



**Georges THOMASSET**

**Diplômé ingénieur IEG en 1971.**

**Depuis, il a réalisé des études de conception de réseaux industriels complexes au sein de la Direction Technique dans la Société Merlin Gerin.**

**Après avoir dirigé le bureau d'études «distribution publique Moyenne Tension» et «hydraulique» Il est, depuis 1984, responsable du service technique de l'unité industrie du département de réalisations d'ensembles.**

**n°161**

**permutation  
automatique des  
alimentations  
dans les réseaux  
HT et BT**



# permutation automatique des alimentations dans les réseaux HT et BT

## sommaire

<b>1. Introduction</b>		p. 4
<b>2. Différents types de permutation</b>	Problèmes posés par les permutations et précautions à prendre.	p. 4
	Présence d'un défaut sur le réseau aval.	p. 4
	Les caractéristiques de la source de remplacement.	p. 4
	Elaboration des ordres de permutation.	p. 5
	L'absence de tension pendant la durée d'une permutation non synchrone.	p. 6
	Verrouillage mécanique des appareils de manœuvre entre eux en BT et HT.	p. 6
	Tenue diélectrique des appareils de manœuvre en HT.	p. 6
<b>3. Permutation synchrone</b>	Exemple n° 1.	p. 7
	Exemple n° 2.	p. 7
	Exemple n° 3.	p. 8
<b>4. Permutation à temps mort</b>	En basse tension.	p. 9
	Exemple.	p. 9
	En haute tension.	p. 10
	Exemple n° 1.	p. 10
	Exemple n° 2.	p. 10
<b>5. Permutation pseudo-synchrone</b>	Principe.	p. 12
	Domaine d'emploi.	p. 12
	Difficultés.	p. 12
	Permutation ultra-rapide avec contrôle du déphasage.	p. 13
<b>6. Tableau récapitulatif</b>		p. 15
<b>7. Conclusion</b>		p. 15
<b>Annexe : description sommaire d'un comparateur de phases</b>		p. 16

L'absence, même fugitive, d'alimentation électrique est de nos jours un handicap majeur pour les industries dont les fabrications ne tolèrent aucun arrêt, comme pour les IGH -immeubles de grande hauteur- dont les circuits de sécurité doivent toujours être opérationnels.

Aussi, la permutation des sources normales d'alimentation sur des sources de remplacement ou de secours s'avère être une fonction de plus en plus employée dans la distribution électrique, publique et privée.

Dans ce Cahier Technique, sont tout d'abord étudiées, les difficultés de mise en œuvre des dispositifs de permutation, ... et les solutions techniques à retenir. Ensuite sont présentés les différents types de permutation avec des exemples pratiques. Puis un tableau en fait la synthèse en rappelant leurs principaux domaines d'application.

# 1. introduction

Les dispositifs de permutation de sources sont installés afin d'assurer la continuité d'alimentation de certains récepteurs prioritaires, pour des raisons de sécurité de personnes ou de maintien d'un cycle de production par exemple. Leur mise en route est commandée soit par une défaillance de l'alimentation principale normalement en service, soit par un ordre volontaire. Ces dispositifs sont particulièrement employés :

■ pour l'alimentation :

- des ordinateurs,
- des immeubles de grande hauteur,
- des éclairages et systèmes de sécurité : balisage des aéroports, des locaux recevant du public, etc,
- des auxiliaires essentiels de centrales thermiques,

□ de chaînes complètes de fabrication dont le procédé ne tolère aucun arrêt temporaire d'un élément de la chaîne (sidérurgie, pétrochimie, etc.) ;

■ dans la distribution publique moyenne tension pour :

- les permutations des lignes et des transformateurs HT -Haute Tension-, dans les postes source,
- l'alimentation des postes HTA/BT -HT de niveau A ( $U \leq 50$  kV) / Basse Tension ( $U \leq 1$  kV)- en double dérivation.

Les matériels mis en œuvre pour réaliser les équipements de permutation sont très variés, par exemple dans les circuits de puissance, les appareils de manœuvre sont des contacteurs électromécaniques ou statiques, des disjoncteurs ou des interrupteurs,

et cela en basse comme en haute tension.

La commande de ces appareils peut être :

- manuelle : c'est le dispositif le plus élémentaire et économique. Il nécessite l'intervention d'un agent d'exploitation, la durée du passage de la source défaillante à la source de remplacement ou de sécurité peut être très longue (déplacement de l'agent).
- automatique : c'est le dispositif le plus rapide et... le plus employé.

Néanmoins le schéma de principe peut, dans la majeure partie des cas, se réduire à une alimentation normale, une alimentation de remplacement ou de sécurité et un jeu de barres, point commun aux deux alimentations à partir duquel les récepteurs sont alimentés.

# 2. différents types de permutation

Trois types principaux de permutation de sources sont habituellement employées :

■ synchrone

durée du transfert : nulle

(exemple : couplage de générateurs) ;

■ à temps mort

durée du transfert : 0,2 à 30 s

(exemple : fonction normal / secours en BT) ;

■ pseudo-synchrone

durée du transfert : 100 à 300 ms

(exemple : reprise au vol des moteurs asynchrones).

Toute permutation doit être précédée d'un certain nombre de conditions satisfaites dont certaines imposent des précautions particulières.

## problèmes posés par les permutations et précautions à prendre

Pour réaliser une installation comportant une permutation de sources répondant bien aux impératifs de continuité de service de ses utilisateurs, plusieurs points nécessitant des précautions particulières sont à étudier lors du projet :

■ la présence d'un défaut sur le réseau aval,

■ les caractéristiques de la source de remplacement,

■ l'élaboration des ordres de permutation,

■ l'absence de tension pendant la durée d'une permutation (cas d'une permutation non synchrone),

■ le verrouillage mécanique des appareils de manœuvre entre eux, en BT et en HT,

■ la tenue diélectrique des appareils de manœuvre (en HT).

## présence d'un défaut sur le réseau aval

Lorsque la rupture de l'alimentation normale a été provoquée par un défaut situé en aval du permutateur, il est recommandé de ne pas permuter les sources d'alimentation. Dans ce cas il faut bloquer, par un ordre venant du système de protection du réseau aval, le circuit de commande du dispositif de permutation.

## les caractéristiques de la source de remplacement

La puissance nominale, la puissance de court-circuit, les impédances de liaison et le régime du neutre de la source de remplacement, peuvent être très différents de la source principale. Ainsi par exemple la source principale peut être un transformateur de 800 kVA, 380 V, 50 Hz,  $I_{cc} = 20$  kA alors que la source de remplacement

est un groupe électrogène de 200 kVA,  $I_{cc} = 1$  kA en régime transitoire.

Les protections contre les défauts entre phases et phase-terre du réseau secouru peuvent donc, dans certaines conditions, ne plus fonctionner lorsque ce dernier est alimenté par la source de remplacement (ou de sécurité).

Le choix et le réglage des protections doivent faire l'objet d'une étude approfondie afin de trouver un système de protection compatible avec les caractéristiques électriques et les modes d'exploitation et de maintenance des deux sources d'alimentation. Deux cas sont notamment à souligner : la « reprise au vol » de plusieurs moteurs et la réalimentation de plusieurs transformateurs-abaisseurs chargés :

■ le réseau de consommation comprend plusieurs moteurs. Lorsque la puissance de la source de remplacement est faible, après la permutation de la source principale sur la source de remplacement, il est nécessaire de limiter le courant d'appel et de service permanent. Pour cela, il faut procéder :

- à un délestage d'une partie des charges ;
- à un redémarrage échelonné des moteurs devant rester en service s'il y a eu une interruption.

Sans ces artifices et compte tenu de la faible puissance de la source de remplacement, les chutes de tension seraient prohibitives et les moteurs ne pourraient pas réaccélérer (couple moteur inférieur au couple mécanique résistant).

■ mise sous tension de plusieurs transformateurs-abaisseurs du réseau de distribution.

Lorsque la permutation est réalisée au niveau HT, il faut prendre en compte les courants d'enclenchement des transformateurs HT/BT qui sont de l'ordre de 10 à 15 fois leur courant nominal. En effet, si la source de remplacement est un groupe électrogène BT, son alternateur ne peut pas fournir des courants aussi élevés à la tension nominale et se comporte comme s'il alimentait un court-circuit. La tension qu'il délivre est alors très faible pendant les premiers instants de la permutation, ce qui ne facilite pas la reprise des moteurs. Aussi est-il préférable de déclencher avant la permutation tous les transformateurs-abaisseurs du côté HT, puis de les remettre successivement sous tension.

## élaboration des ordres de permutation

Les ordres de permutation ont pour origine des contrôles de tension :

- absence de tension sur l'alimentation normale (ou principale) pour commander, si la source de remplacement est un groupe électrogène, le démarrage de son moteur ;
- présence de tension stabilisée en sortie de la source de remplacement, pour commander le passage sur la source de remplacement ;
- présence de tension sur l'alimentation normale, pour revenir en position normale.

### Les ordres de permutation

■ pour le passage de la source principale à la source de remplacement.

Une absence ou baisse de tension de l'alimentation principale peut être :

- permanente, suite à :
  - un déclenchement de l'appareil de protection amont,
  - une surcharge importante du réseau provoquant une chute de tension élevée, - etc.
- mais aussi fugitive, due à :
  - un fonctionnement des automatismes de réenclenchement rapide ou lent des lignes aériennes du distributeur,
  - un court-circuit entre phases éliminé normalement par les dispositifs de protection, - etc.

L'action du détecteur de manque de tension de la source principale sera donc généralement retardée afin de ne pas permuter les sources sur absence ou sur baisse fugitive de tension.

De plus, si la source de remplacement est constituée par un groupe électrogène dont l'ordre de démarrage est donné par l'absence de tension de la source principale, il faut attendre la stabilisation de la tension du groupe avant de donner un ordre de permutation (quelques secondes).

■ pour le passage de la source de remplacement à la source principale.

Le retour de la tension de la source principale peut être précédé par des tentatives de renvoi de tension sur la ligne principale nécessaires pour :

- localiser un défaut,
- réaliser un bouclage de source suite à un incident,

effectuer des essais après une réparation ou modification de la ligne principale.

L'action du détecteur de présence de retour de tension de la source principale sera donc largement temporisée (quelques dizaines de secondes à plusieurs minutes).

Nota :

- a) les dispositifs permettant de passer de la source principale à la source de remplacement, sans retour à la source principale après réapparition de cette dernière, sont appelés couramment permuteurs ;
- b) les dispositifs avec retour automatique à la source principale sont appelés : inverseurs normal-secours.

### Les difficultés de détection de l'absence de tension de l'alimentation normale

■ maintien de la tension du réseau de distribution en l'absence de la source d'alimentation.

Alors que la source d'alimentation a disparu, la tension du réseau de distribution peut être entretenue par :

- la tension résiduelle restituée par les moteurs asynchrones en cours de ralentissement pendant une durée approximative de 0,3 à 1 s environ,
- la tension induite aux bornes des moteurs synchrones en cours de ralentissement,
- la tension due à la décharge des condensateurs éventuels branchés sur ce réseau.

Ce maintien de tension ne permet pas, pour une permutation rapide des sources, de détecter rapidement l'absence effective de la tension de la source principale par des dispositifs conventionnels simples tels que relais voltétrique à seuil.

■ absences de tension fugitives pour lesquelles le dispositif de permutation ne doit pas être sollicité.

De telles absences ont pour origines les automatismes de réseau tels que réenclencheurs rapides et/ou lents, les permutations de transformateurs ou des lignes HT dans les postes de transformation HT, etc.

Il en est de même pour les baisses de tension du réseau dues à des chutes de tension excessives provoquées par les surintensités fugitives (défaut entre phases ou phase-terre éliminé par les protections sélectives du réseau, les démarrages de gros moteurs, etc.).

■ choix et câblage des détecteurs avec :

□ un seul relais monophasé

Généralement un seul relais monophasé de détection est branché entre deux phases de l'arrivée normale. Dans ce cas, une absence de la troisième phase peut se produire sans être «vue» par le relais, alors il n'y a pas permutation et l'alimentation des récepteurs reste défectueuse.

Pour que ce système soit satisfaisant il ne faut pas que l'alimentation triphasée puisse fonctionner intempestivement avec ces deux seules phases, d'où l'emploi de protections telles que disjoncteurs tripolaires ou fusibles avec contact auxiliaire de fusion délivrant un ordre de coupure omnipolaire.

Sinon, pour pallier cet inconvénient il est nécessaire de mettre en place soit deux relais branchés entre des phases différentes soit trois relais branchés en triangle.

□ trois relais monophasés

Ce dernier montage (de trois relais branchés en triangle) peut cependant présenter un aléa lorsque les relais ont leur seuil réglé entre 20 et 30 % de la tension normale. En effet, lorsqu'il y a une rupture d'une seule phase, les deux relais ayant une borne branchée sur cette phase se trouvent en série et sont alimentés par les deux autres phases saines. La tension aux bornes de ces deux relais est égale à la moitié de leur tension nominale, tension supérieure à la valeur de réglage (0,2 Un). Aucun ordre de permutation n'est alors délivré. C'est pourquoi il est préférable d'utiliser trois relais montés en étoile ou trois relais branchés en triangle mais réglés à 60 % de Un ou mieux encore, un relais triphasé de tension à champ tournant.

□ un seul relais voltométrique triphasé

Un tel relais ne permet pas, si le réseau de consommation comporte des moteurs triphasés asynchrones, la détection d'une rupture d'une phase d'alimentation, au niveau d'un jeu de barres. Car ces moteurs restituent, au niveau du jeu de barres, la tension de la phase coupée. Il est alors nécessaire de brancher un relais ampèremétrique, triphasé à champ tournant sur l'arrivée normale.

■ montage des détecteurs

Les relais instantanés électromagnétiques sont souvent sensibles aux chocs qui font rebondir leurs contacts... et ainsi font délivrer

des ordres de permutation erronés. Ces cas se rencontrent notamment lors d'un montage sur porte, l'installation doit être alors soignée afin d'éliminer toutes les vibrations qui seraient susceptibles de perturber l'équipement.

### **l'absence de tension pendant la durée d'une permutation non synchrone**

Cette absence de tension, bien que fugitive, est généralement suffisante pour faire retomber tous les contacteurs dont les bobines sont alimentées par le circuit de puissance.

Le dispositif de permutation automatique peut perdre beaucoup de son efficacité puisque les récepteurs commandés par ces contacteurs alors ouverts ne sont plus alimentés. Par contre il autorise une reprise manuelle échelonnée des moteurs par action sur les boutons-poussoirs, «marche».

Pour éviter cette reprise manuelle, il est préférable d'alimenter les bobines des contacteurs par une source auxiliaire sûre (batterie ou groupe tournant avec un volant d'inertie), ou d'utiliser un relais temporisé à la retombée, ou encore à partir du circuit de puissance par l'intermédiaire d'un redresseur et d'un condensateur branché en parallèle avec la bobine. Dans ce cas l'énergie nécessaire au maintien du contacteur en position fermée est fournie par le condensateur pendant la brève absence de tension. Mais afin que la valeur de la capacité du condensateur «réservoir» ne soit pas excessive, la durée du manque de tension doit être assez courte (quelques centaines de millisecondes) et la consommation de la bobine faible.

A noter que la mise en œuvre de ces solutions impose que la source de remplacement puisse reprendre l'ensemble des récepteurs et en particulier tous les moteurs en phase de redémarrage.

Remarque : à l'ouverture du circuit de commande d'une bobine, des tensions importantes induites aux bornes de la bobine prennent naissance, le redresseur et le condensateur doivent tenir ces tensions.

### **verrouillage mécanique des appareils de manœuvre entre eux en BT et HT.**

Hormis les dispositifs de permutation synchrone pour lesquels les deux appareils de manœuvre (source principale et de remplacement) peuvent être simultanément fermés, un verrouillage mécanique des appareils entre eux, et des asservissements électriques interdisant l'alimentation simultanée des circuits de commande des deux appareils sont recommandés dans toutes les installations et sont généralement exigés par les distributeurs d'énergie.

### **tenue diélectrique des appareils de manœuvre en HT.**

La tenue diélectrique de l'appareil de manœuvre de la source de remplacement employé dans ces systèmes de permutations synchrones et pseudo-synchrones, doit être particulièrement adaptée. En effet, pendant la durée de l'attente des conditions de couplage, les pôles de ces appareils peuvent être soumis, entre entrée et sortie, à deux fois la tension simple du réseau (tension des deux sources à coupler en opposition de phase).

### 3. permutation synchrone

La source principale et la source de remplacement ont la possibilité de devenir synchrones, à savoir que :

- leurs vecteurs tensions sont en phases,
- et leurs pulsations et amplitudes sont identiques.

Cette permutation offre de très grandes possibilités dans la mesure où le changement de source est réalisé **avant le manque de tension** de la source en service, en particulier les récepteurs ne sont soumis à aucune rupture d'alimentation.

Les exemples ci-après illustrent ce type de permutation.

#### exemple n° 1 (cf. fig. 1)

##### Exploitation d'un poste d'interconnexion THT/HT à double jeux de barres.

Les 2 jeux de barres sont alimentés par les lignes de transport THT du réseau d'interconnexion, le disjoncteur de couplage est ouvert, les deux jeux de barres sont synchrones. Les départs lignes et transformateurs sont raccordés sur l'un ou l'autre des jeux de barres **A** ou **B**. Pour changer l'alimentation d'un départ (changement de jeu de barres), à supposer qu'il soit présentement alimenté à partir de **A**, il suffit de :

- ① ■ fermer le disjoncteur de couplage sans vérifier les conditions de couplage car les 2 jeux de barres sont synchrones ;
  - ②b ■ fermer le 2<sup>e</sup> sectionneur d'aiguillage du départ considéré ;
  - ②a ■ ouvrir le premier sectionneur d'aiguillage ;
  - ① ■ ouvrir le disjoncteur de couplage .
- Le départ est alors alimenté par l'autre jeu de barres **B**.

Nota : pendant la durée de la permutation, toutes les arrivées débitent en parallèle sur les deux jeux de barres couplés ; la puissance de court-circuit est alors élevée et les caractéristiques électriques du matériel doivent être suffisantes pour satisfaire à ce mode d'exploitation si la probabilité de défaut pendant ces manœuvres est importante.

#### exemple n° 2

##### Substitution d'un générateur en service par un élément de réserve dans une centrale autonome de production d'énergie électrique constituée de groupes électrogènes.

Ces groupes générateurs nécessitent des entretiens périodiques fréquents ; la centrale est exploitée avec  $n - 1$  groupes, le nième étant en réserve ou en cours d'entretien.

La substitution d'un groupe en service par le groupe en réserve est réalisée de la manière suivante : l'alternateur du groupe en réserve est amené à la vitesse de synchronisme et à la tension nominale ; l'ordre d'enclenchement du disjoncteur est délivré après vérification des conditions de couplage (égalité des pulsations et des modules des tensions, déphasage nul).

Dans le but d'obtenir ces égalités au moment du couplage et de les maintenir après le couplage, l'alternateur et le moteur thermique sont équipés respectivement d'un régulateur de tension et de vitesse.

Les conditions de couplage sont obtenues :

- soit par l'intervention d'un agent d'exploitation donnant les

indications du voltmètre, et du fréquencemètre différentiels, et du synchroscope, les ordres de  $\pm$  vite au régulateur de vitesse, les ordres de  $\pm$  excitation au régulateur de tension et l'ordre d'enclenchement au disjoncteur, lorsque les conditions de couplage sont satisfaites.

Dans ce cas il est possible d'utiliser un automate appelé coupleur. Cet automate est chargé de la vérification des conditions de couplage et de donner l'ordre d'enclenchement, les actions sur les régulateurs étant toujours manuelles.

- soit avec un synchrocoupleur qui est un automate spécialisé associé à un régulateur de tension. Il délivre les ordres  $\pm$  vite pour le moteur et l'ordre d'enclenchement du disjoncteur de couplage, le régulateur délivrant les ordres  $\pm$  excitation pour l'alternateur. Le couplage est alors entièrement automatique.

Après couplage, le groupe à mettre hors service est déchargé (action sur le régulateur de vitesse) et découplé du réseau par ouverture de son disjoncteur de couplage. La substitution est ainsi réalisée sans perturber le réseau de distribution et sans perte de charge.

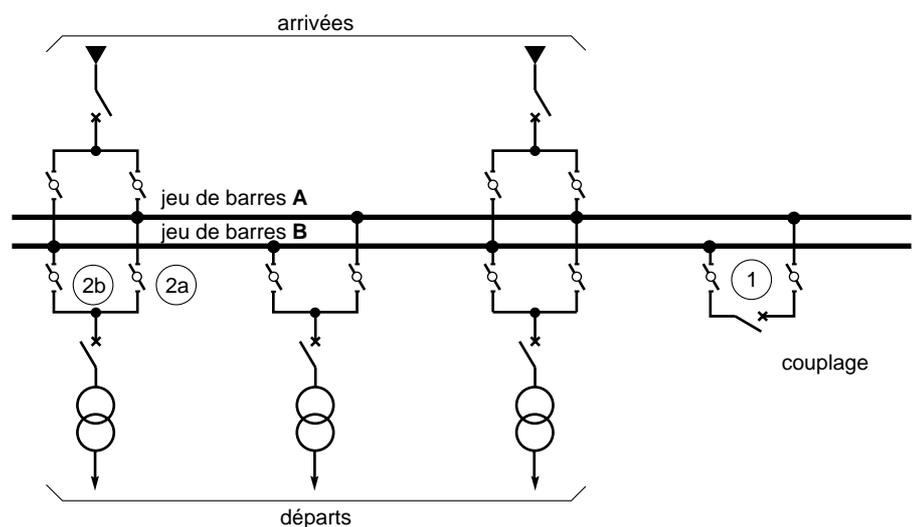


fig. 1: schéma d'un poste d'interconnexion THT/HT à double jeux de barres.

### exemple n° 3 (cf. fig. 2)

#### Permutation automatique sans coupure d'une ASI -Alimentation Sans Interruption- sur le réseau public (ou secteur) à l'aide d'un CS -contacteur statique- .

Ce besoin est très fréquent : alimentation des ordinateurs, centre de gestion informatique, mesure, régulation, etc.

Le CS est un dispositif qui permet d'utiliser le secteur en secours de l'onduleur. Il est remarquable par le fait qu'aucun manque de tension, même transitoire, n'apparaît à la disparition (accidentelle ou provoquée) de la tension onduleur.

Pour obtenir ce résultat, l'onduleur maintient sa tension en permanence en phase avec celle du secteur. Cependant, la permutation n'est possible que si le niveau de la tension du secteur est correcte.

Les séquences de fonctionnement sont les suivantes :

- l'onduleur, réglé en tension, asservi à la fréquence et en phase avec le secteur, alimente l'utilisation. Le CS est ouvert, le secteur ne débite pas.
- le passage onduleur-secteur se produit :

sur arrêt onduleur consécutif :

- soit à un défaut interne,
- soit à un ordre volontaire ;

sur détection de surcharge côté utilisation.

L'ordre de permutation ferme toujours instantanément le contacteur statique. Dans le dernier cas (de surcharge) les deux sources fonctionnent un court instant en parallèle et ensuite l'onduleur se découple.

- le passage secteur-onduleur est commandé par un ordre volontaire.

Après démarrage de l'onduleur, le déroulement automatique du cycle est le suivant :

synchronisation de l'onduleur sur le secteur,

mise en parallèle du secteur et de l'onduleur,

ouverture du contacteur statique,

l'onduleur est alors synchronisé en permanence sur le secteur et alimente seul l'utilisation.

#### Intérêt du contacteur statique

Le CS alternatif permet d'obtenir :

- une tension permanente sur l'utilisation, comparable sur le plan fiabilité à la solution comportant deux onduleurs en parallèle avec l'un en secours de l'autre, à un prix moindre.

- en cas de surcharge côté utilisation, un dispositif ultra-rapide commande le

contacteur statique connectant le secteur en parallèle sur l'onduleur.

Cette disposition permet de profiter de la puissance de court-circuit du secteur pour éliminer les défauts «aval» sans prendre de précautions particulières, hormis les règles générales de sélectivité.

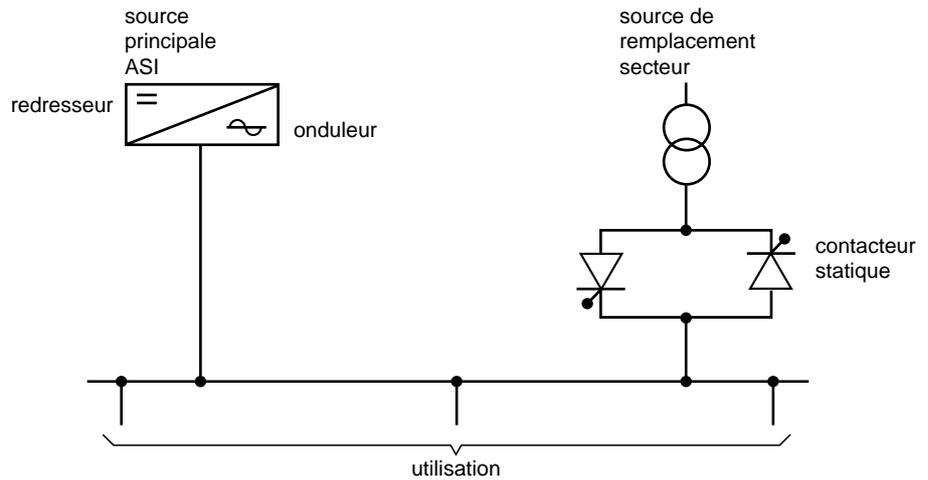


fig. 2 : schéma d'un circuit alimenté par deux sources avec permutation automatique sans coupure à l'aide d'un contacteur statique.

## 4. Permutation à temps mort

Ce type de permutation de sources est le plus répandu, tant en BT qu'en HT. Son domaine d'emploi s'étend de l'industrie au tertiaire. Les durées de permutation varient généralement de 0,5 à 30 secondes, ce qui n'exclut pas des valeurs plus faibles pour des cas particuliers.

### en basse tension

Les dispositifs doivent être très simples, les agents électriciens chargés de l'exploitation des réseaux BT étant généralement très peu spécialisés.

#### Appareillage

Le type d'appareil de manœuvre retenu dépend de la fréquence des permutations :

- nombre important de permutations : contacteur,
- nombre réduit de permutations (une par semaine) : disjoncteur.

#### Circuit de commande

Les circuits de commande des appareils de manœuvre sont alimentés, soit par une source auxiliaire secourue (batterie par exemple), soit directement par le circuit de puissance de l'appareil à commander.

#### Alimentation

Généralement la source principale d'alimentation est le réseau de distribution publique Basse Tension (ou secteur) ou un réseau Basse Tension privé issu d'un transformateur HT/BT alimenté côté HT par le réseau de distribution publique.

La source de remplacement peut être :

- un deuxième réseau BT indépendant du premier,
- un groupe électrogène à temps zéro pour une reprise rapide de service,
- un groupe électrogène à démarrage manuel ou automatique sur manque de tension à la source principale,
- une ASI,
- etc.

Ces différentes sources de remplacement, dans la plupart des cas de puissance beaucoup plus faible que la source principale, ont une autonomie limitée. Lorsque le réseau secouru est

alimenté par la source de remplacement, il est donc souvent judicieux voire impératif de délester une partie des charges et de ne réaccélérer que les moteurs ultra-prioritaires (cf. chapitre 2).

### exemple

#### Schéma

Le schéma le plus courant de permutation de source Basse Tension avec délestage automatique est présenté dans la figure 3.

#### Principe de fonctionnement

Les deux sources ne sont pas couplables, les disjoncteurs  $J_n$  et  $J_r$  sont verrouillés mécaniquement : leur commande électrique est asservie de telle manière qu'un ordre simultané d'enclenchement aux deux disjoncteurs n'en sollicite qu'un seul.

Un commutateur à trois positions commande le dispositif :  
position 1 = arrêt,  
position 2 = automatique,  
position 3 = enclenchement volontaire de la source de remplacement et déclenchement du disjoncteur de couplage.

- position 1 = arrêt

Tous les circuits de commande sont hors tension, tous les disjoncteurs sont ouverts.

- position 2 = automatique

□ la tension du réseau normal est présente, le disjoncteur correspondant et celui du couplage sont fermés ;

□ pour une absence de tension supérieure à 0,4 seconde (jusqu'à 10 s) l'automate de permutation délivre les ordres de déclenchement aux disjoncteurs normal et de couplage, et un ordre de démarrage au groupe électrogène ;

□ après réception d'une information «tension groupe correcte», un ordre d'enclenchement du disjoncteur de la source de remplacement est donné par l'automate ;

□ au retour de la tension normale, et après une temporisation de 10 à 180 secondes :

- ouverture du disjoncteur  $J_r$ ,
- fermeture du disjoncteur  $J_n$ ,
- ordre d'arrêt du groupe,
- fermeture du disjoncteur  $J_c$ .

■ position 3 = enclenchement volontaire  
Elle permet le déclenchement volontaire du disjoncteur de couplage, le réseau secouru étant alimenté par la source de remplacement.

#### Un cas particulier : la réaccélération des moteurs BT

Il est souhaitable de prévoir un automate de reprise des moteurs, lorsque le réseau secouru alimente une forte proportion de moteurs qui

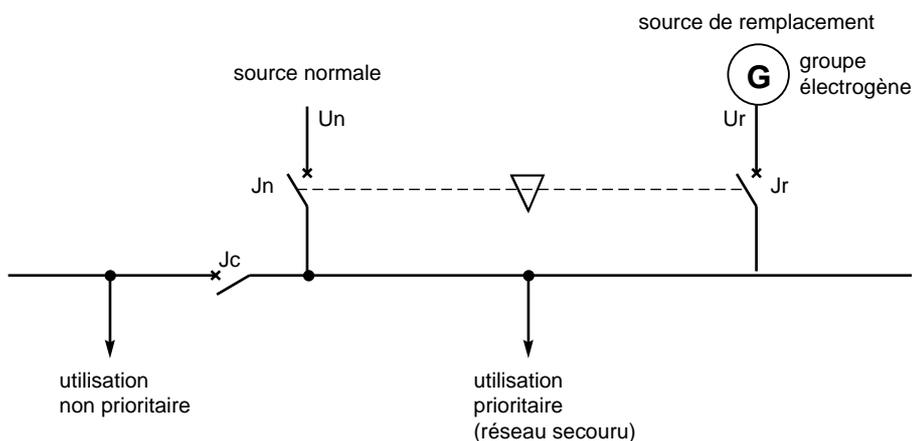


fig. 3

doivent réaccélérer le plus rapidement possible après la rupture de l'alimentation principale. Un tel besoin est fréquent, il est notamment imposé par le process, la sécurité du personnel ou des ouvrages. En effet, à la disparition de la source principale et sans artifice particulier, tous les contacteurs s'ouvrent. Au retour de l'alimentation aucun récepteur commandé par contacteur n'est alimenté.

Par contre, si les moteurs sont protégés et commandés par des disjoncteurs, ils redémarrent simultanément à l'apparition de la tension. Si les bobines des contacteurs des départs moteurs sont alimentées par le réseau alternatif, l'utilisation de relais temporisés à la retombée (cf. chap. 1) permet aussi de maintenir leur ordre de marche pendant l'absence de tension.

En général il n'y a pas à redouter, à la réapparition de l'alimentation, les tensions résiduelles des moteurs asynchrones en cours de ralentissement ; car, à cet instant ( $t = + 500$  ms), l'amplitude de ces dernières est inférieure à 20 % de  $U_n$ , valeur tolérée par les constructeurs pour une réalimentation en opposition de phase. Mais la protection générale (de surintensité) du réseau de distribution peut être sollicitée par la somme des courants de redémarrage des moteurs.

## en haute tension

Les permutations de sources réalisées au niveau haute tension mettent en jeu des puissances importantes ; elles doivent donc offrir des garanties encore supérieures quant à la sûreté de fonctionnement de l'ensemble du dispositif.

La permutation en HT est surtout utilisée lorsque des récepteurs prioritaires sont nombreux ou qu'ils ne sont pas alimentés par un sous-tableau de distribution.

Les ordres de commande des appareils de manœuvre sont élaborés par des automates électroniques standards.

Les deux exemples ci-après illustrent ce type de permutation.

## exemple n° 1

### dispositif «Normal-Secours»

Il comporte un appareil de manœuvre par arrivée et un automate de type RCV420 (cf. fig. 4).

#### Principe

L'automate pilote les opérations. Il a pour but de détecter l'absence de tension sur la source normale et de commander automatiquement la permutation de l'utilisation sur une source de remplacement lorsque deux conditions sont réunies :

- présence de tension de la source de remplacement,

- absence de défaut dans l'installation.

#### Fonctionnement

L'automate comporte deux entrées à haute impédance : l'une «Normal» reliée à un diviseur capacitif connecté entre une phase du réseau normal et la terre, et une «Secours» reliée de la même manière à une phase du réseau de remplacement ou de Secours.

L'absence de tension sur l'entrée «Normal» commande un temporisateur T1 (0,1 s à 1 s) qui, en fin de cycle, délivre un ordre fugitif d'ouverture à l'appareil de manœuvre du réseau normal et un ordre fugitif de fermeture à l'appareil de manœuvre de la source de remplacement (Secours).

S'il y a absence de tension sur la source de remplacement (Secours), le temporisateur T1 est verrouillé par l'entrée «Secours» et la permutation est bloquée.

A noter que l'automate RCV420 comporte une deuxième entrée «Secours», qui se présente comme une boucle dans laquelle le contact d'un relais de tension extérieur peut être inséré pour interdire la permutation lorsqu'il est ouvert. Si la tension revient sur le réseau «Normal», un deuxième temporisateur T2 (10 à 100 s) entre en action et, en fin de cycle, délivre un ordre fugitif d'ouverture à l'appareil de manœuvre du réseau «Secours» et de fermeture à l'appareil du réseau «Normal».

En ce qui concerne la détection d'un défaut affectant l'installation, elle doit être assurée par un appareil extérieur comportant un contact à fermeture qui, agissant sur l'entrée «défaut» de l'automate, empêche la permutation.

## exemple n° 2

### dispositif «double dérivation»

Ce dispositif est très largement employé en France pour l'alimentation en double dérivation des postes de transformation HT/BT raccordés directement sur le réseau de distribution publique HT . Il comprend :

- un appareil de manœuvre par arrivée (interrupteur HT),
- un automate électronique de type RVH (cf. fig. 5).

#### Principe

L'alimentation normale d'un ensemble double dérivation (cf. fig. 6) peut être assurée par l'une ou l'autre arrivée au choix ; le système est parfaitement réversible.

La détection de présence ou d'absence de tension est identique au dispositif Normal-Secours.

La détection des défauts phase-terre ou phase-phase sur le réseau d'utilisation est assurée par l'automate informé par des tores (trois tores par arrivée)

En fonctionnement normal toute permutation est assujettie à certaines conditions électriques et s'effectue à la suite de manœuvres réalisées manuellement ou automatiquement.

Le détail de ces manœuvres est donné ci-après.

- permutation manuelle  
L'exploitant provoque manuellement l'ouverture de l'interrupteur **A** puis la fermeture de l'interrupteur **B**, après avoir vérifié que les conditions suivantes sont réunies :

- absence de tension sur la dérivation **A**,
- présence de tension sur la dérivation **B**,
- absence de défaut dans le poste (réseau aval).

Les conditions pour un retour à l'alimentation normale sont :

- vérification de l'absence de défaut dans le poste,
- ouverture manuelle de l'interrupteur **B**,
- fermeture manuelle de l'interrupteur **A**.

- permutation automatique  
L'automate provoque l'ouverture de l'interrupteur **A** puis la fermeture de l'interrupteur **B** si les conditions suivantes sont réunies :
- absence de tension sur la dérivation **A**,

- présence de tension sur la dérivation **B**,
- absence de défaut dans le poste,
- maintien de ces informations pendant 5 ou 30 s consécutives. Cette durée de 30 s est principalement employée pour attendre la fin des cycles des réenclencheurs automatiques employés sur les réseaux de lignes aériennes.

Le retour de la tension sur la dérivation **A** ne provoque pas la permutation de la dérivation **B** vers **A** mais cette permutation peut être déclenchée manuellement par l'exploitant.

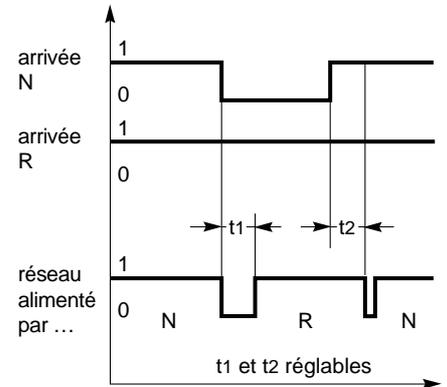
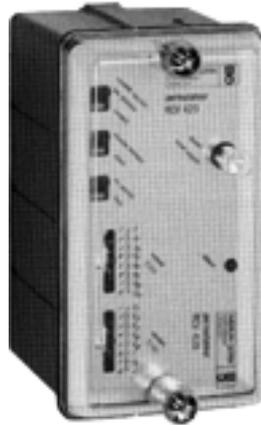


fig. 4 : Automate «Normal-Secours» RCV420 et sa séquence de fonctionnement (Merlin Gerin).

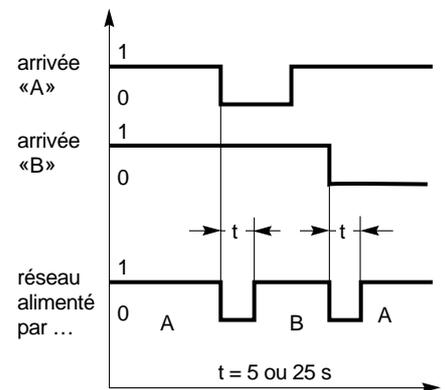


fig. 5 : Automate «Double-dérivation» RVH215 et sa séquence de fonctionnement (Merlin Gerin).

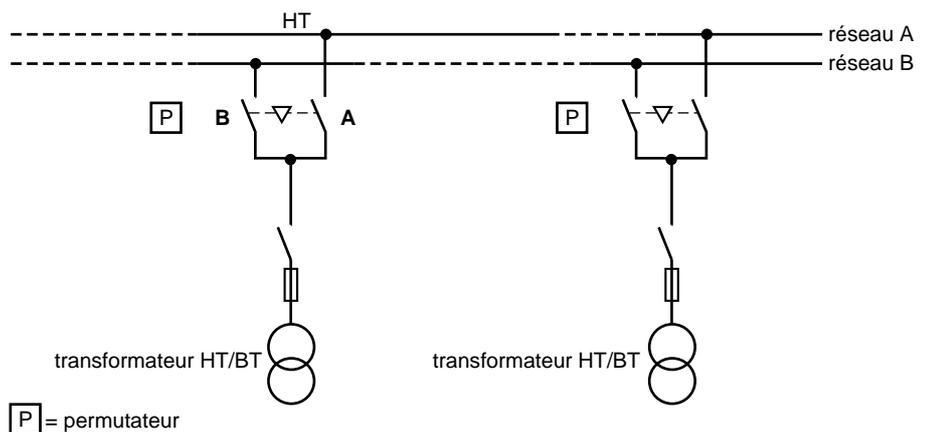


fig. 6 : schéma d'une distribution en double dérivation.

## 5. Permutation pseudo-synchrone

### principe

Les durées de ces permutations de sources sont de l'ordre de 150 ms.

Le schéma le plus couramment rencontré est celui décrit par la figure 7.

En exploitation normale, les deux demi-jeux de barres sont alimentés respectivement par les deux arrivées, le disjoncteur de couplage étant ouvert.

La défaillance de l'une des deux sources entraîne la mise en route du dispositif de permutation rapide qui, sous certaines conditions, délivre deux ordres :

- un de fermeture au disjoncteur de couplage,
- un d'ouverture au disjoncteur de la source défaillante.

Le demi-jeu de barres correspondant à la source en défaut est ainsi remis sous tension.

### domaine d'emploi

Le cas typique est celui d'une installation raccordée à deux sources HT et comprenant en grande partie des moteurs asynchrones. Ces derniers, compte tenu des impératifs des machines entraînées par les moteurs, ne doivent être affectés ni d'un arrêt momentané ni d'un ralentissement important pendant la période de transfert de la source principale vers la source de remplacement.

Cette application se rencontre particulièrement dans les usines chimiques et pétrolières, et plus généralement dans les industries dont les procédés de fabrication ne tolèrent aucun arrêt temporaire d'un élément de la chaîne ; mais aussi pour l'alimentation des auxiliaires des centrales thermiques.

### difficultés

La difficulté de ce type de permutation réside essentiellement dans le fait qu'un moteur asynchrone triphasé, restitué à ses bornes, au cours de son ralentissement lors d'une absence d'alimentation, une tension triphasée alternative à pulsation et amplitude décroissante induite par le flux résiduel du moteur.

L'amplitude maximale de cette tension résiduelle diminue d'une manière exponentielle en fonction du temps, avec une constante de temps qui dépend :

- de la puissance du moteur ;
- du régime des connexions statoriques :
  - stator ouvert, cas d'une rupture triphasée d'alimentation,
  - stator en court-circuit, cas d'un défaut triphasé sur l'alimentation.

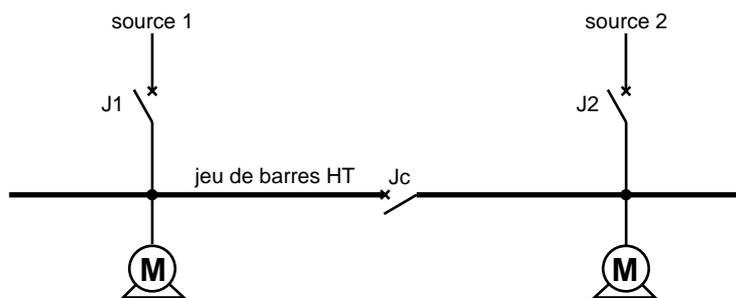
Par contre, la tension nominale d'alimentation du moteur ne modifie que très peu la valeur de la constante de temps.

Le tableau de la figure 8 donne les valeurs approximatives des constantes de temps de l'extinction du flux résiduel pour des moteurs asynchrones à cage moyenne.

Une réalimentation rapide des moteurs en cours de ralentissement, sans précaution particulière, peut conduire à un couplage en opposition de phase entre la source de remplacement et le réseau d'utilisation dont la tension est entretenue par les moteurs asynchrones.

Seuls les moteurs haute tension isolés à la résine EPOXY peuvent admettre une réalimentation en opposition de phase. Il faut cependant noter que dans ce cas le courant de pointe est égal à environ 3 fois le courant de démarrage du moteur, soit 15 à 20 In. Il en résulte que l'ensemble du réseau de distribution se trouve dangereusement perturbé :

- chute de tension et efforts électrodynamiques très importants et répétés ;



M : moteurs asynchrones

fig. 7

puissance du moteur	10 kW	100 kW	200 kW	400 kW	800 kW
constante de temps, stator en court-circuit	0,02 s	0,03 s	0,04 s	0,06 s	0,1 s
constante de temps, stator ouvert	0,3 s	0,4 s	0,6 s	1,1 s	1,5 s

fig. 8 : constantes de temps de l'extinction du flux résiduel pour des moteurs asynchrones à cage moyenne.

- déclenchement intempestif des disjoncteurs par protection contre les courts-circuits francs,
- etc.

Pour toutes ces raisons, il ne faut pas réalimenter d'une manière ultra rapide les moteurs sans comparaison du déphasage de la tension source avec la tension résiduelle. Par contre avec un dispositif comparant le déphasage des tensions il est possible de commuter d'une manière ultra-rapide les sources. La description sommaire d'un comparateur de phases est donnée en annexe.

### permutation ultra-rapide avec contrôle du déphasage

Les manœuvres possibles pour une permutation ultra-rapide sont indiquées par les trois diagrammes de la figure 9.

#### Séquence A :

L'ordre de permutation déclenche l'ouverture d'un disjoncteur séparateur J1 ou J2 ; en fin d'ouverture, le comparateur de phases est mis en service et délivre, lorsque les conditions de permutation sont favorables, un ordre d'enclenchement au disjoncteur de couplage Jc.

#### Séquence B :

L'ordre de permutation déclenche l'ouverture d'un disjoncteur séparateur

J1 ou J2 et la mise en service du comparateur de phases. Lorsque les conditions de permutation sont favorables, le comparateur de phases délivre un ordre d'enclenchement au disjoncteur de couplage Jc.

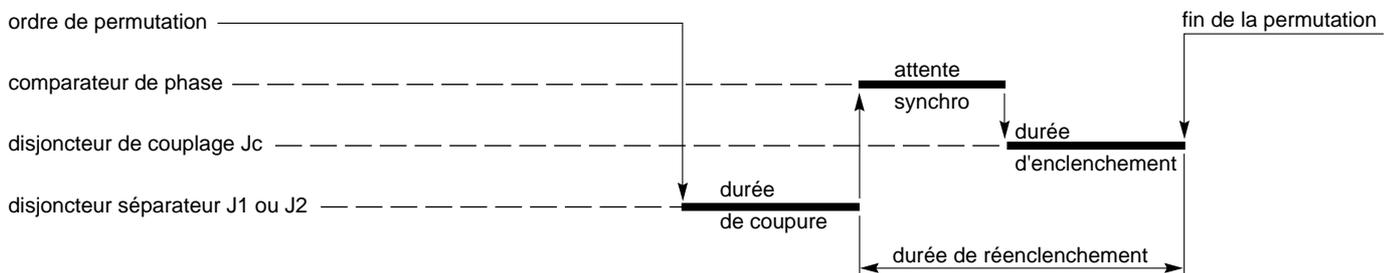
#### Séquence C :

L'ordre de permutation déclenche la mise en route du comparateur de phases. Lorsque les conditions de permutation sont favorables le comparateur délivre simultanément un ordre d'enclenchement au disjoncteur de couplage Jc et de déclenchement à un disjoncteur séparateur J1 ou J2.

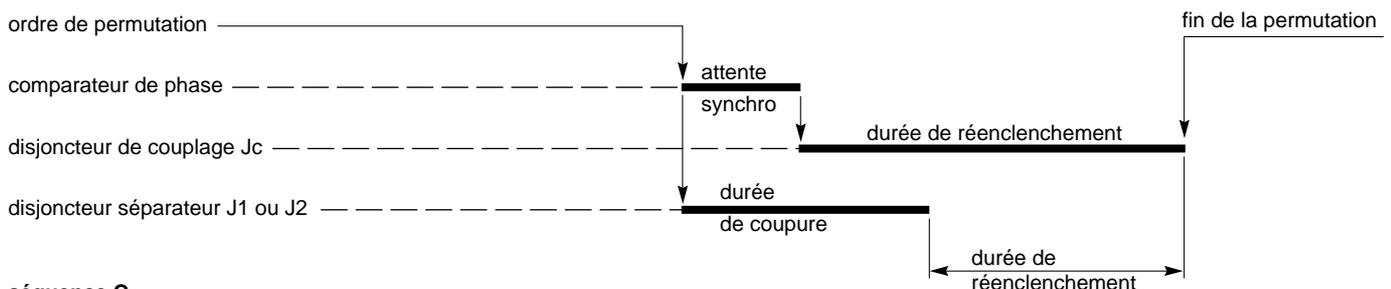
Remarques :

- La séquence C est généralement retenue car elle conduit à des durées de permutation les plus courtes.

#### séquence A



#### séquence B



#### séquence C

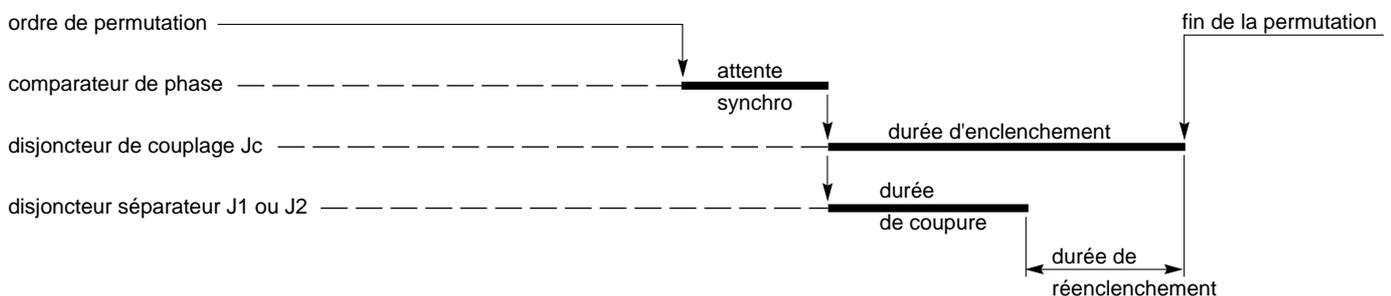


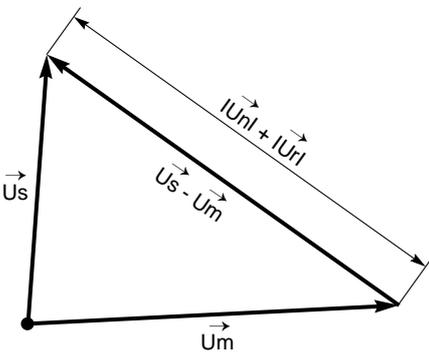
fig. 9

b) L'élaboration de l'ordre de permutation peut présenter certaines difficultés telles que :

- détection de l'absence réelle de tension de l'alimentation normale en présence de tension résiduelle ;
- rapidité du relayage ;
- etc ...

### Conditions auxquelles le réseau doit satisfaire pour réaliser un couplage rapide

La première condition qui doit être satisfaite au moment où le couplage est effectivement réalisé se traduit par l'inéquation :  $|\vec{U}_s - \vec{U}_m| < |\vec{U}_n| + |\vec{U}_r|$  (cf. fig. 10)



- $\vec{U}_s$  = tension de la source réalimentant les moteurs (source de remplacement).
- $\vec{U}_m$  = tension aux bornes des moteurs après séparation de leur première source (tension résiduelle).
- $\vec{U}_n$  = tension nominale du moteur.
- $\vec{U}_r$  = tension résiduelle du moteur admissible
- $|\vec{U}_s - \vec{U}_m| < |\vec{U}_n| + |\vec{U}_r|$

fig. 10 : grandeurs électriques et inéquation conditionnant la réussite d'un couplage rapide.

En général les moteurs peuvent supporter un couplage en opposition de phase, après séparation de leur première source, dans la mesure où la tension résiduelle à leurs bornes ne dépasse pas la valeur  $U_r$  égale à 25 %  $U_n$ .

Cette première condition, bien que nécessaire, n'est pas suffisante pour réussir une reprise rapide au vol des moteurs. En effet malgré un couplage contrôlé et satisfaisant cette inéquation, tous les moteurs ont une vitesse inférieure à leur vitesse nominale et

absorbent, par conséquent, une intensité supérieure à leur courant nominal.

Pour favoriser la réussite de la reprise des moteurs lors d'une permutation rapide, il faut donc que :

- la vitesse atteinte par les moteurs, à l'instant de la réalimentation, soit la plus élevée possible. Elle est fonction de :
  - la durée du manque d'alimentation,
  - l'inertie des masses tournantes,
  - du couple résistant pendant le ralentissement.
- la valeur de la chute de tension du réseau d'alimentation soit faible. Elle est fonction de :
  - l'impédance des canalisations électriques,
  - l'intensité absorbée par les moteurs,
  - du nombre de moteurs repris au vol.
- la valeur du couple moteur au cours de la reprise soit (nettement) supérieure au couple résistant.

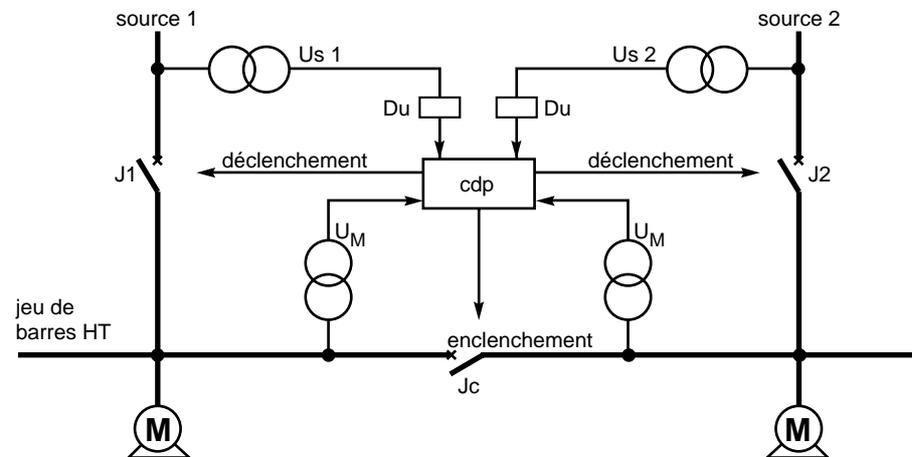
Le couple moteur est fonction de :

- la valeur nominale du couple du moteur à pleine tension,
- la forme du couple dans la plage de vitesse comprise entre la vitesse à laquelle la reprise est effectuée et la vitesse nominale,
- de la tension appliquée aux bornes du moteur.

A noter que si le glissement des moteurs est important à l'instant de la réalimentation, pendant toute la durée de la reprise l'intensité absorbée par les moteurs est constante et voisine, en première approximation, de l'intensité de démarrage (la courbe de l'intensité absorbée par un moteur asynchrone en fonction de la vitesse de rotation, est relativement plate).

### Schéma du dispositif de permutation rapide.

(cf. fig. 11)



- Du : détecteur de manque de tension
- cdp : comparateur de phases
- M : moteurs asynchrones

fig. 11

## 6. tableau récapitulatif

	type de permutation			
	synchrone	temps mort		pseudosynchrone
		BT	HT	
<b>exemples d'application</b>	- permutation de jeux de barres, - substitution d'un générateur par un autre, - permutation d'une ASI sur le secteur.	De l'industrie au tertiaire : - alimentation de pompes, - alimentation des circuits auxiliaires d'un poste de transformation, - alimentation des magasins à grande surface, - etc.	- alimentation à 2 arrivées HT permutables, - alimentation par une source normale et une source de remplacement.	- reprise au vol des moteurs asynchrones.
<b>durée de la permutation</b>	nulle	0,5 à 10 s	1 à 30 s	0,06 à 0,3 s
<b>dispositifs employés (exemples de matériels Merlin Gerin)</b>	- coupleur, - synchrocoupleur, - ensemble ASI avec contacteur statique (EPS 2000 et 5000).	- inverseur de source automatique à disjoncteur (appareils Compact et Masterpact).	- ensemble cellule avec permutateur (équipements VM6 DDM et NSM).	- disjoncteur HT rapide associé à un comparateur de phase.
<b>observations</b>	La permutation doit être réalisée avant l'absence totale de tension de la source principale.			Difficultés de l'élaboration de l'ordre de permutation (présence de tension résiduelle).

## 7. conclusion

Après avoir décrit les conditions de fonctionnement à satisfaire et les impératifs techniques à prendre en compte, la conclusion pratique suivante s'impose.

Avant de procéder au choix d'un dispositif de permutation, il est souhaitable et même nécessaire de connaître :

- la qualité des sources, principale et de remplacement :
  - amplitude, durée et périodicité des creux de tension,
  - durée, périodicité des absences de tension (présence ou non d'automatisme de reprise de service en amont tel que réenclencheur rapide et lent),
  - puissance disponible ;

- les exigences des récepteurs en matière de continuité d'alimentation :
  - aucune rupture d'alimentation tolérée,
  - absence de tension tolérée (de 0,3 s, 1 s, 30 s, etc).

## annexe : description sommaire d'un comparateur de phases

La mesure du déphasage des deux sources est réalisée par la soustraction des deux vecteurs de tension  $\vec{U}_s$  et  $\vec{U}_m$  soit :

$$\vec{U}_s - \vec{U}_m = \vec{U}$$

Avec

$$\vec{U}_s = U_s \cdot \sin \omega_1 t$$

(tension de la source de remplacement)

$$\vec{U}_m = U_m \cdot \sin \omega_2 t$$

(tension résiduelle)

Remarque : l'écriture

$$|U_s| = |U_m| = |U_a|$$

permet d'alléger les calculs.

En utilisant la formule trigonométrique

$$\sin \alpha - \sin \beta = 2 \cdot \cos \frac{\alpha + \beta}{2} \cdot \sin \frac{\alpha - \beta}{2}$$

il est possible d'écrire :

$$\vec{U}_s - \vec{U}_m$$

$$= 2 \cdot U_a \cdot \cos \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} t \cdot \sin \frac{\omega_1 - \omega_2}{2} t = \vec{U}$$

L'enveloppe de la tension de pulsation

$\frac{\omega_1 + \omega_2}{2}$  est affectée d'un battement

de pulsation  $\frac{\omega_1 - \omega_2}{2}$  qui traduit

l'évolution du déphasage dans le temps entre  $\vec{U}_s$  et  $\vec{U}_m$  (cf. fig. 12).

La tension  $\vec{U}_s - \vec{U}_m$  est redressée puis filtrée. Les valeurs instantanées de la tension de courbe enveloppe, ou tension de battement, ainsi obtenue permettent de déterminer le déphasage entre les deux tensions sinusoïdales à comparer : à la valeur instantanée minimale correspond un déphasage nul.

Lorsque la tension de courbe enveloppe descend au-dessous d'un seuil réglable, le comparateur délivre un ordre de permutation jusqu'à ce que la tension courbe enveloppe dépasse à nouveau la valeur du seuil.

Si la différence des deux fréquences est importante le comparateur interdit la permutation car, dans ce cas, les conditions d'une permutation ultra-rapide ne sont pas favorables.

Par contre si la tension résiduelle est inférieure à une valeur pré-réglée (de 0,20 à 0,60  $U_n$ , par exemple) la permutation est réalisée malgré un écart important des fréquences.

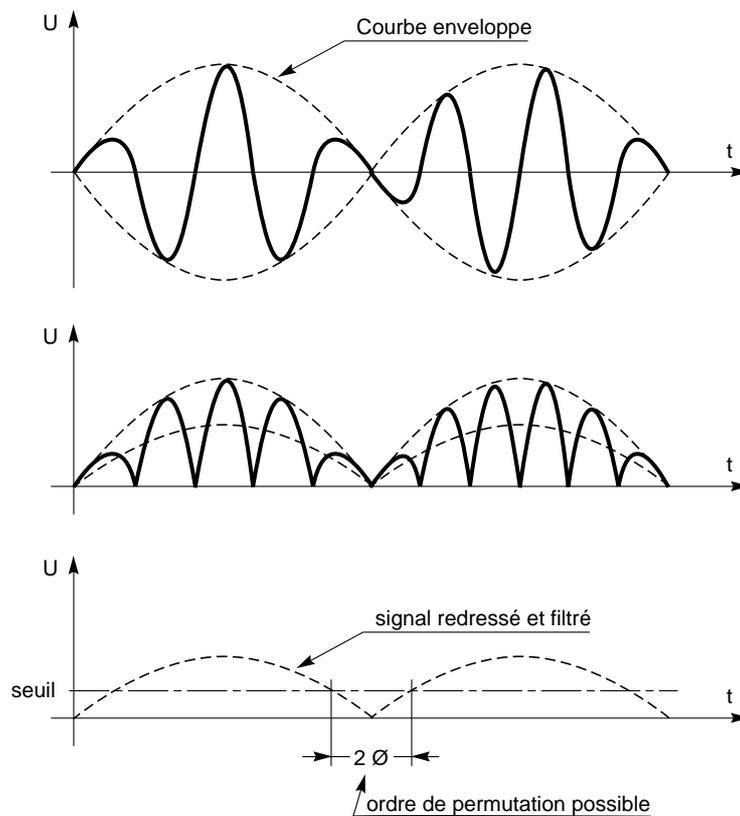


fig. 12