive ou capacitive de l'IPC. Toutefois, de cette manière, on réduit les capacités de réglage.

Les Interphase Power Controllers sont des systèmes FACTS très robustes, constitués d'éléments passifs. En résumé, ces composants réseau offrent toute une série d'avantages d'exploitation:

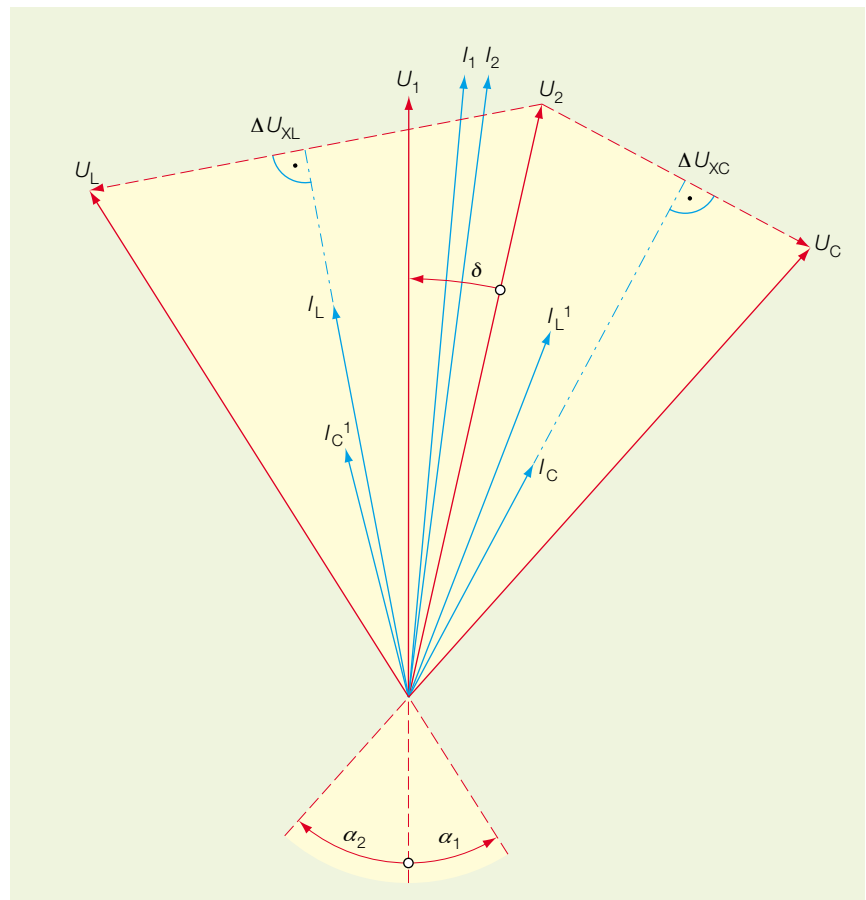
- Le sens et la quantité de puissance active à transmettre peuvent être réglés librement. A réglage identique, cette puissance reste constante, quel que soit l'angle de phase entre les réseaux, à l'opposé des autres moyens d'exploitation [18].
- L'IPC peut absorber ou restituer la puissance réactive, sans transmettre lui-même la puissance réactive [18].
- L'IPC accordé offre un effet de découplage. On l'utilise essentiellement quand on n'a pas besoin de puissance synchronisante additionnelle, ni d'amortissement. Des pannes et les défauts d'un côté du réseau se transmettent peu sur l'autre. Pour cette raison, des conditions de mise à la terre différentes des deux côtés de l'IPC sont admises.
- Les réseaux fortement maillés, qu'on rencontre aujourd'hui dans tous les pays fortement industrialisés, peuvent être étendus, sans pour autant dépasser les puissances de déclenchement existantes. Si les puissances de court-circuit sont déjà critiques, l'installation ultérieure d'IPC peut améliorer la situation.
- Dans certaines conditions, des installations existantes équipées de transformateurs de réglage déphaseurs peuvent être converties en installations IPC.



Configuration de principe d'un «Interphase Power Controller».
La variante de base de l'IPC représenté comporte deux transformateurs de réglage à ajustement indépendant – un transformateur pour chaque branche inductive et capacitive. Les IPC permettent une extension des réseaux existants, sans augmenter de façon inacceptable les puissances de court-circuit.

11

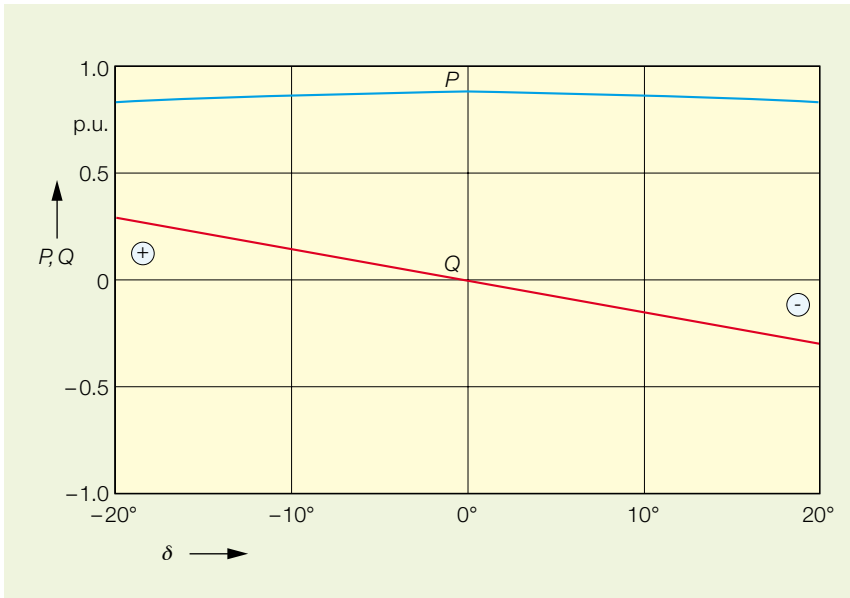
1, 2	Réseaux	U_1, U_2	Tensions des côtés 1 et 2 du réseau
PAR 1, 2	Transformateurs de réglage	U_L	Tension entre PAR 1 et la réactance
α_1, α_2	Angles de déphasage	U_C	Tension entre PAR 2 et le condensateur
X_L	Réactance	I_1, I_2	Courants des côtés 1 et 2 du réseau
X_C	Condensateur	I_L, I_C	Courants dans la réactance et le condensateur
		I_L^1, I_C^1	Courants dans la réactance et le condensateur appliqué au côté d'un réseau



Courants et tensions de l'Interphase Power Controller illustré sur la Fig. 11, sans tenir compte des pertes des transformateurs

12

δ Angles de phase



Evolution caractéristique de la puissance active et réactive de l'Interphase Power Controller pour différents angles de phase δ entre le réseau 1 (U_1) et le réseau 2 (U_2). Si la puissance active passe du réseau 1 au réseau 2, la tension U_1 donne un retard de phase ($\delta = -20^\circ \dots 0^\circ$) de la puissance réactive entre les deux réseaux. Par contre, si la tension U_1 a une avance de phase ($\delta = 0^\circ \dots +20^\circ$), de la puissance réactive est absorbée. 13

P Puissance active sur les bornes de l'IPC
 Q Puissance réactive sur les bornes de l'IPC

Des relations de partenaires entre les clients sont souhaitables

Une collaboration étroite entre le fabricant et l'exploitant du groupe est nécessaire pour la réalisation des projets, de la phase d'étude à la mise en route. Des spécialistes peuvent fournir des solutions optimales qui respectent les exigences et les impératifs formulés.

A partir de la puissance transitoire requise, des propriétés de réglage du transformateur et de l'impédance de court-circuit maximale et minimale nécessaire, ABB Haute tension SA peut soumettre des propositions appropriées et réaliser le projet en partenariat avec le client.

On a déjà procédé à de nombreux essais de type et en usine pour garantir la qualité. On a effectué des essais d'échauffement et de surtensions. La maintenance et les mesures de contrôle régulières après la mise en service de groupes de transformateurs assurent également une exploitation sans faille.

Les études de systèmes exécutées au cas par cas permettent de prévoir les répercussions des interventions sur la répartition du flux de tension et sur la stabilisation des tensions, dans les conditions d'exploitation actuelles et à venir.

Bibliographie

- [1] Dobša, J.: Transformateurs pour le réglage longitudinal, diagonal et transversal. Revue Brown Boveri 59 (1972) 8, 376-383.
- [2] Rageth, P.; Kratzer, R.: Le contrôle des échanges d'énergie active et réactive par des transformateurs de réglage. Tirage à part de S.A. des Ateliers de Sécheron, Genève, 1966.
- [3] Ravot, J.-F.: Transformateurs triphasés, flux des tensions – commande par réglage transversal et longitudinal incorporé dans la même partie active. Rapport technique, ABB Sécheron SA, Dépt TPT, Genève 1996.
- [4] Pelletier, P. et al.: The Interphase Power Controller – A Robust Solution for

Synchronous Interconnections and Management of Power Flows, AC and DC. Power Transmission. 29 April – 3 May 1996. Conference Publication No. 423, IEEE 1996.

[5] Povh, D. et al.: Load Flow Control in High Voltage Power Systems using FACTS Controllers. CIGRE TF 38-01-06 Report on Load Flow Control, 1996.

Adresses des auteurs

Ernst Wirth
 ABB Haute tension SA
 Case postale 8546
 CH-8050 Zurich
 Téléfax: +41 (0) 1 311 2664
 E-mail:
 ernst.wirth@chhos.mail.abb.com

Jean-François Ravot
 ABB Sécheron SA
 Case postale 2095
 CH-1211 Genève 2
 Téléfax; +41 (0) 22 306 2026
 E-mail:
 jean-françois.ravot@chsec.mail.abb.com