

**◀ Examen National de Fin de formation ▶**  
**Session de Juin 2024**

**Examen de Fin de Formation (Epreuve de Synthèse)**

|                  |  |                 |                              |
|------------------|--|-----------------|------------------------------|
| <b>Secteur :</b> | <b>Génie Electrique</b>                          | <b>Niveau :</b> | <b>Technicien Spécialisé</b> |
| <b>Filière :</b> | <b>Electromécanique des systèmes automatisés</b> |                 |                              |

|                 |          |                |             |               |             |
|-----------------|----------|----------------|-------------|---------------|-------------|
| <b>Variante</b> | <b>2</b> | <b>Durée :</b> | <b>4h00</b> | <b>Barème</b> | <b>/100</b> |
|-----------------|----------|----------------|-------------|---------------|-------------|

**Consignes et Précisions aux correcteurs :**

Veillez respecter impérativement les consignes suivantes :

- Le corrigé est élaboré à titre indicatif,
- Eviter de sanctionner doublement le stagiaire sur les questions liées,
- Pour toutes les questions de synthèse et de compréhension le correcteur s'attachera à évaluer la crédibilité et la pertinence de la réponse du stagiaire. Et à apprécier toute réponse cohérente du stagiaire,
- Le stagiaire n'est pas tenu de fournir des réponses aussi détaillées que celles mentionnées dans le corrigé,
- Pour les exercices de calcul :
  - Prendre en considération la méthode de calcul correcte (formule et relation de calcul correcte) même si le résultat final de calcul est faux
  - Le résultat final correct non justifié ne doit pas avoir la totalité de la note.
- En cas de suspicion d'erreur au niveau du corrigé, prière de contacter la Division de Conception des Examens.

**Détail du Barème :**

| N° Des Dossiers         | Travaux à réaliser                         | Barème            |
|-------------------------|--|-------------------|
| <b>Partie Théorique</b> |  |                   |
| <b>SUJET 1</b>          | Installation et réparation de moteurs à CA | <b>/13points</b>  |
| <b>SUJET 2</b>          | Commande électronique de moteurs à CA      | <b>/15points</b>  |
| <b>SUJET 3</b>          | Transmissions mécaniques                   | <b>/12points</b>  |
|                         |  | <b>/40points</b>  |
| <b>Partie Pratique</b>  |  |                   |
| <b>SUJET 4</b>          | Installation et réparation de moteurs à CA | <b>/20points</b>  |
| <b>SUJET 5</b>          | Circuits hydrauliques                      | <b>/20points</b>  |
| <b>SUJET 6</b>          | Automates programmables                    | <b>/20points</b>  |
|                         |  | <b>/60points</b>  |
| <b>Total Général</b>    |  | <b>/100points</b> |

**Partie théorique :**

**SUJET 1 :** ...../13

Sur la plaque signalétique d'un moteur triphasé équilibré on relève les indications suivantes :

**3 kW      230 V / 400 V      11 A / 6,4 A      1455 tr.min<sup>-1</sup>      cos φ = 0,8**

L'alimentation du moteur est assurée par le réseau **230 V/400 V**.

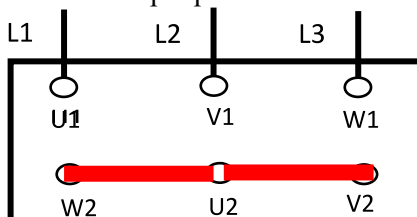
1- Quelle est la signification de ces différentes indications ? /3,5

| Indication                | Signification  |
|---------------------------|--|
| 3 kW                      | <b>Puissance utile nominale</b>                        |
| 230 V                     | <b>Tension nominale pour couplage triangle</b>         |
| 400 V                     | <b>Tension nominale pour couplage étoile</b>           |
| 11 A                      | <b>Courant nominal de ligne pour couplage triangle</b> |
| 6,4 A                     | <b>Courant nominal de ligne pour couplage étoile</b>   |
| 1455 tr.min <sup>-1</sup> | <b>Vitesse de rotation nominale</b>                    |
| 0,8                       | <b>Facteur de puissance nominale</b>                   |

2- Déterminer le couplage. Justifier votre réponse. /2

**Couplage étoile 1pt justification : deux enroulements supportent 400 V 1pt**

3- Représenter la position des barrettes sur la plaque à bornes. /1,5



4- Calculer la puissance absorbée **P<sub>a</sub>** par le moteur dans les conditions nominales de fonctionnement. /1

**Expression :0,75pt P<sub>a</sub> = U.L.√3.cos φ      A.N :0,25pt P<sub>a</sub> = 400 . 6,4 . √3. 0,8 = 3547,24 W**

5- Déterminer le moment du couple utile du moteur **T<sub>u</sub>**. /1

**Expression :0,75pt T<sub>un</sub> = (Pu.60) / (2πnr)      A.N :0,25pt T<sub>un</sub> = 19,69 Nm**

6- Sachant que les pertes fer et les pertes mécaniques sont négligeables ; calculer en fonctionnement nominale la puissance transmise **P<sub>tr</sub>**. /1

**Expression :0,5pt P<sub>tr</sub> = P<sub>u</sub> / (1-g)      Expression :0,25pt g =(ns-nr) / ns = 0,03 = 3%**

**A.N :0,25pt P<sub>tr</sub> = (3 . 1000) / (1 - 0.03) = 3092,78 W**

7- Calculer les pertes joules statoriques **P<sub>js</sub>**. /2

**Expression :1,5pt P<sub>js</sub> = P<sub>a</sub> - P<sub>tr</sub>      A.N :0,5pt P<sub>js</sub> = 3547,24 - 3092,78 = 454,46 W**

8- Déduire de la question 7 la valeur de la résistance **r** de chaque enroulement. /1

**Expression :0,75pt r = P<sub>js</sub>/(3I<sup>2</sup>)      A.N :0,25pt r = 454,46 / (3 . 6,4<sup>2</sup>) = 3,7 Ω**

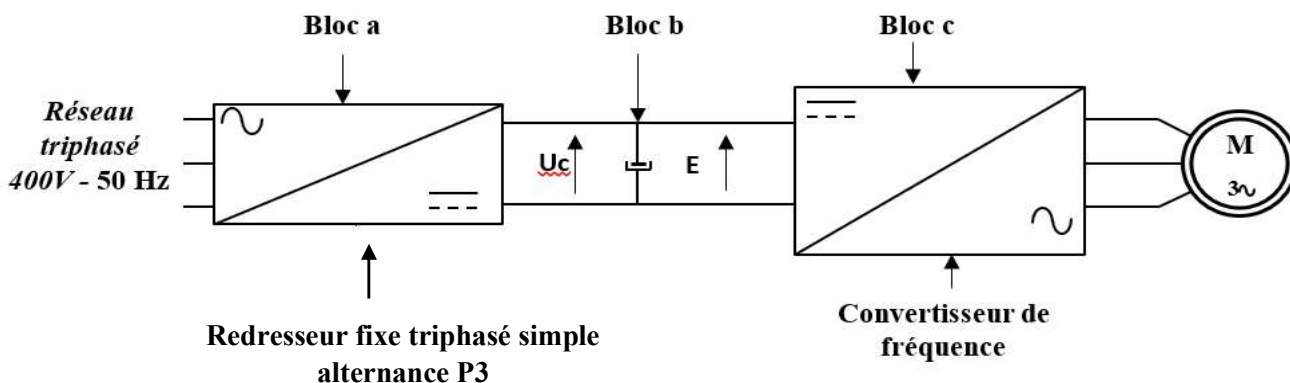
Pour faire varier la vitesse de rotation du moteur **M**, nous sommes amenés à choisir un variateur de vitesse.

| CHOIX DU VARIATEUR                    |                      |      |                               |      |                             |                              |   |             |       |
|---------------------------------------|----------------------|------|-------------------------------|------|-----------------------------|------------------------------|---|-------------|-------|
| Réseau                                |                      |      | Moteur                        |      | ALTIVAR 18                  |                              |   |             |       |
| Tension d'alimentation<br><br>U1...U2 | Courant de ligne (1) |      | Puissance indiquée sur plaque |      | Courant de sortie permanent | Courant Transitoire maxi (2) | Puissance dissipée à la charge nominale | Référence   | Masse |
|                                       | à U1                 | à U2 | kW                            | HP   |                             |                              |   |             |       |
| 200 ... 240<br>50/60 Hz<br>Monophasé  | 4,4                  | 3,9  | 0,37                          | 0,5  | 2,1                         | 3,1                          | 23                                      | ATV-18U09M2 | 1,5   |
|                                       | 7,6                  | 6,8  | 0,75                          | 1    | 3,6                         | 5,4                          | 39                                      | ATV-18U18M2 | 1,5   |
|                                       | 13,9                 | 12,4 | 1,5                           | 2    | 6,8                         | 10,2                         | 60                                      | ATV-18U29M2 | 2,1   |
|                                       | 19,4                 | 17,4 | 2,2                           | 3    | 9,6                         | 14,4                         | 78                                      | ATV-18U41M2 | 2,8   |
| 200 ... 230<br>50/60 Hz<br>Triphasé   | 16,2                 | 14,9 | 3                             | -    | 12,3                        | 18,5                         | 104                                     | ATV-18U54M2 | 3,3   |
|                                       | 20,4                 | 18,8 | 4                             | 5    | 16,4                        | 24,6                         | 141                                     | ATV-18U72M2 | 3,3   |
|                                       | 28,7                 | 26,5 | 5,5                           | 7,5  | 22                          | 33                           | 200                                     | ATV-18U90M2 | 7,8   |
|                                       | 38,4                 | 35,3 | 7,5                           | 10   | 28                          | 42                           | 264                                     | ATV-18D12M2 | 7,8   |
| 380 ... 460<br>50/60 Hz<br>Triphasé   | 2,9                  | 2,7  | 0,75                          | 1    | 2,1                         | 3,2                          | 24                                      | ATV-18U18N4 | 2     |
|                                       | 5,1                  | 4,8  | 1,5                           | 2    | 3,7                         | 5,6                          | 34                                      | ATV-18U29N4 | 2,1   |
|                                       | 6,8                  | 6,3  | 2,2                           | 3    | 5,3                         | 8                            | 49                                      | ATV-18U41N4 | 3,1   |
|                                       | 9,8                  | 8,4  | 3                             | -    | 7,1                         | 10,7                         | 69                                      | ATV-18U54N4 | 3,3   |
|                                       | 12,5                 | 10,9 | 4                             | 5    | 9,2                         | 13,8                         | 94                                      | ATV-18U72N4 | 3,3   |
|                                       | 16,9                 | 15,3 | 5,5                           | 7,5  | 11,8                        | 17,7                         | 135                                     | ATV-18U90N4 | 8     |
|                                       | 21,5                 | 19,4 | 7,5                           | 10   | 16                          | 24                           | 175                                     | ATV-18D12N4 | 8     |
|                                       | 31,8                 | 28,7 | 11                            | 15   | 22                          | 33                           | 261                                     | ATV-18D16N4 | 12    |
| 42,9                                  | 38,6                 | 15   | 20                            | 29,3 | 44                          | 342                          | ATV-18D23N4                             | 12          |       |

1- Choisir la référence du variateur de vitesse compatible avec le moteur **M**, d'après le tableau ci-dessous ; Sachant que le moteur **M** est alimenté par un réseau triphasé de **400 V** et sa puissance est égale à **3 kW**. /2

• Référence variateur de vitesse : **ATV-18U54N4**

La figure ci-dessous représente le schéma fonctionnel simplifié d'un variateur de vitesse pour moteur asynchrone triphasé.

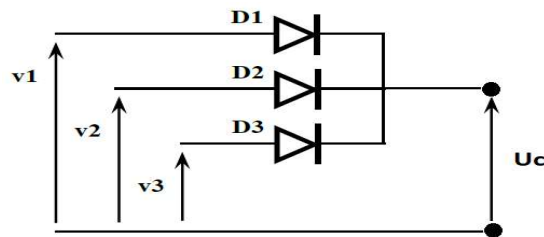


2- Préciser les fonctions des blocs *a*, *b* et *c* du schéma fonctionnel simplifié d'un variateur de vitesse pour un moteur asynchrone triphasé. /1,5

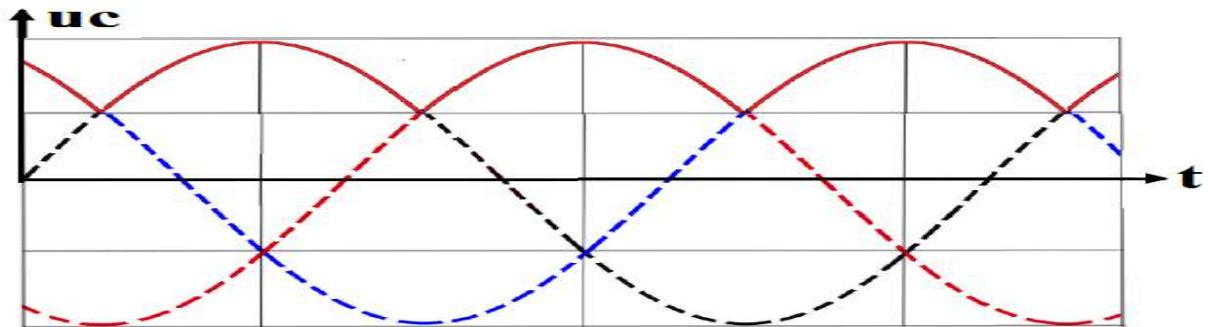
**3 x 0,5pt**

| Bloc | Fonction   |
|------|--|
| a)   | <b>Il convertit la tension alternative en une tension continue (redressée)</b>   |
| b)   | <b>Il permet de filtrer la tension redressée (stockage d'énergie électrique)</b> |
| c)   | <b>Il convertit la tension continue en une tension alternative</b>               |

3- Sachant que le **bloc a** est un **redresseur fixe triphasé simple alternance P3 (3 diodes-cathode commune)** ; Compléter son schéma de montage. /1,5



4- Représenter, en fonction du temps, pour une période *T*, le **graphe** de la tension *uc(t)*. /3



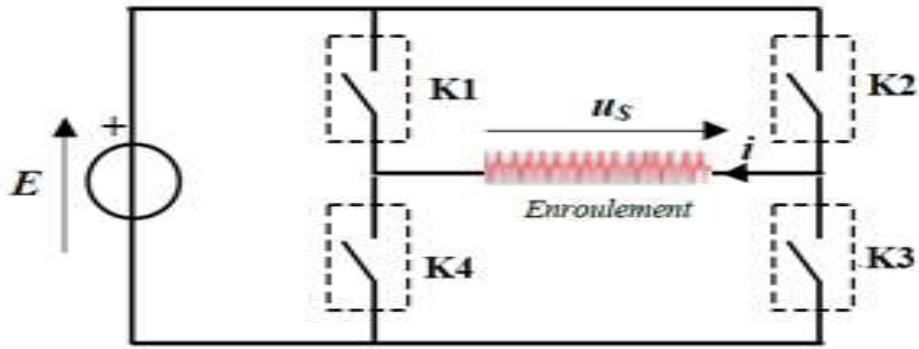
5- Déterminer la fréquence *f'* de la tension *uc(t)*. /1

**Expression : 0,75pt**  $f' = 3 \cdot f$

**A.N : 0,25pt**  $f' = 150 \text{ Hz}$

- La tension du réseau ainsi redressée est ensuite filtrée pour devenir quasiment continue de valeur *E* à l'entrée de l'onduleur (**bloc c**).
- Le convertisseur de fréquence est un onduleur autonome triphasé. Dans cette partie, on s'intéressera à l'étude de l'alimentation d'un enroulement du moteur dont le schéma de montage est représenté par la figure ci-contre :
  - Les interrupteurs **K1**, **K2**, **K3** et **K4** sont supposés parfaits.
  - La commande des interrupteurs **K1**, **K2**, **K3** et **K4** est effectuée électroniquement.
  - La période *T* de la commande est égale à **20 ms**.
  - Commande des interrupteurs :
    - ❖  $0 < t \leq 5 \text{ ms}$ , **K1** et **K3** sont fermés, **K2** et **K4** sont ouverts.
    - ❖  $5 \text{ ms} < t \leq 10 \text{ ms}$ , **K2** et **K4** sont fermés, **K1** et **K3** sont ouverts.

|         |                  |          |           |      |               |
|---------|------------------|----------|-----------|------|---------------|
| Filière | ESA              | Variante | 2         | Page | Page 4 sur 12 |
| Examen  | Fin de Formation | Session  | Juin 2024 |      |               |



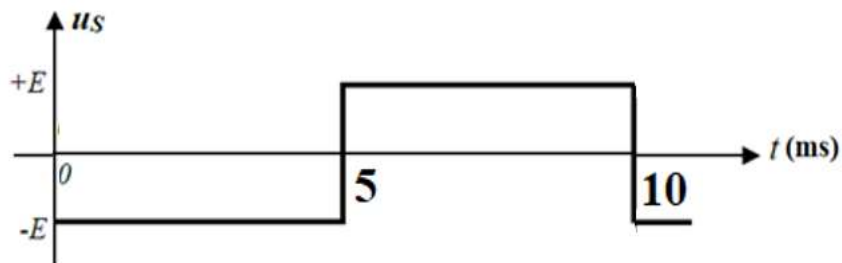
6- Quel type de commande est utilisé dans cet onduleur ? cocher la bonne réponse. /1

**Commande symétrique**  Commande décalée

7- Citer un composant électronique permettant de réaliser un des interrupteurs. /1

**Thyristor ou transistor de commutation**

8- Représenter, en fonction du temps, pour une période  $T$ , le graphe de la tension  $u_s(t)$ . /2



9- Donner la valeur efficace  $U_s$  de la tension  $u_s(t)$  en fonction  $E$ . /1

**$U_s = E$**

10- Déterminer la fréquence  $f$  de la tension délivrée par l'onduleur. /1

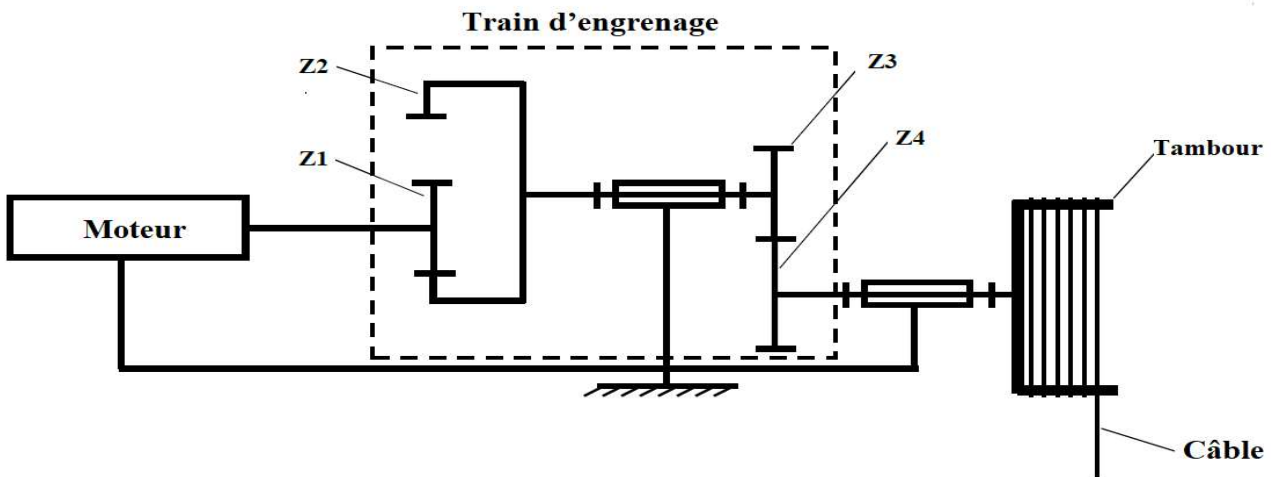
**Expression : 0,75pt  $f = 1 / T$**

**A.N : 0,25pt  $f = 100 \text{ Hz}$**

**SUJET 3 :**

...../ 12

La figure ci-dessous représente un système de rotation d'un **tambour** assurée par un système (**moteur + train d'engrenage**) :



|         |                  |          |           |      |               |
|---------|------------------|----------|-----------|------|---------------|
| Filière | ESA              | Variante | 2         | Page | Page 5 sur 12 |
| Examen  | Fin de Formation | Session  | Juin 2024 |      |               |

| Données et Notations :   |  |
|--|--|
| $N_s=177,66 \text{ tr/min}$ : vitesse de rotation du tambour<br>$Z_1=40 \text{ dents}$ : nombre de dents du pignon moteur<br>$Z_2=90 \text{ dents}$ : nombre de dents de la couronne | $Z_3=30 \text{ dents}$ : nombre de dents du pignon<br>$Z_4=105 \text{ dents}$ : nombre de dents de la roue |

1- Cocher les **inconvenients** de la transmission par engrenage parmi les propositions données. /2

|   |  |
|---|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> Nécessite la lubrification. | <input type="checkbox"/> Rendement très élevé.                                     |
| <input type="checkbox"/> Rapport de vitesse constant.           | <input checked="" type="checkbox"/> Nécessite un ajustement précis entre les axes. |

2- Citer la condition d'engrènement entre un pignon et une roue dans un système d'engrenage. /2

**Même module**

3- Calculer le rapport de vitesse  $r$  entre l'arbre d'entrée du moteur et l'arbre de sortie du tambour. /2

Expression : 1,5pt  $r = \frac{Z_1 \cdot Z_3}{Z_2 \cdot Z_4}$

A.N : 0,5pt  $r = \frac{40 \cdot 30}{90 \cdot 105} = 0,126$

4- Ce rapport est-il multiplicateur ou réducteur ? Justifier votre réponse. /2

Réponse : 1pt **Réducteur**

Justification : 1pt **Rapport de vitesse  $r < 1$**

5- Calculer la vitesse de rotation  $N_m$  du moteur (en tr/min). /2

Expression : 1,5pt  $N_m = N_s / r$

A.N : 0,5pt  $N_m = 177,66 / 0,126 = 1410 \text{ tr/min}$

6- Calculer la vitesse angulaire  $\Omega_s$  du tambour (en rad/s). /2

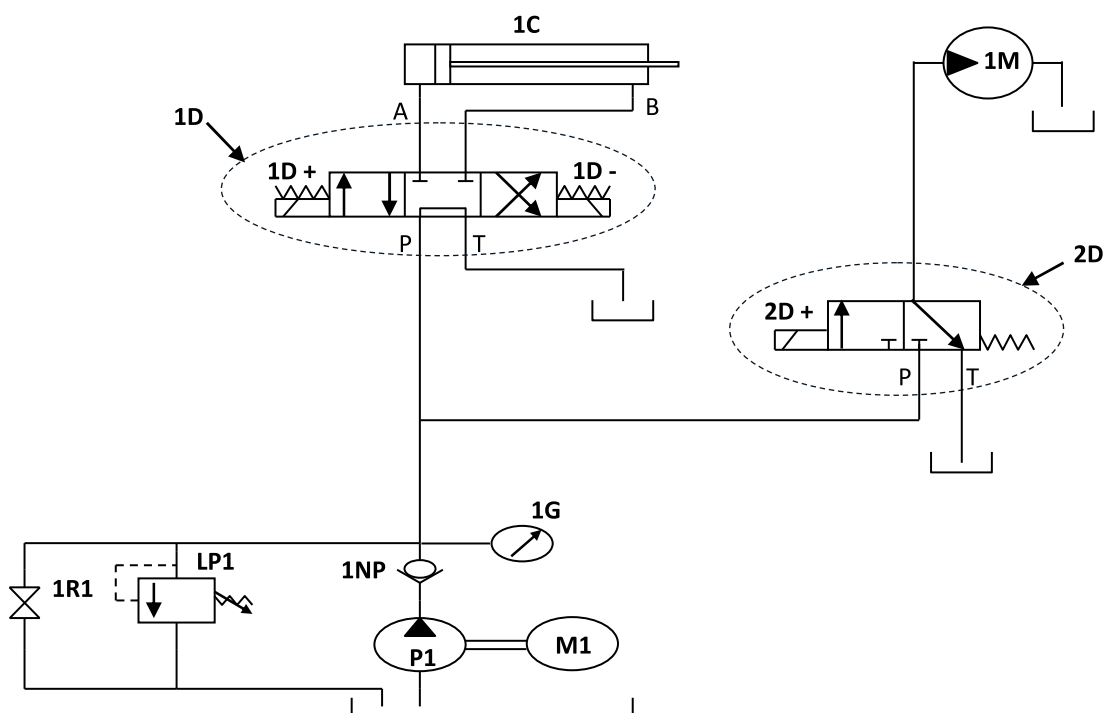
Expression : 1,5pt  $\Omega_s = \frac{2 \cdot \pi \cdot N_s}{60}$

A.N : 0,5pt  $\Omega_s = \frac{2 \cdot \pi \cdot 177,66}{60} = 18,60 \text{ rad/s}$

**Partie pratique :**

**SUJET 4 :** ...../ 20

Soit le schéma du circuit hydraulique de puissance ci-dessous.



|         |                  |          |           |      |               |
|---------|------------------|----------|-----------|------|---------------|
| Filière | ESA              | Variante | 2         | Page | Page 6 sur 12 |
| Examen  | Fin de Formation | Session  | Juin 2024 |      |               |

1- Compléter le tableau ci-dessous.

8 x 1pt

/8

| Repère | Nom   | Fonction  |
|--------|---|---|
| 1C     | Vérin hydraulique double effet                                | Transformer l'énergie hydraulique en énergie mécanique (translation)              |
| 1M     | Moteur hydraulique  | Transformer l'énergie hydraulique en énergie mécanique (rotation)                 |
| 1D     | Distributeur 4/3 à commande électrique bistable centre tandem | Commuter (distribuer) l'énergie hydraulique                                       |
| 2D     | Distributeur 3/ à commande électrique monostable              | Commuter (distribuer) l'énergie hydraulique                                       |
| LP1    | Limiteur de pression réglable                                 | Protéger le circuit hydraulique   |
| 1G     | Manomètre   | Indiquer la pression d'utilisation  |
| P1     | Pompe hydraulique   | Générer un débit d'huile (transformer l'énergie mécanique en énergie hydraulique) |
| M1     | Moteur électrique   | Actionner la pompe (transformer l'énergie électrique en énergie mécanique)        |

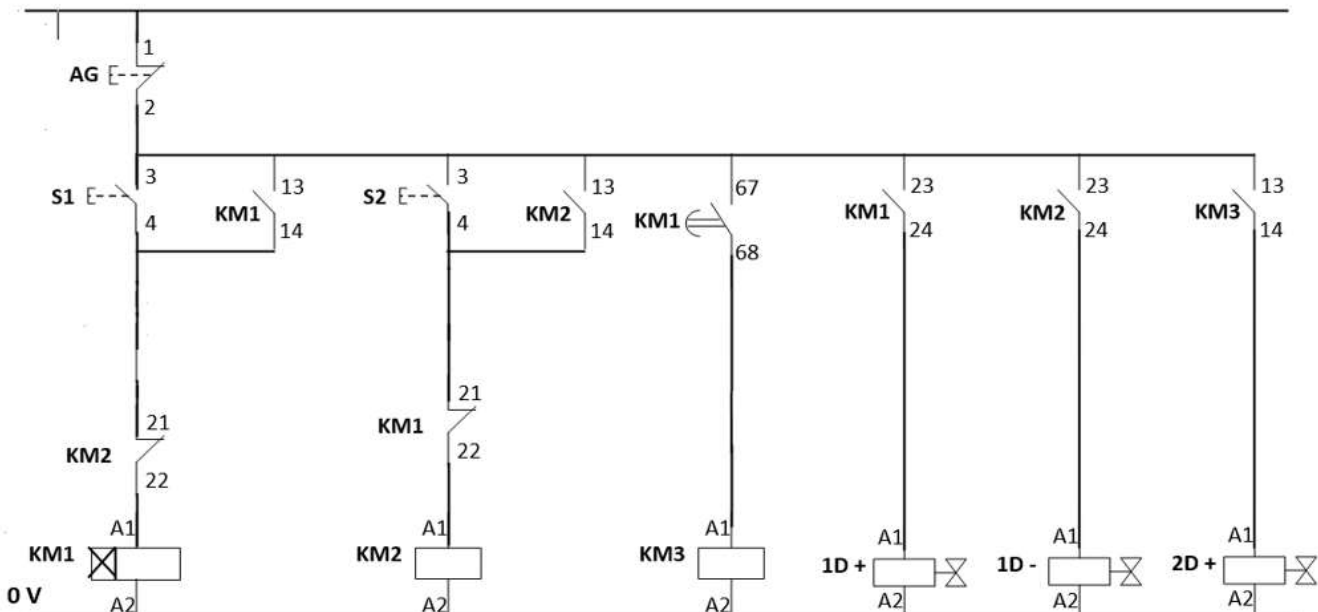
2- Compléter le schéma du circuit électrique de commande du système hydraulique, sachant que :

- L'appui sur un bouton poussoir S1 fait sortir la tige du vérin.
- Après 10s, le moteur se met à tourner (le moteur tourne dans un seul sens), et la tige du vérin 1C revient à sa position initiale.
- L'appui sur un bouton poussoir S2 fait arrêter le moteur.
- L'appui sur un bouton poussoir AG fait arrêter le circuit électrique de commande du système hydraulique.

**REMARQUE : prendre en considération toutes les solutions possibles. 12 x 0,5pt = 6pts**

/6

24 V



|         |                  |          |           |      |               |
|---------|------------------|----------|-----------|------|---------------|
| Filière | ESA              | Variante | 2         | Page | Page 7 sur 12 |
| Examen  | Fin de Formation | Session  | Juin 2024 |      |               |

- Sur la plaque signalétique de la pompe hydraulique, on relève les indications suivantes :

**P = 150 bars** : Pression de la pompe.  
**Cyl = 3,52 cm<sup>3</sup>/tr** : cylindrée de la pompe.  
**N = 1420 tr/min** : Vitesse de rotation de la pompe

3- Citer deux paramètres à prendre en considération pour le choix d'une pompe. /2

**Pression, débit (cylindrée), vitesse de rotation**

4- Calculer le débit de la pompe **Q** en (L/min). /2

**Expression : 1,5pt**  $Q = \frac{\text{Cyl} \cdot N}{1000}$

**A.N : 0,5pt**  $Q = 5 \text{ L/min}$

5- Calculer la puissance hydraulique **P<sub>hyd</sub>** de la pompe en kW. /2

**Expression : 1,5pt**  $P_{\text{hyd}} = \frac{P \cdot Q}{600}$

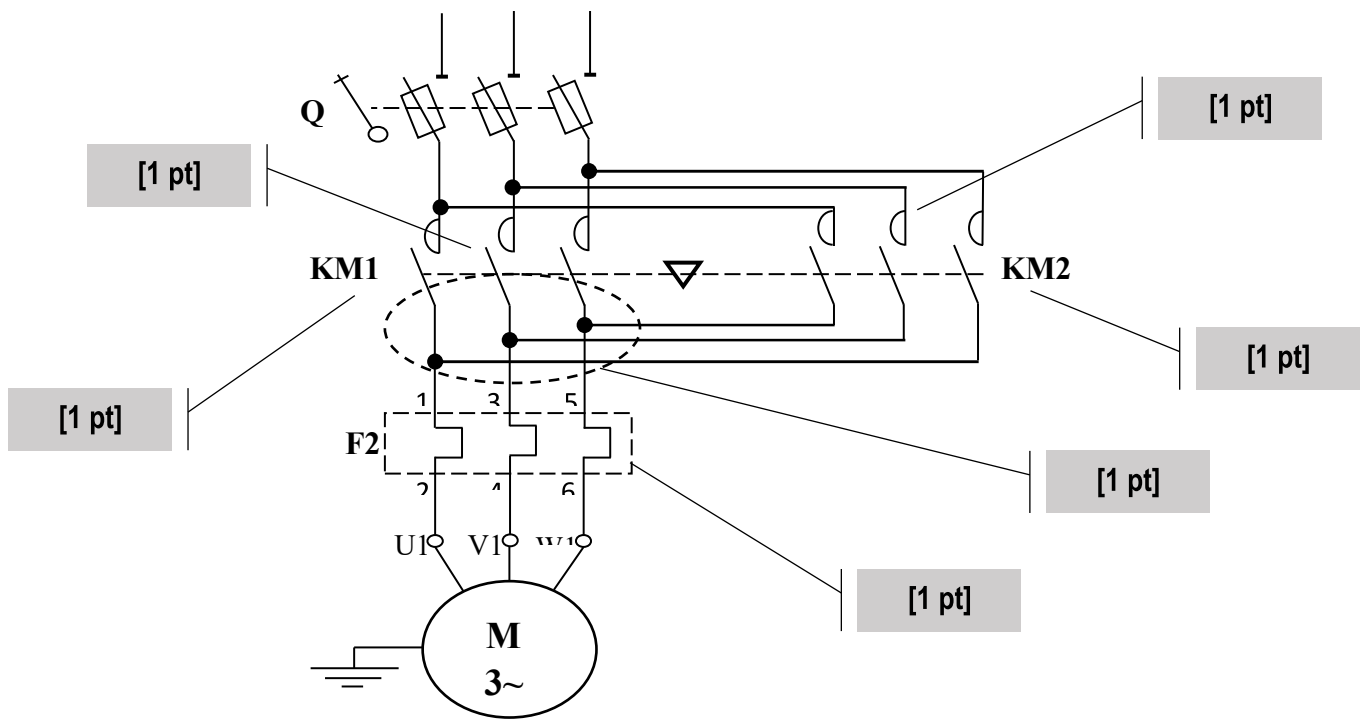
**A.N : 0,5pt**  $P_{\text{hyd}} = \frac{150 \times 5}{600} = 1,25 \text{ kW}$

**SUJET 5 :** ...../ 20

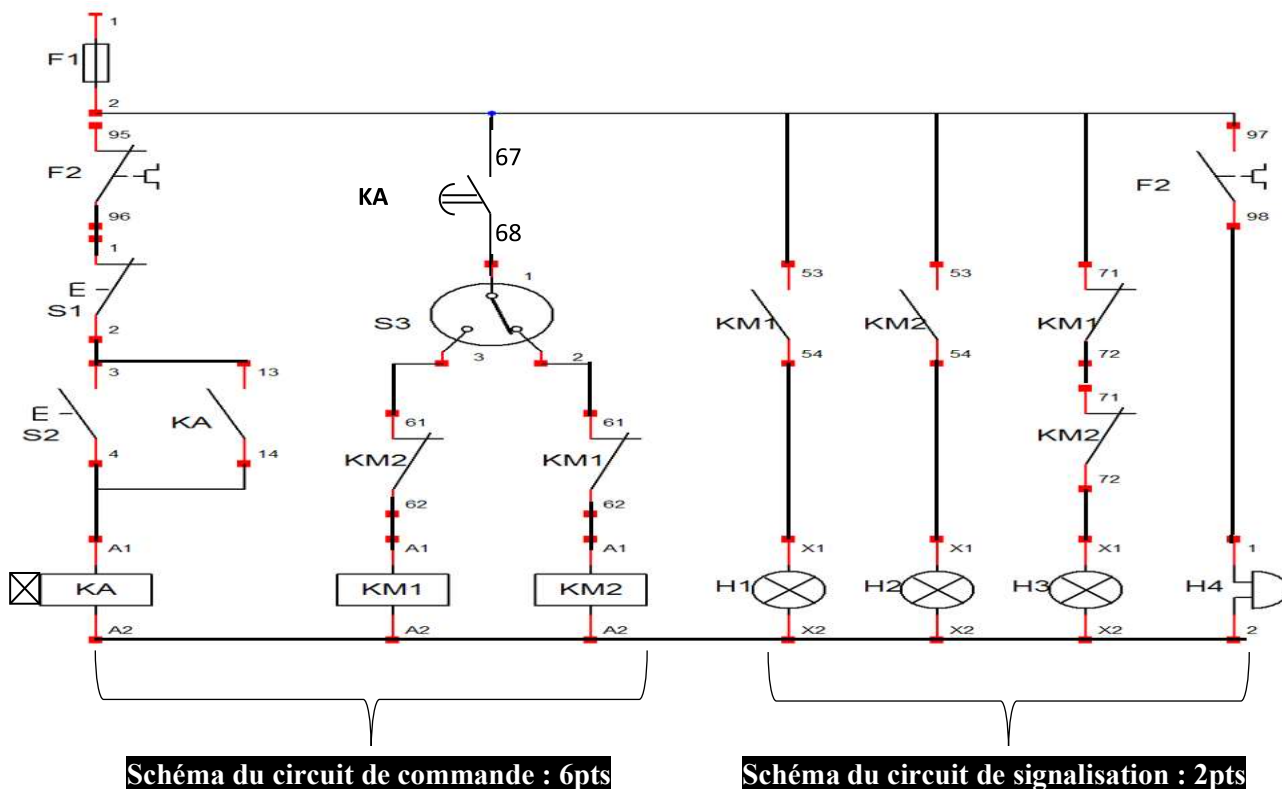
Une machine est équipée d'un moteur asynchrone triphasé à cage commandé par un discontacteur tripolaire inverseur (démarrage direct 2 sens de rotation).

- La mise sous tension du moteur est commandée après **20s** de l'appui sur le bouton poussoir marche **S2** ; tandis que la marche en sens avant ou en sens arrière est sélectionnée par un commutateur à deux positions (**S3**).
  - A n'importe quel moment on peut arrêter le moteur par une action sur le bouton poussoir arrêt **S1**.
  - On peut changer le sens de rotation à l'aide du commutateur à deux positions (**S3**) sans arrêter le moteur.
- Le moteur est protégé contre les courts-circuits et les surcharges.
  - Une lampe **H1** signale la marche en sens avant.
  - Une lampe **H2** signale la marche en sens arrière.
  - Une lampe **H3** signale l'arrêt normal du moteur.
  - Une **sonnerie H4** signale l'arrêt par défaut thermique du moteur.

1- Compléter le schéma du circuit de puissance. /6



|         |                  |          |           |      |               |
|---------|------------------|----------|-----------|------|---------------|
| Filière | ESA              | Variante | 2         | Page | Page 8 sur 12 |
| Examen  | Fin de Formation | Session  | Juin 2024 |      |               |



**Schéma du circuit de commande : 6pts**

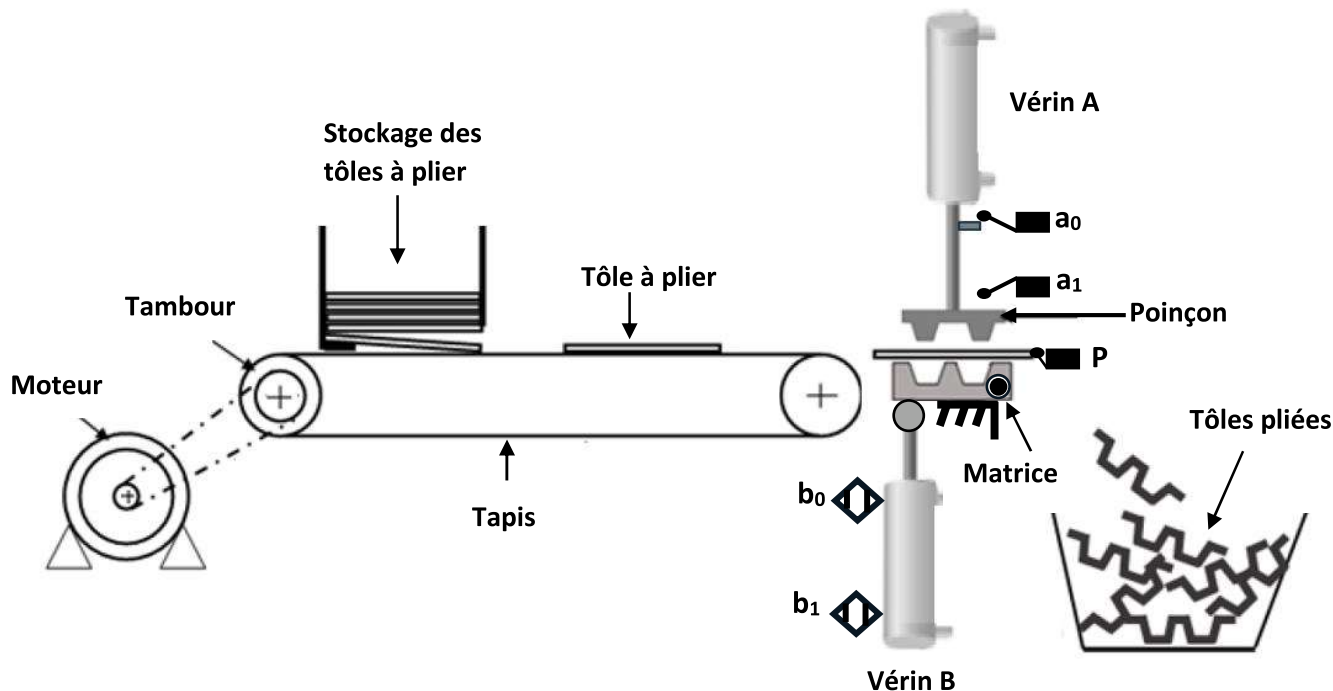
**Schéma du circuit de signalisation : 2pts**

3- Donner la liste de matériel pour réaliser les circuits de puissance, commande et de signalisation.

**12 x 0,5pt = 6pts**

| liste de matériel                              | Quantité |
|--|----------|
| Sectionneur porte fusible                      | 1        |
| Contacteur de puissance                        | 2        |
| Relais thermique                               | 1        |
| Moteur électrique asynchrone triphasé          | 1        |
| Contacteur auxiliaire                          | 1        |
| Bloc additif de contacts instantanés           | 2        |
| Bloc additif de contacts temporisée au travail | 1        |
| Bouton poussoir NO                             | 1        |
| Bouton poussoir NC                             | 1        |
| Lampe de signalisation                         | 3        |
| Sonnerie                                       | 1        |
| Commutateur à deux positions (C6).             | 1        |
| Fusible  | 4        |

La figure ci-dessous présente une poste industrielle de mise en forme de tôles.



**Description et fonctionnement :**

Une action sur le bouton poussoir S de mise en marche provoque le départ du cycle suivant :

- Transfert de la pièce en tôle par le tapis entraîné par le moteur M jusqu'à la position détectée par le capteur p.
- Pliage de la pièce en tôle par la descente et la montée du poinçon entraîné par le vérin A.
- Evacuation de la pièce en tôle par la rotation de la matrice autour de son axe d'articulation par le vérin B.
- Après avoir effectué 14 cycles, une lampe L s'allume pendant 20 secondes puis le système se met à l'arrêt et attend un nouveau départ donné par l'opérateur en appuyant à nouveau sur S.
- **Remarques : \*\*\* Les vérins sont commandés par des distributeurs monostables.**

**Travail demandé :**

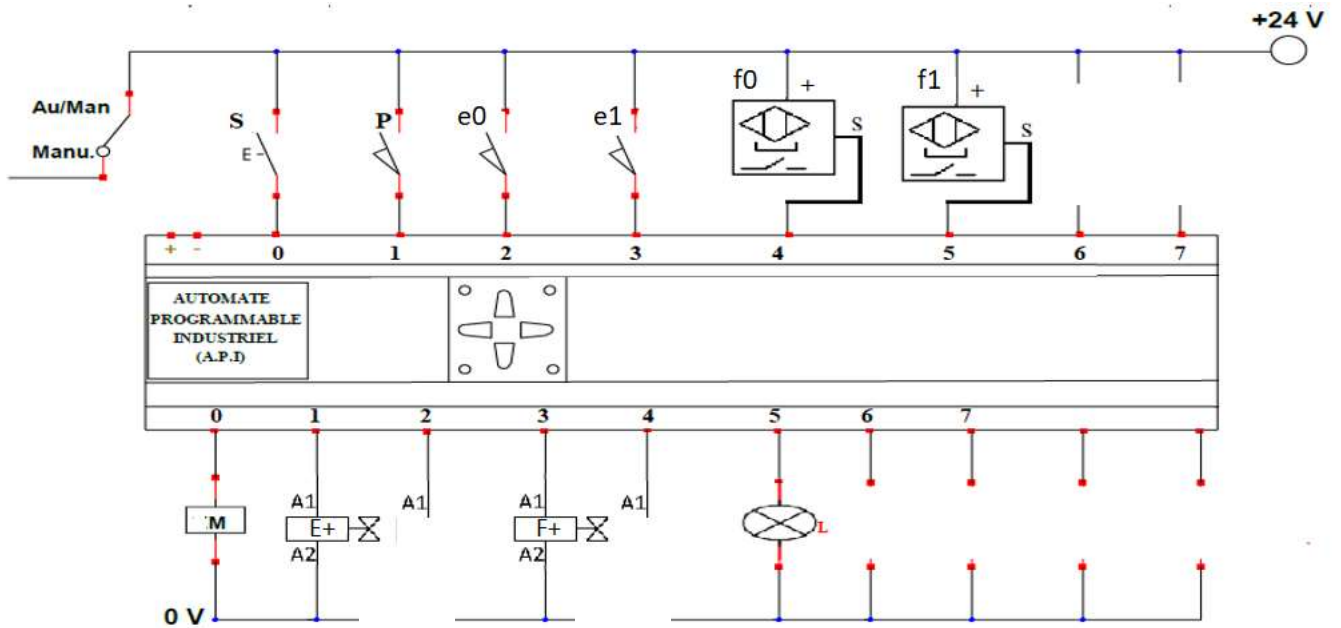
1) Identifier les entrées et les sorties en leurs accordant les adresses correspondantes.

/3

|                 |      |      |                |                |                |                |
|-----------------|------|------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| <b>Entrées</b>  | S    | P    | e <sub>0</sub> | e <sub>1</sub> | f <sub>0</sub> | f <sub>1</sub> |
| <b>Adresses</b> | E0.0 | E0.1 | E0.2           | E0.3           | E0.4           | E0.5           |
| <b>Sorties</b>  | M    | E+   |                | F+             |                | L              |
| <b>Adresses</b> | A0.0 | A0.1 |                | A0.3           |                | A0.5           |

2) Compléter le schéma du câblage de l'API en respectant l'adressage que vous avez proposé dans le tableau (Question N°1).

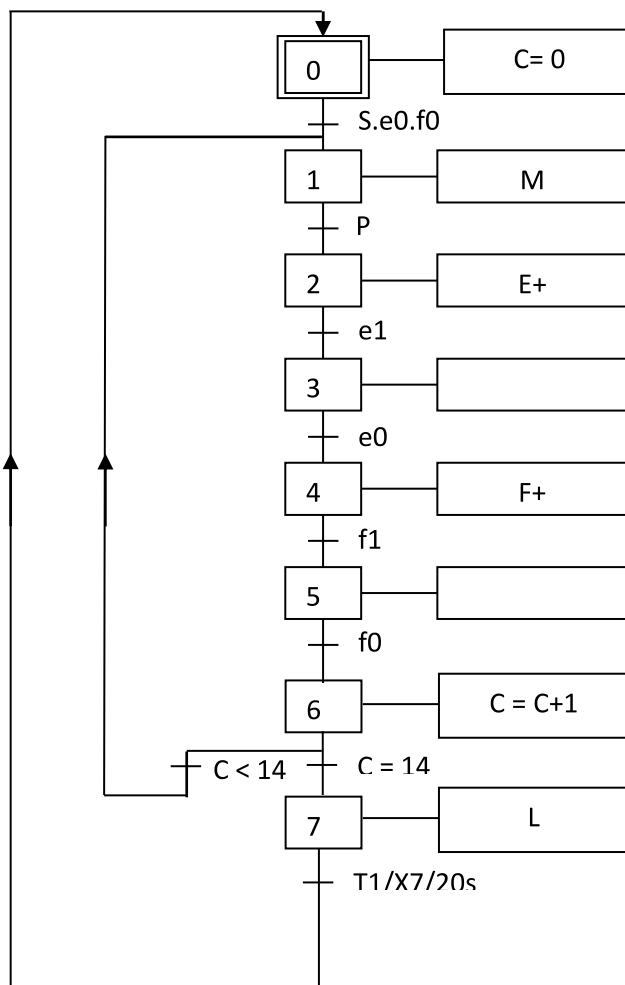
/3



3) Compléter le grafecet ci-dessous.

14 x 0,5pt = 7pts

/7



|         |                  |          |           |      |                |
|---------|------------------|----------|-----------|------|----------------|
| Filière | ESA              | Variante | 2         | Page | Page 11 sur 12 |
| Examen  | Fin de Formation | Session  | Juin 2024 |      |                |

4) Donner les équations d'activation et de désactivation des étapes du tableau.

/7

**CAX<sub>i</sub>** : Condition d'activation de l'étape **X<sub>i</sub>**.

**CDX<sub>i</sub>** : Condition de désactivation de l'étape **X<sub>i</sub>**.

**14 x 0,5pt = 7pts**

| Etape <b>X<sub>i</sub></b> | <b>CAX<sub>i</sub></b>        | <b>CDX<sub>i</sub></b>             |
|----------------------------|-------------------------------|------------------------------------|
| <b>X<sub>0</sub></b>       | <b>X<sub>7</sub> T + INIT</b> | <b>X<sub>1</sub></b>               |
| <b>X<sub>1</sub></b>       | X0.S.e0.f0+X6.(C=14)          | <b>X<sub>2</sub></b>               |
| <b>X<sub>2</sub></b>       | X1.p                          | <b>X<sub>3</sub></b>               |
| <b>X<sub>3</sub></b>       | X2.e1                         | <b>X<sub>4</sub></b>               |
| <b>X<sub>4</sub></b>       | X3.e0                         | <b>X<sub>5</sub></b>               |
| <b>X<sub>5</sub></b>       | X4.f1                         | <b>X<sub>6</sub></b>               |
| <b>X<sub>6</sub></b>       | X5.f0                         | <b>X<sub>7</sub>+X<sub>1</sub></b> |
| <b>X<sub>7</sub></b>       | X6.C<14                       | <b>X<sub>0</sub></b>               |