

**EPFL**

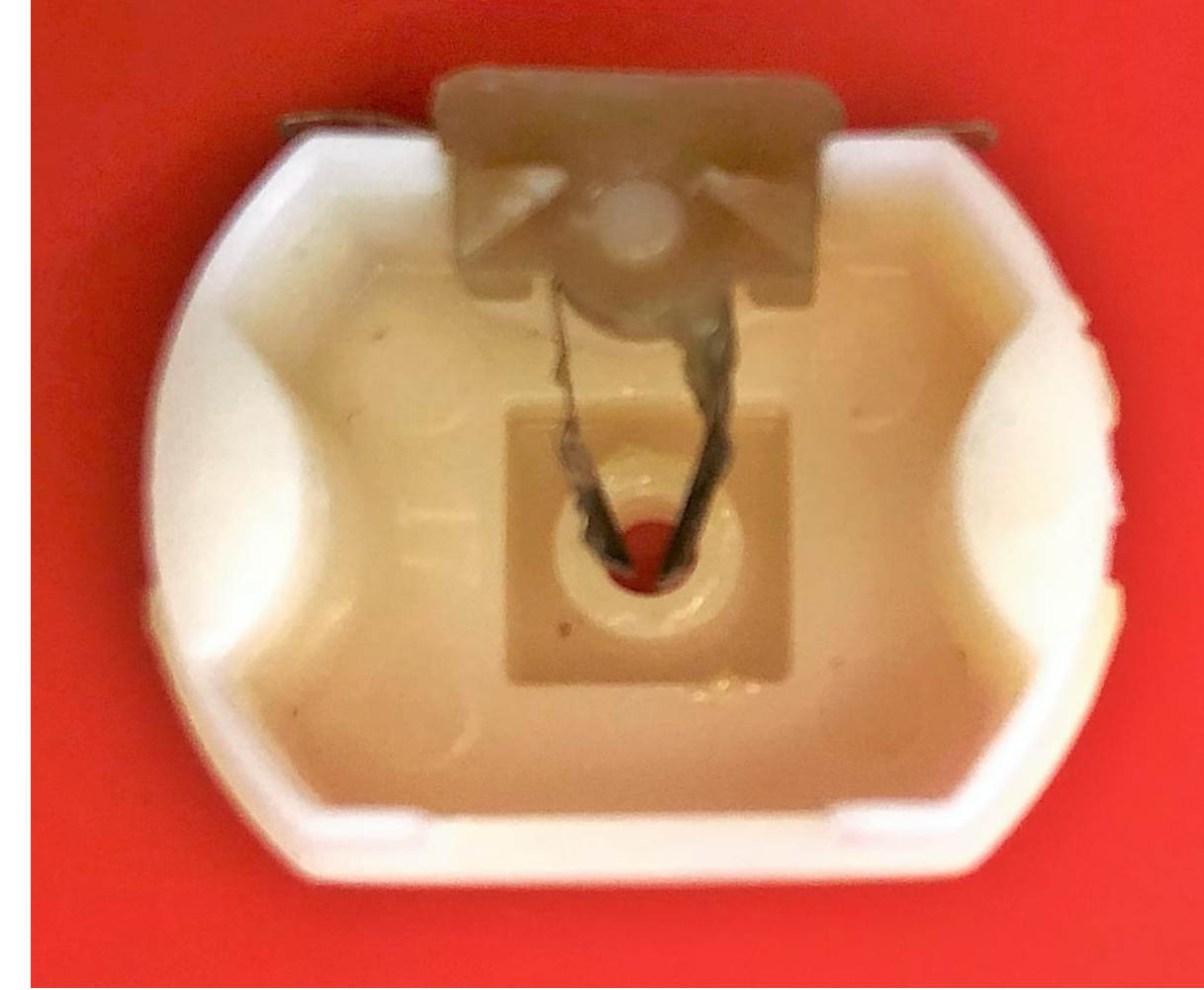
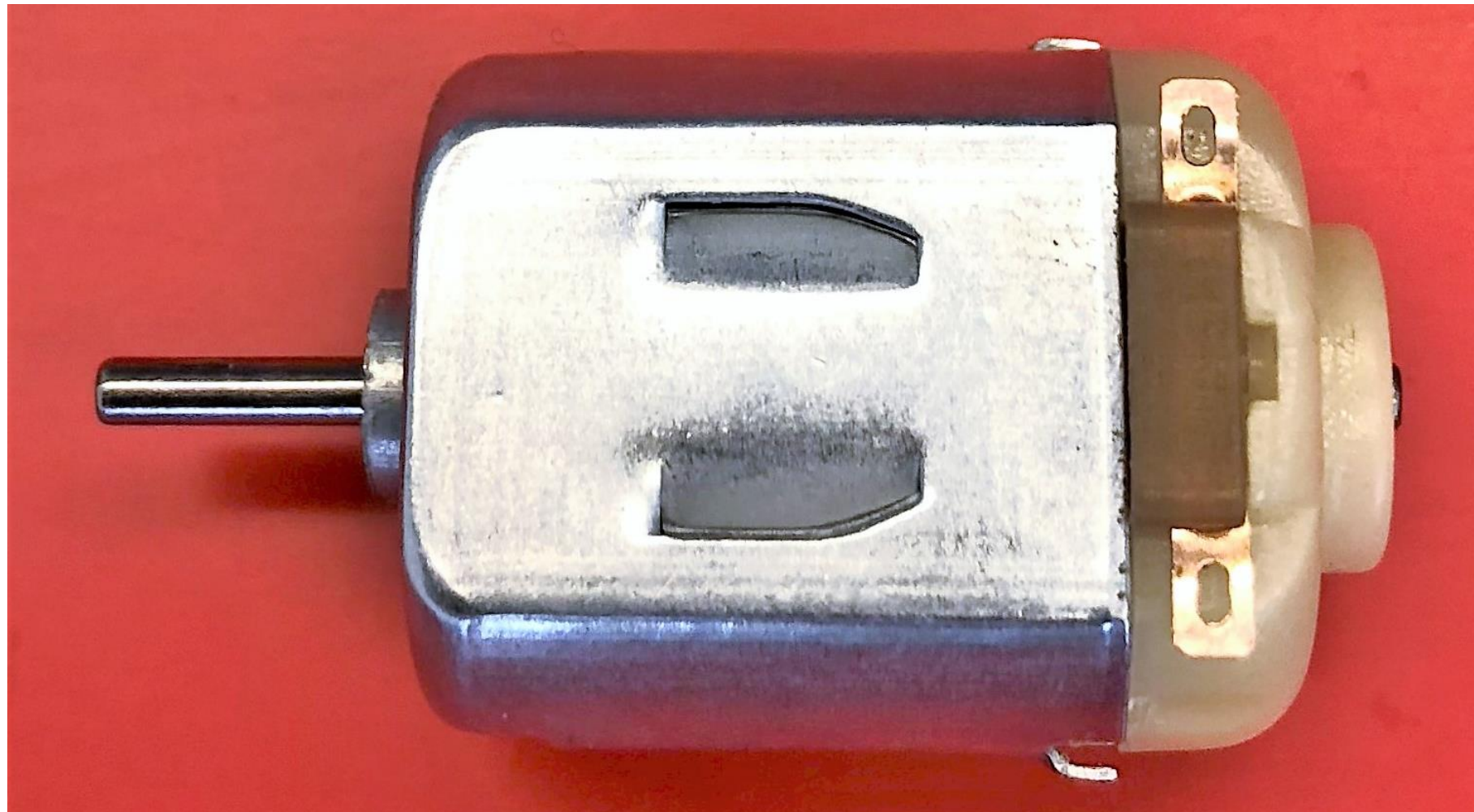
# **Moteur à courant continu**

**Actionneurs et systèmes électromagnétiques II**

Christian Koechli

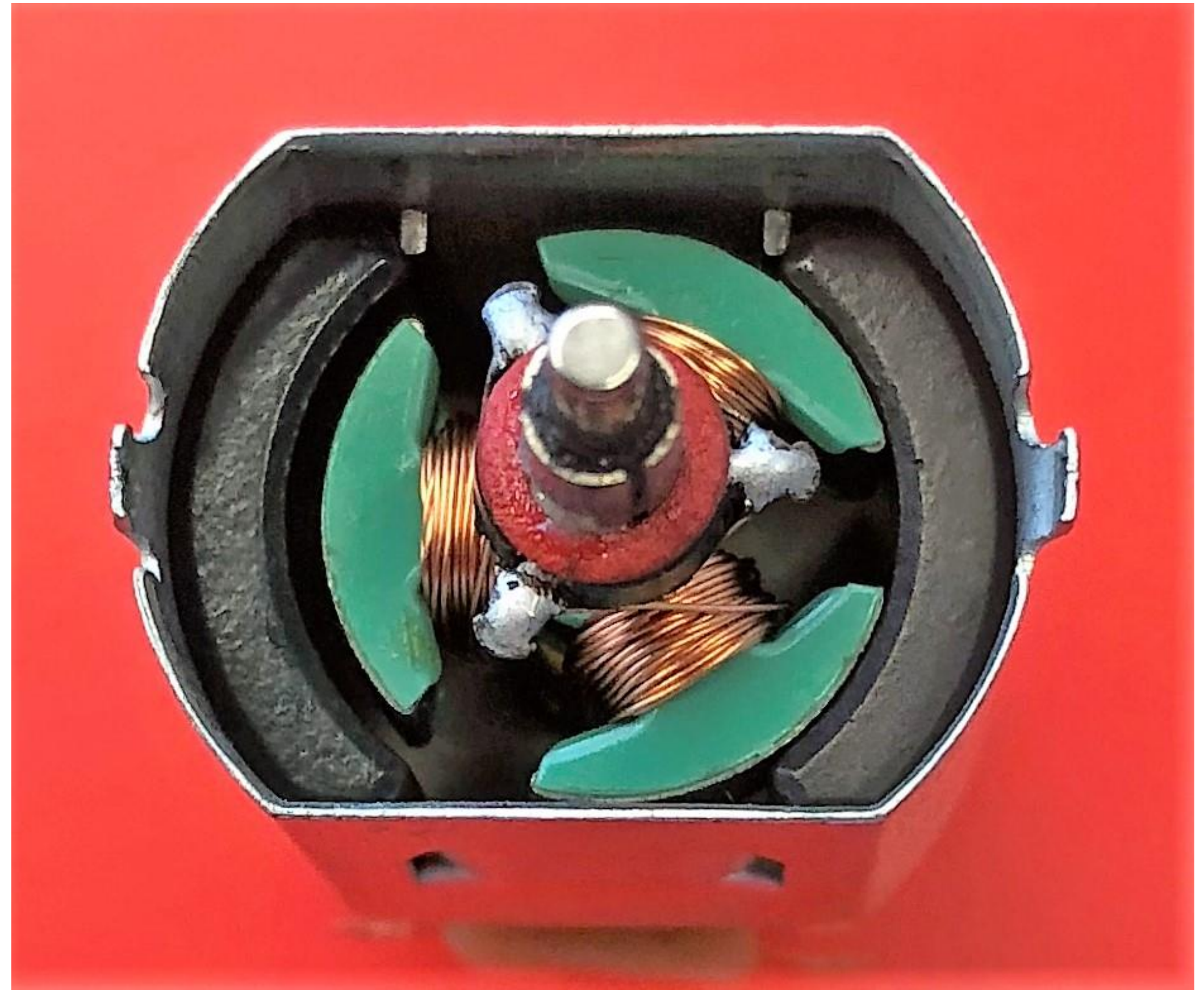
- Principe de fonctionnement
- Tension induite
- Equations caractéristiques moteur à aimant
- Alimentation à tension fixe
- Alimentation à tension variable
- Excitation avec bobine
- Modes d'excitation
- Moteur à excitation série
- Moteur universel

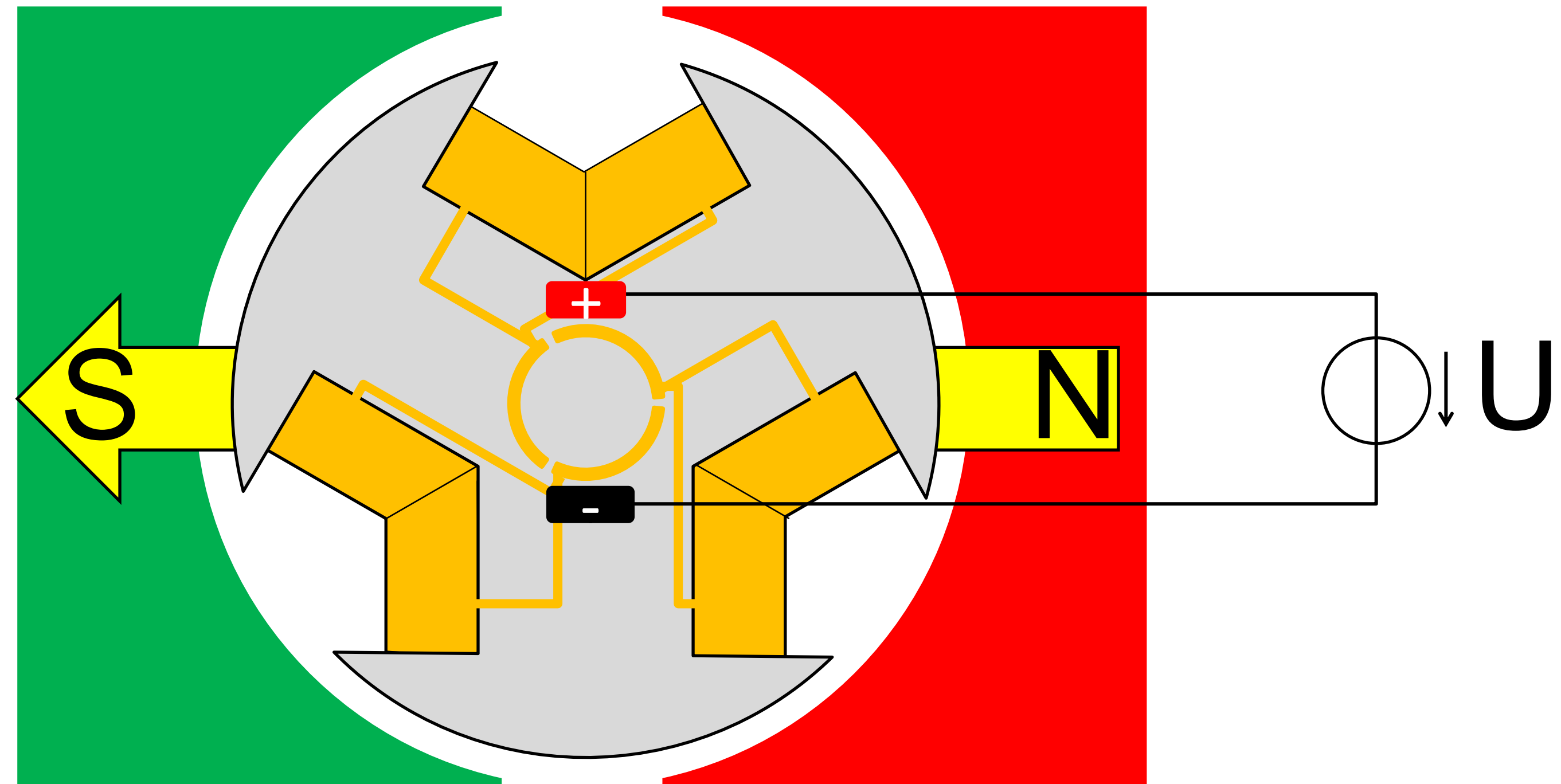
# Structure: stator

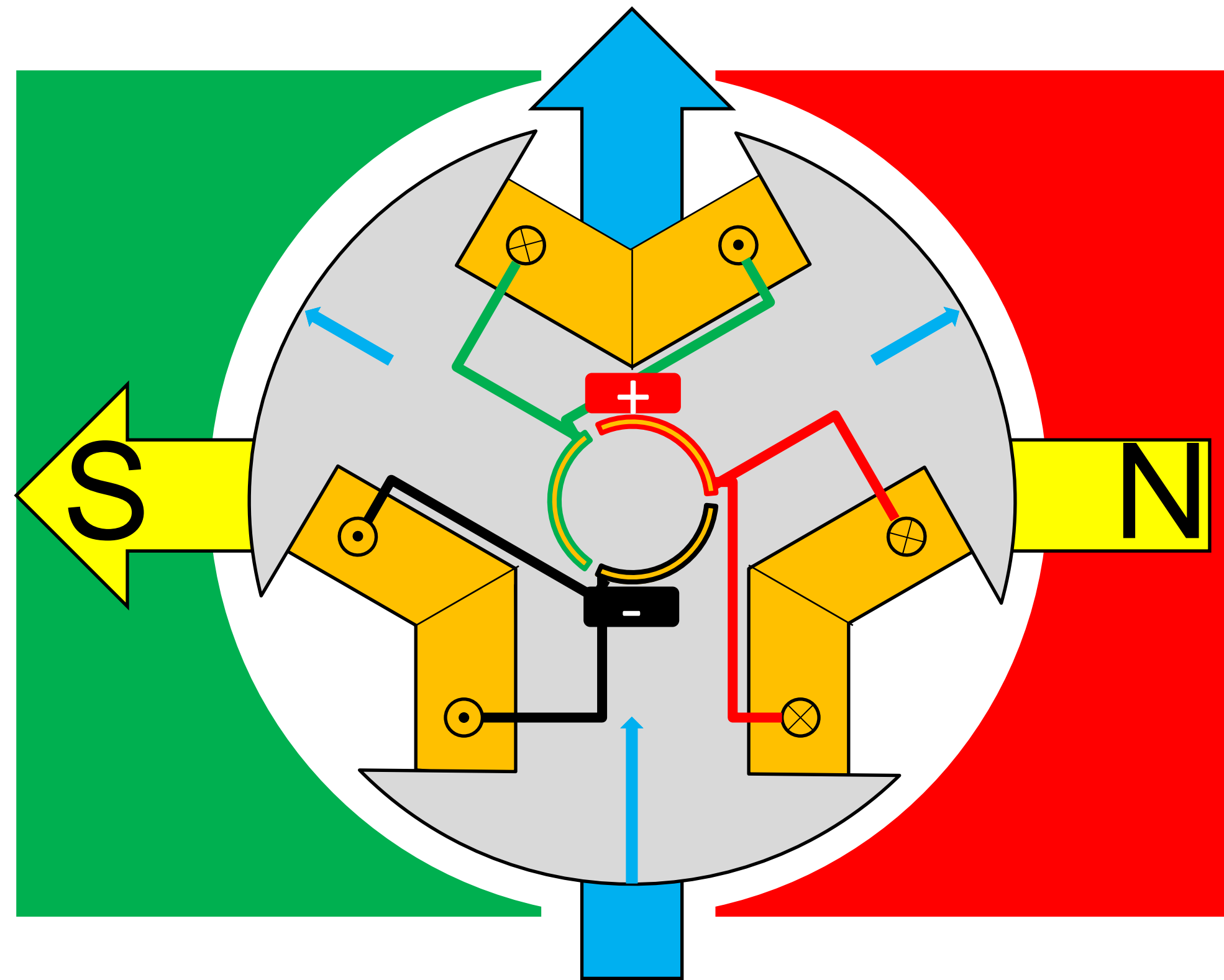


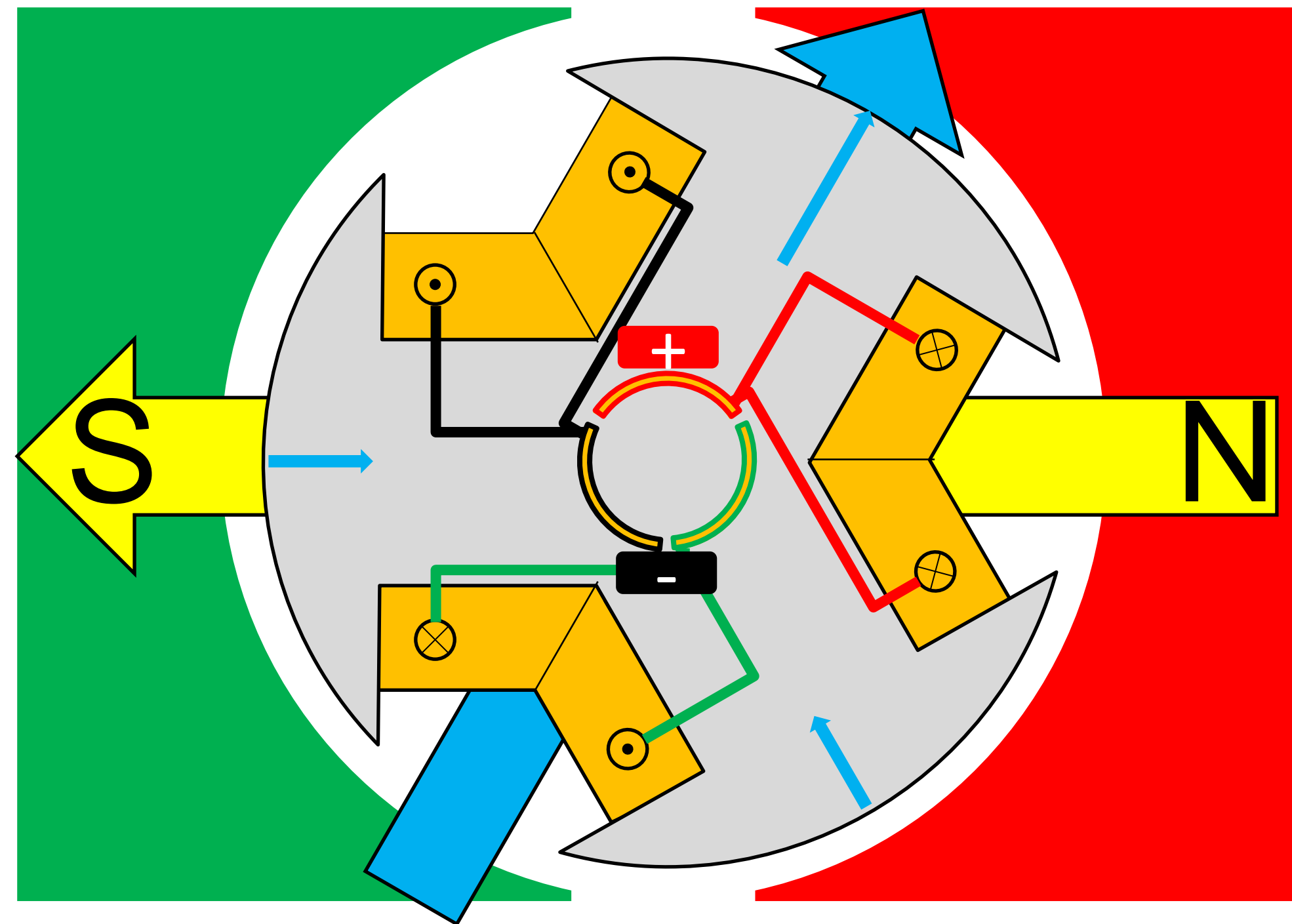


# Structure: rotor

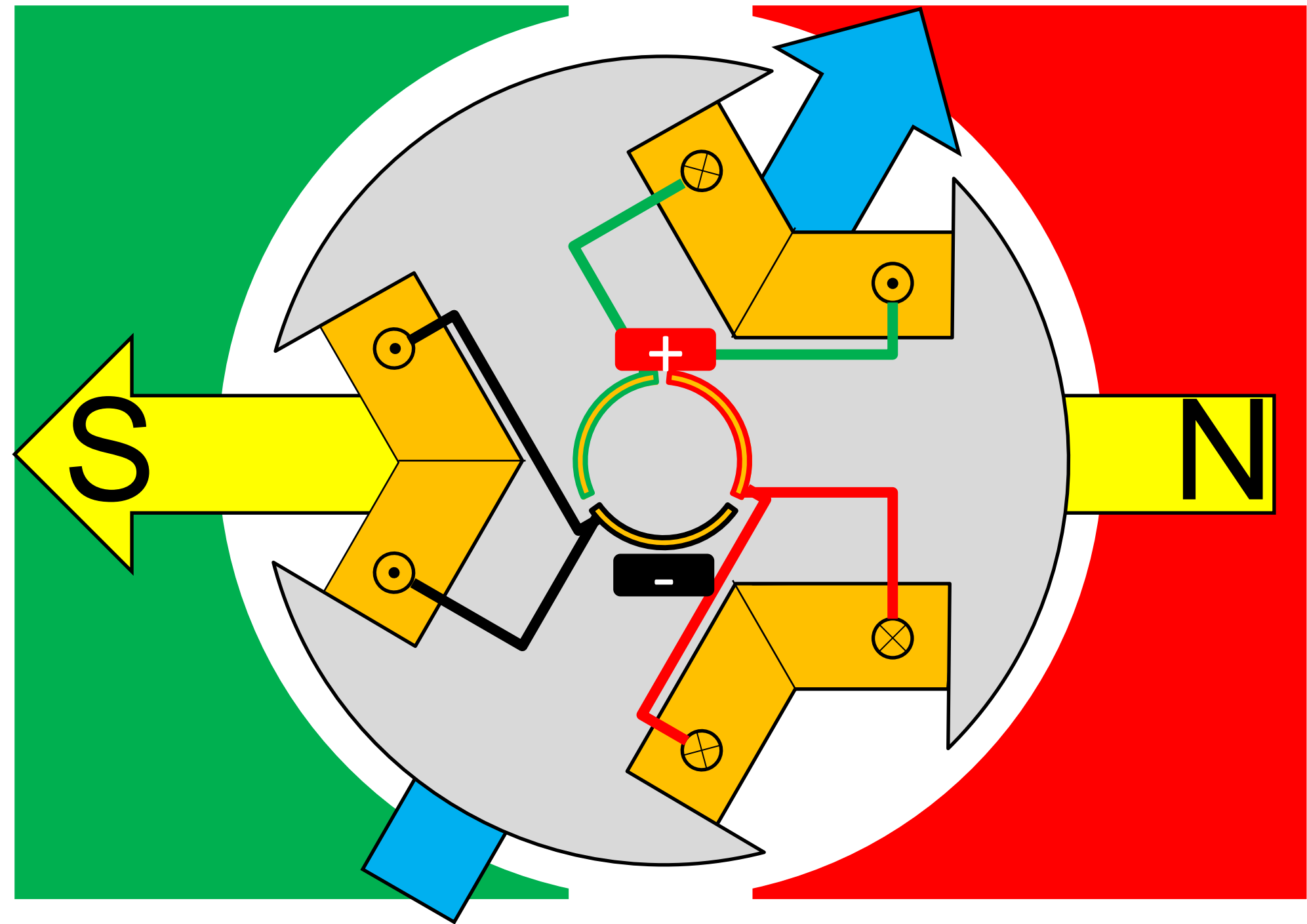




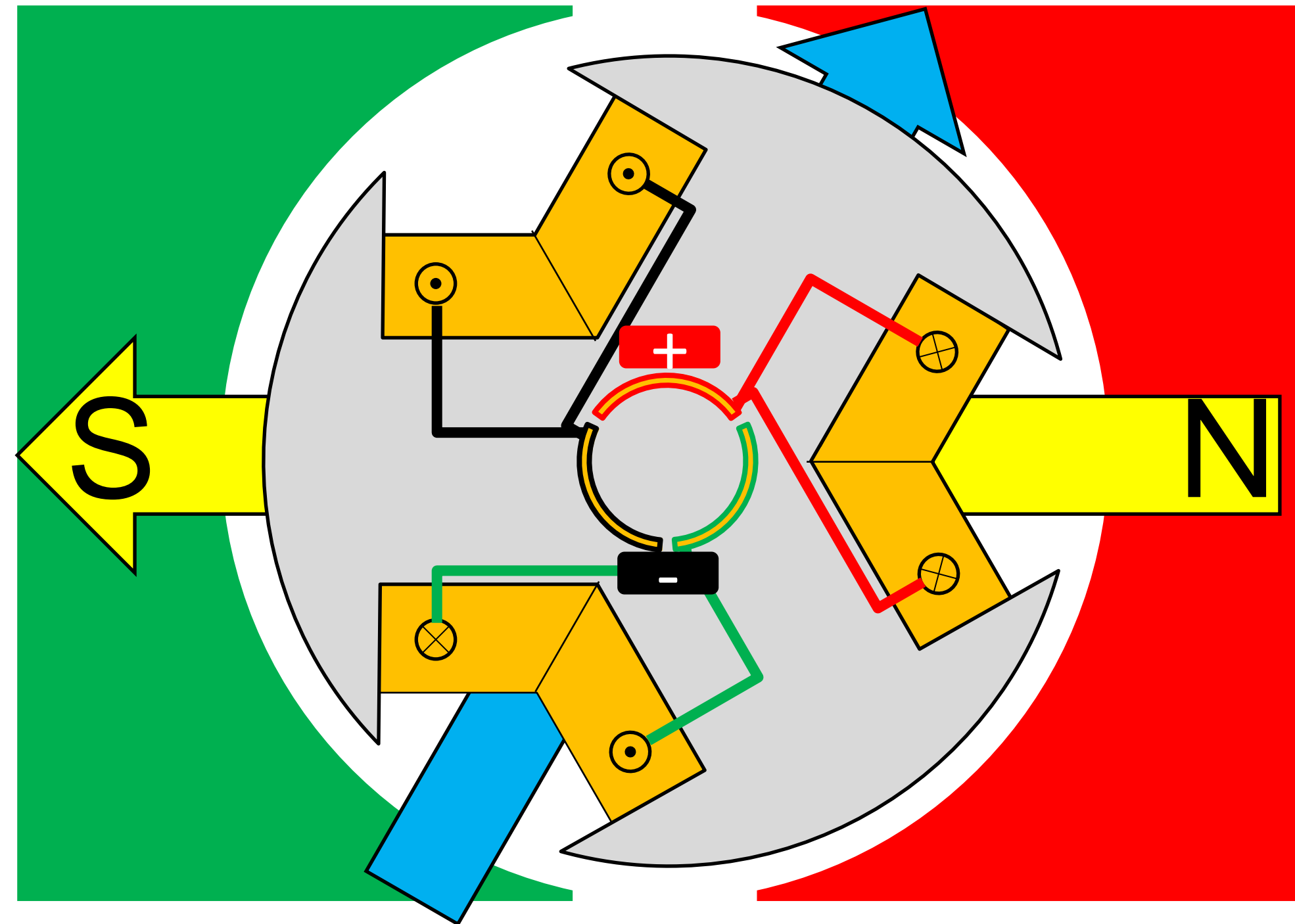


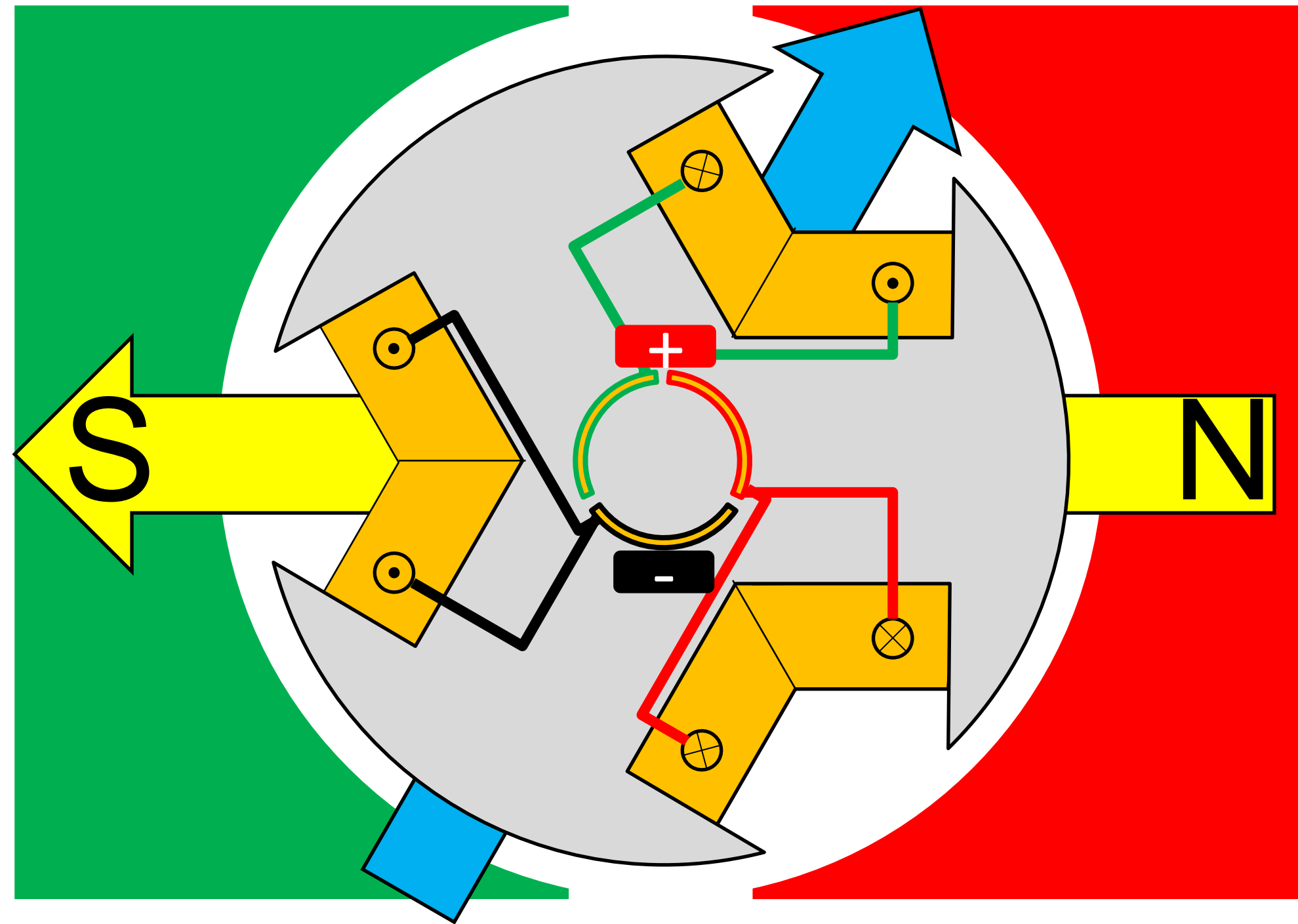






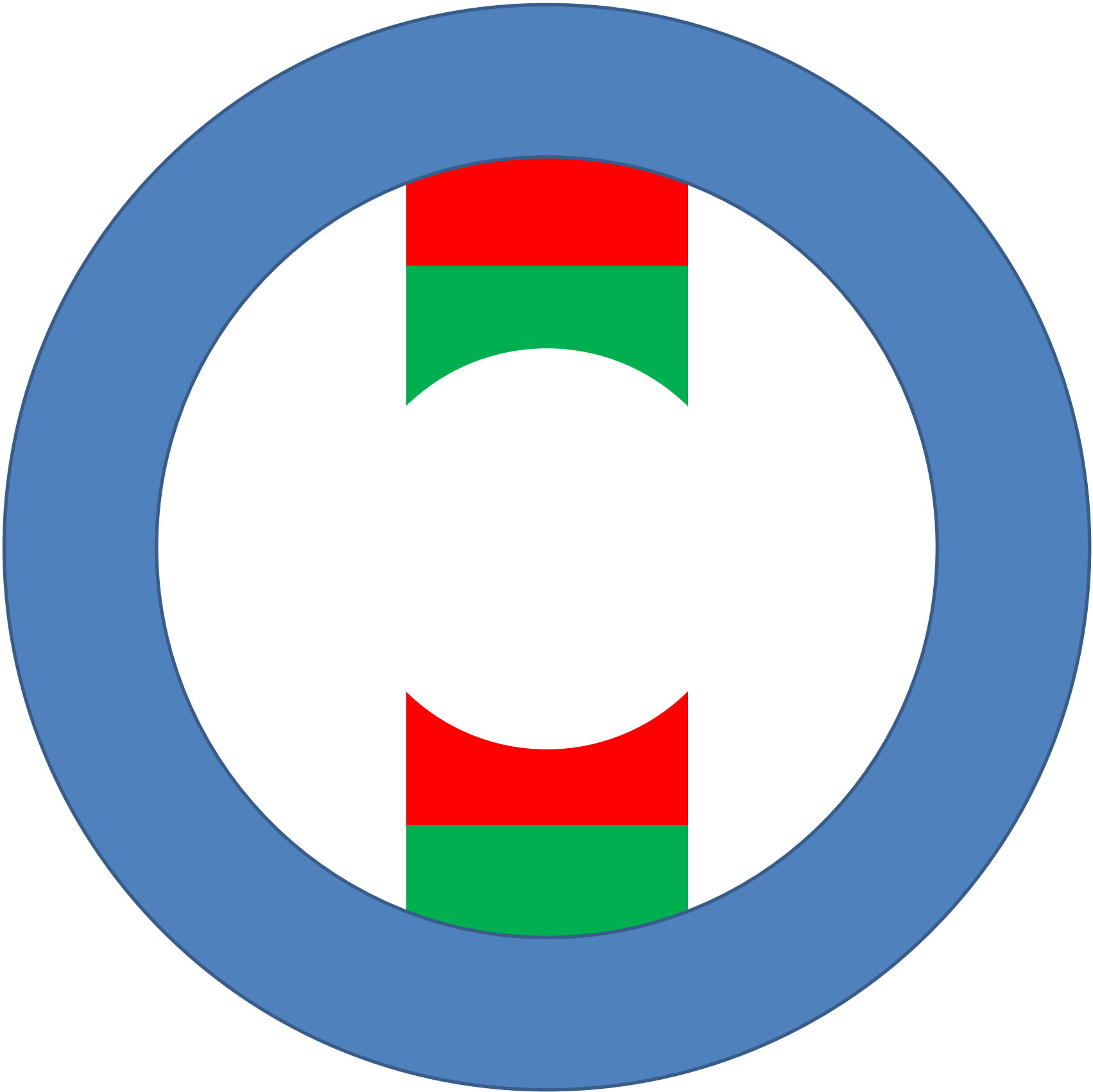
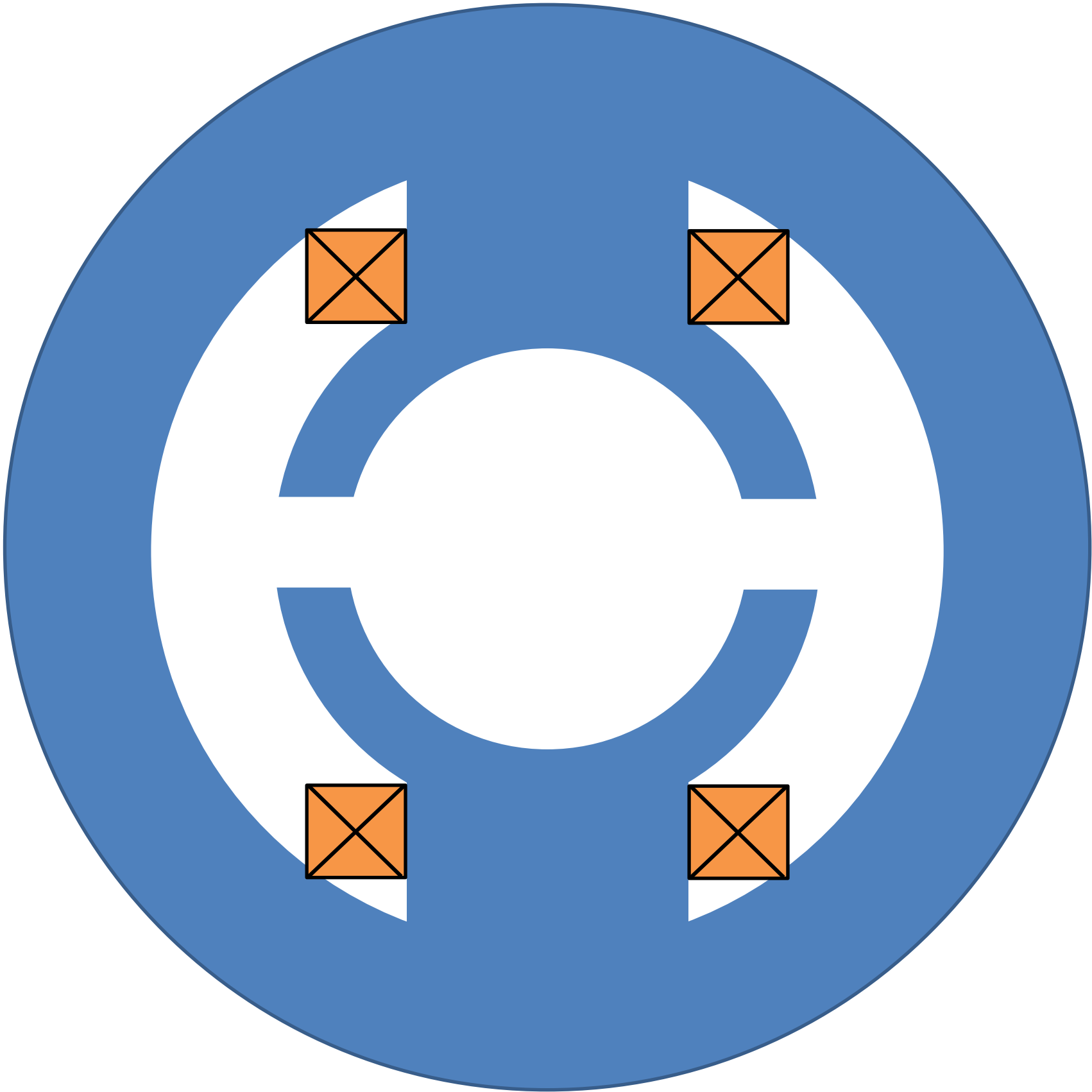






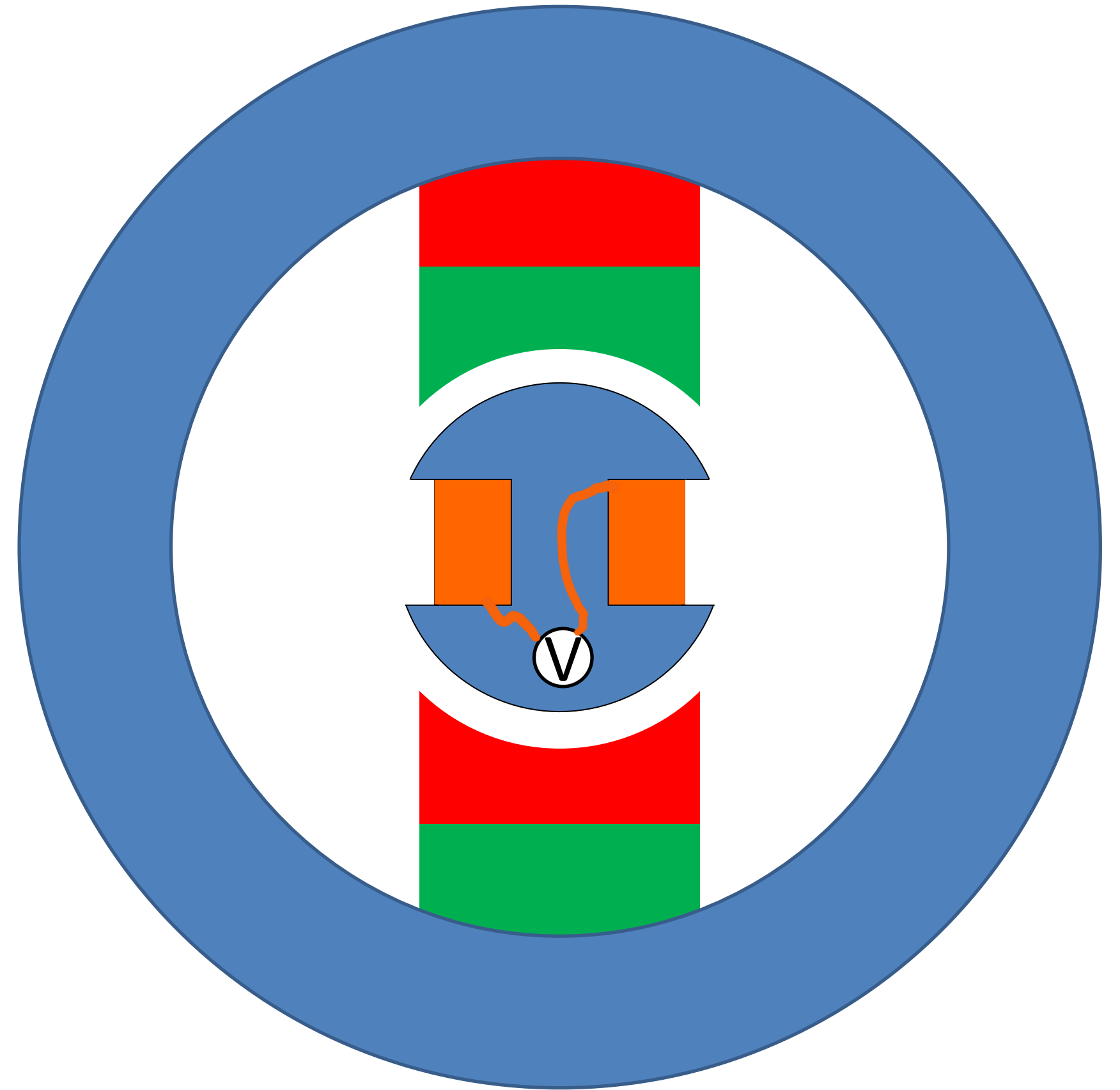
- Structure du moteur:
  - excitation (bobine ou aimant);
  - collecteur;
  - ballais / charbons.
- Création du couple
  - Flux statorique constant
  - Commutation mécanique des bobines rotor
  - Flux rotorique «constant»



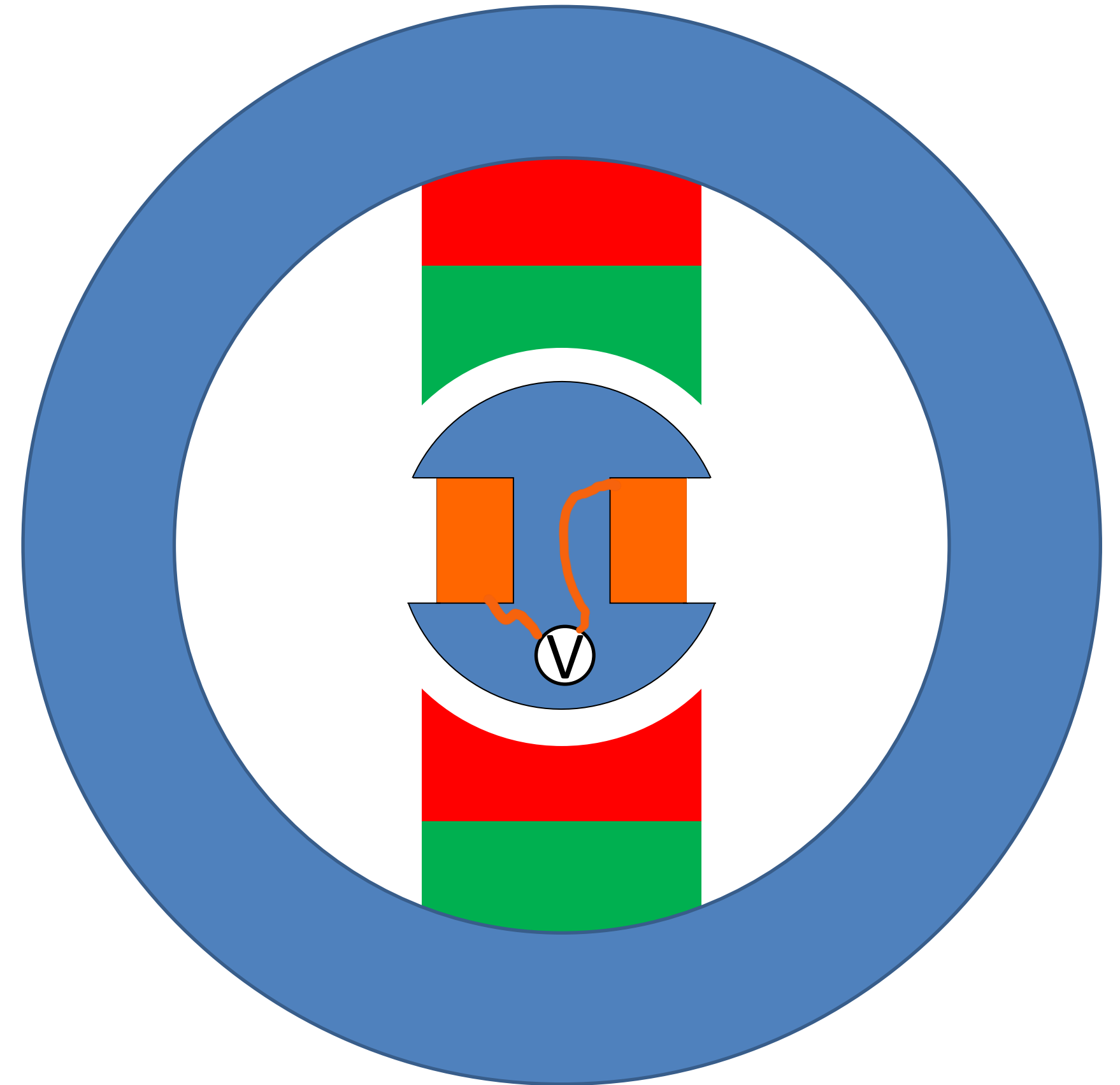




# Tension induite: 1 bobine



# Tension induite: 1 bobine



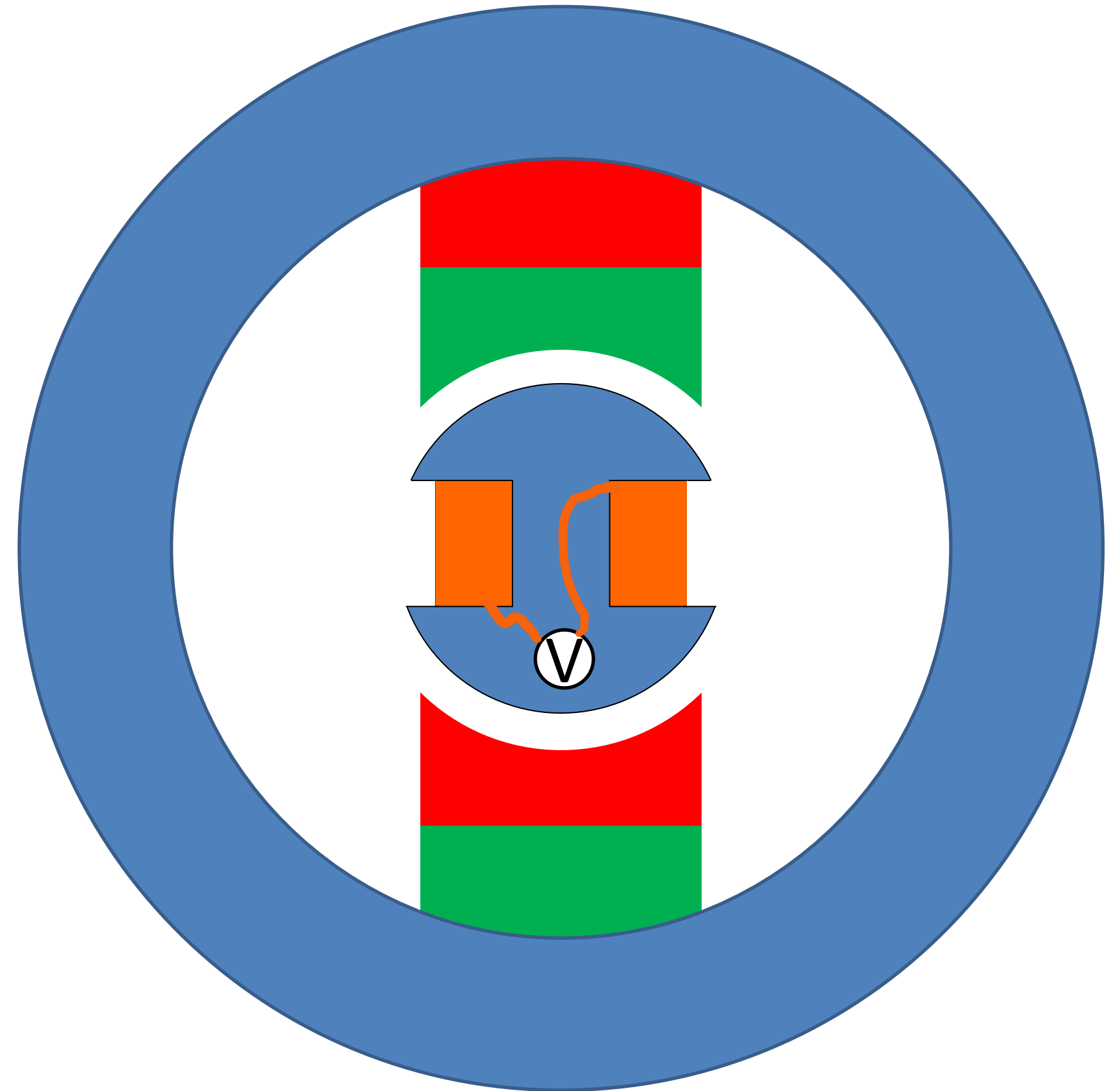
# Tension induite: équation

$$U = Ri + \frac{d\psi}{dt}$$

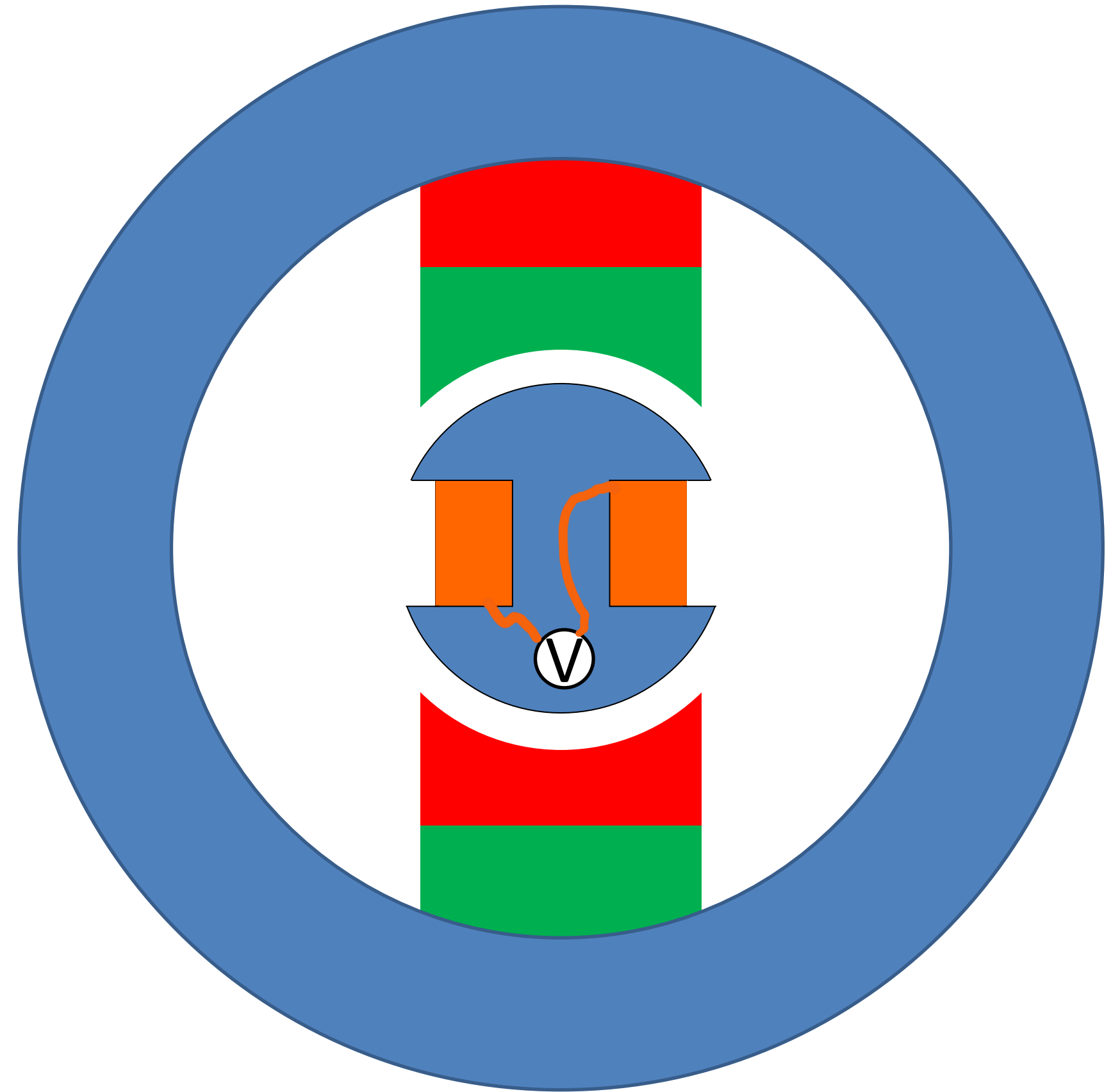
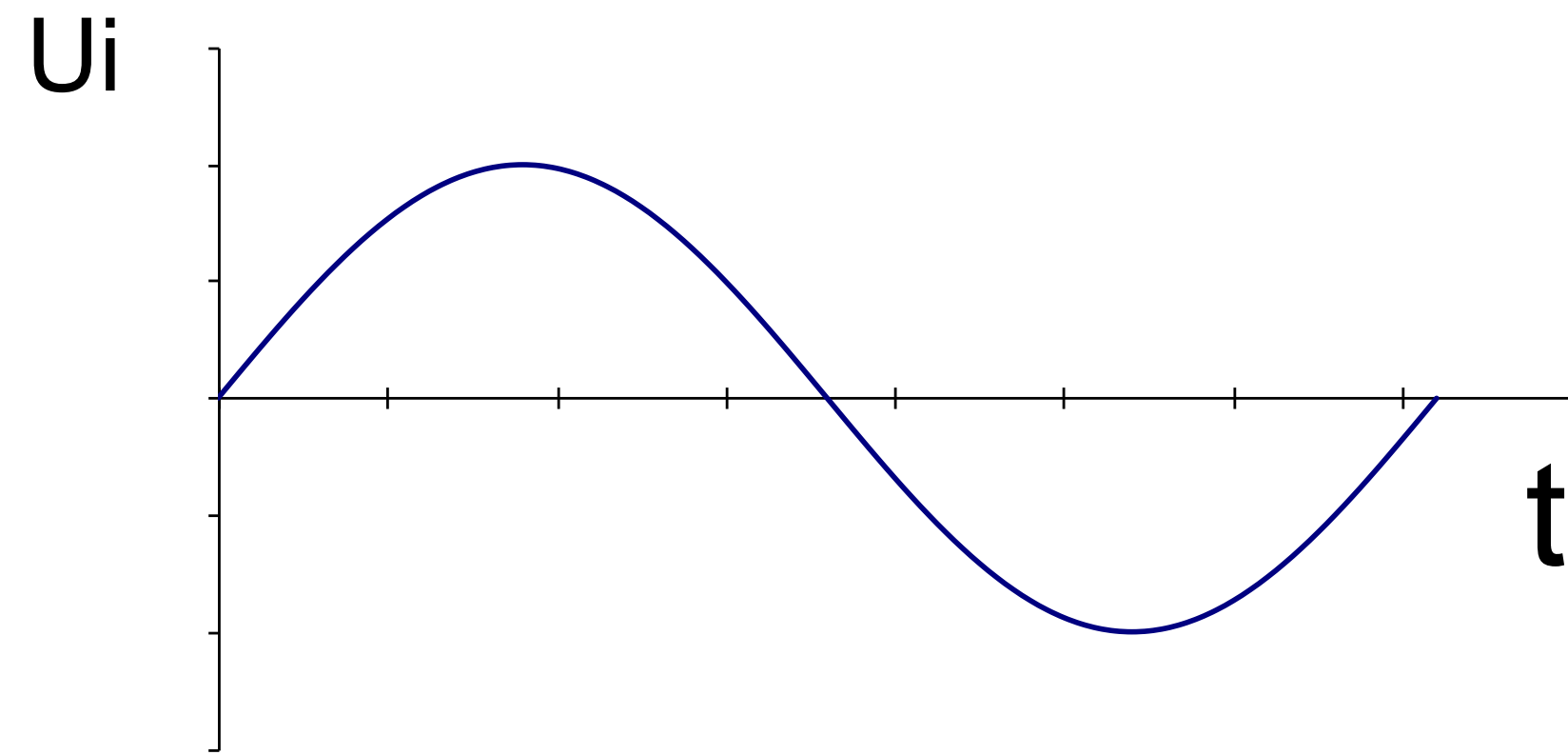
$$i = 0$$

$$\psi = N\phi_{rs}$$

$$\phi_{rs} = \hat{\phi}_a \sin(\alpha)$$

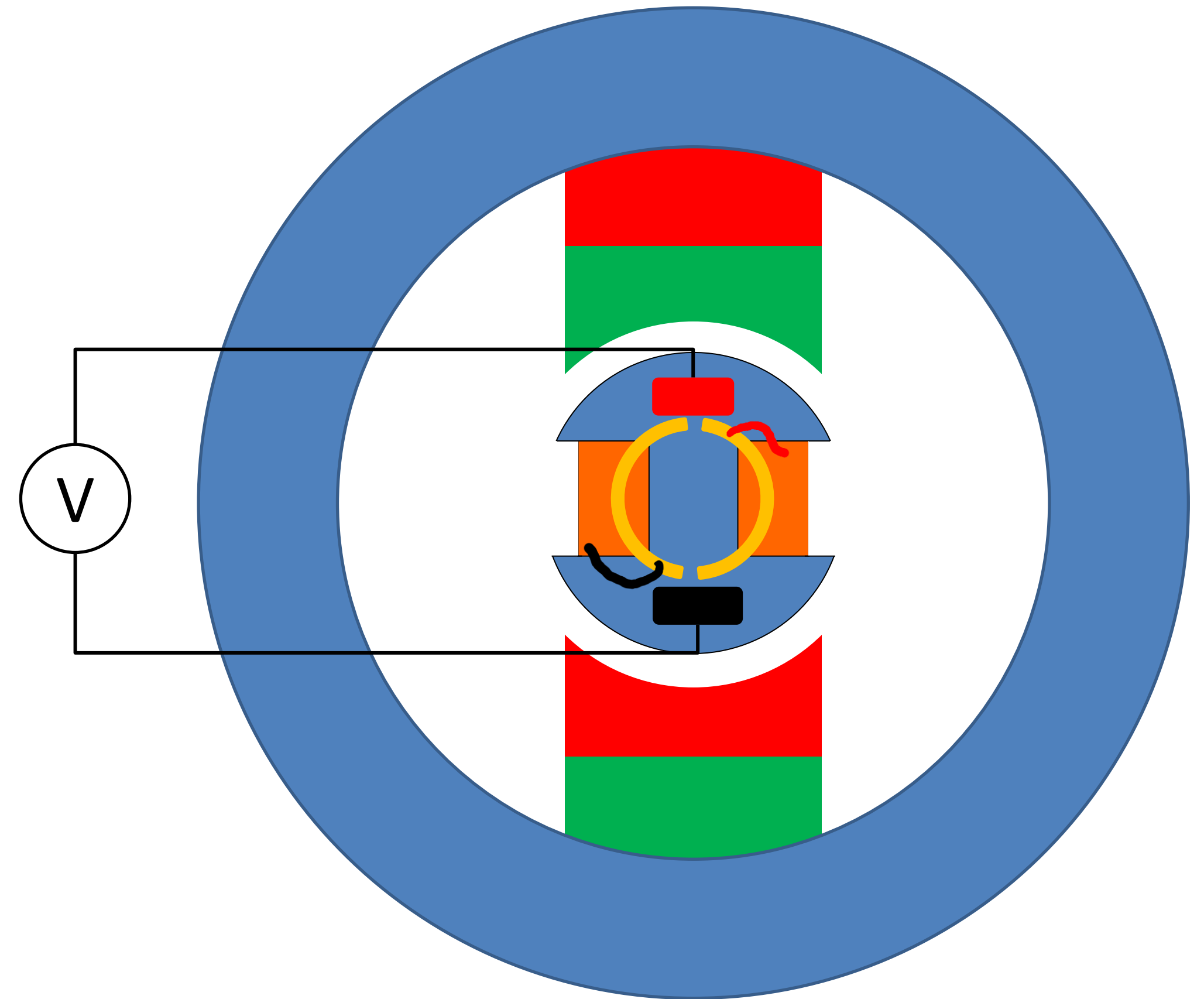


# Tension induite: 1 bobine

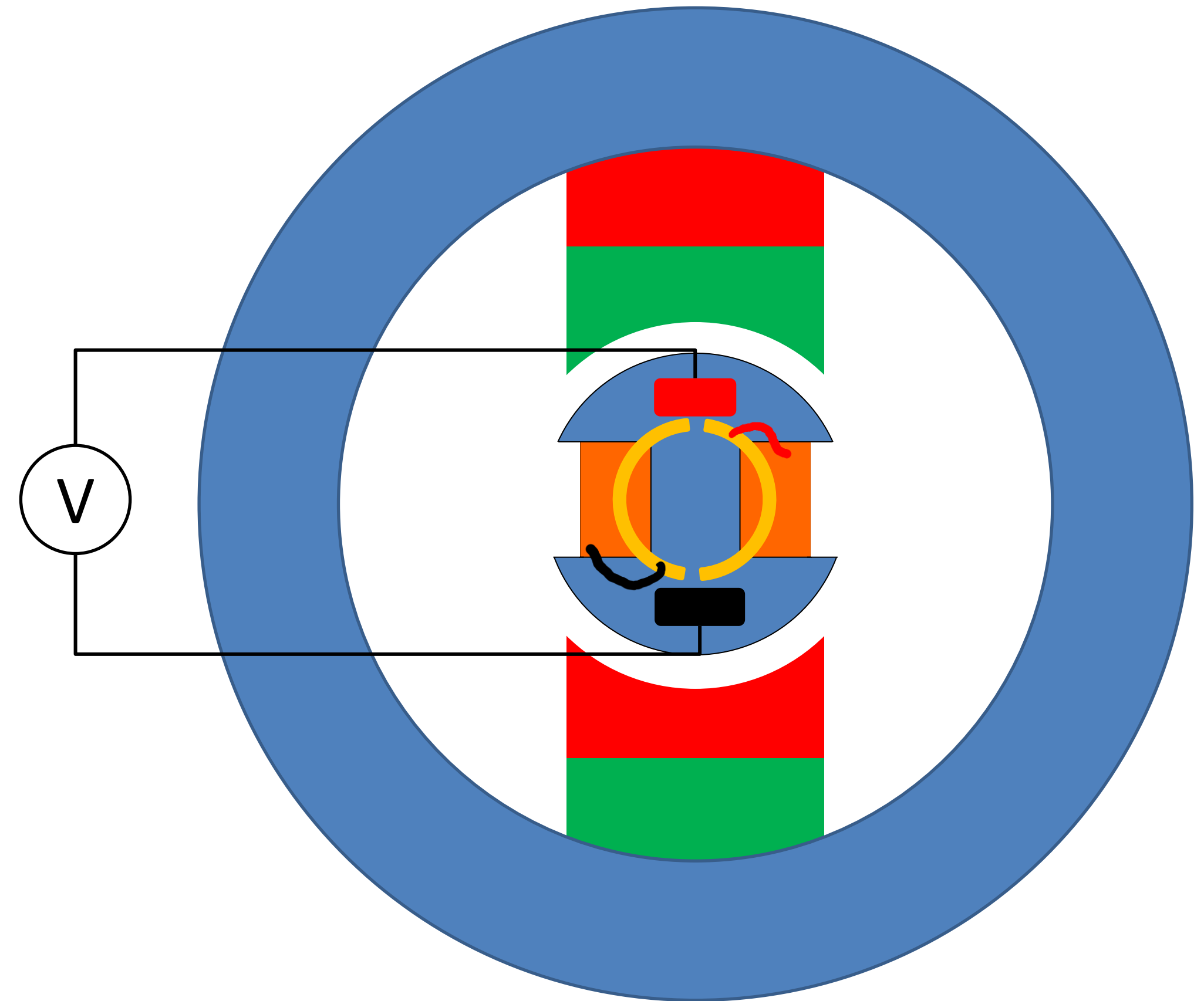
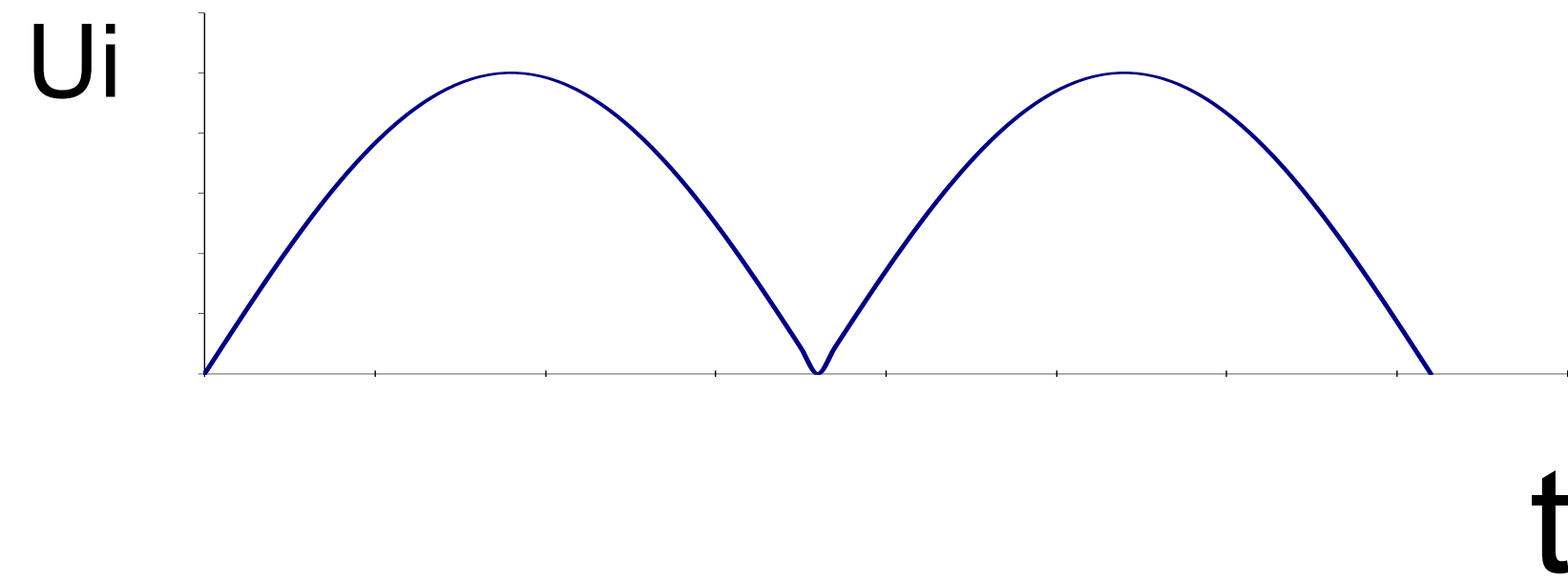


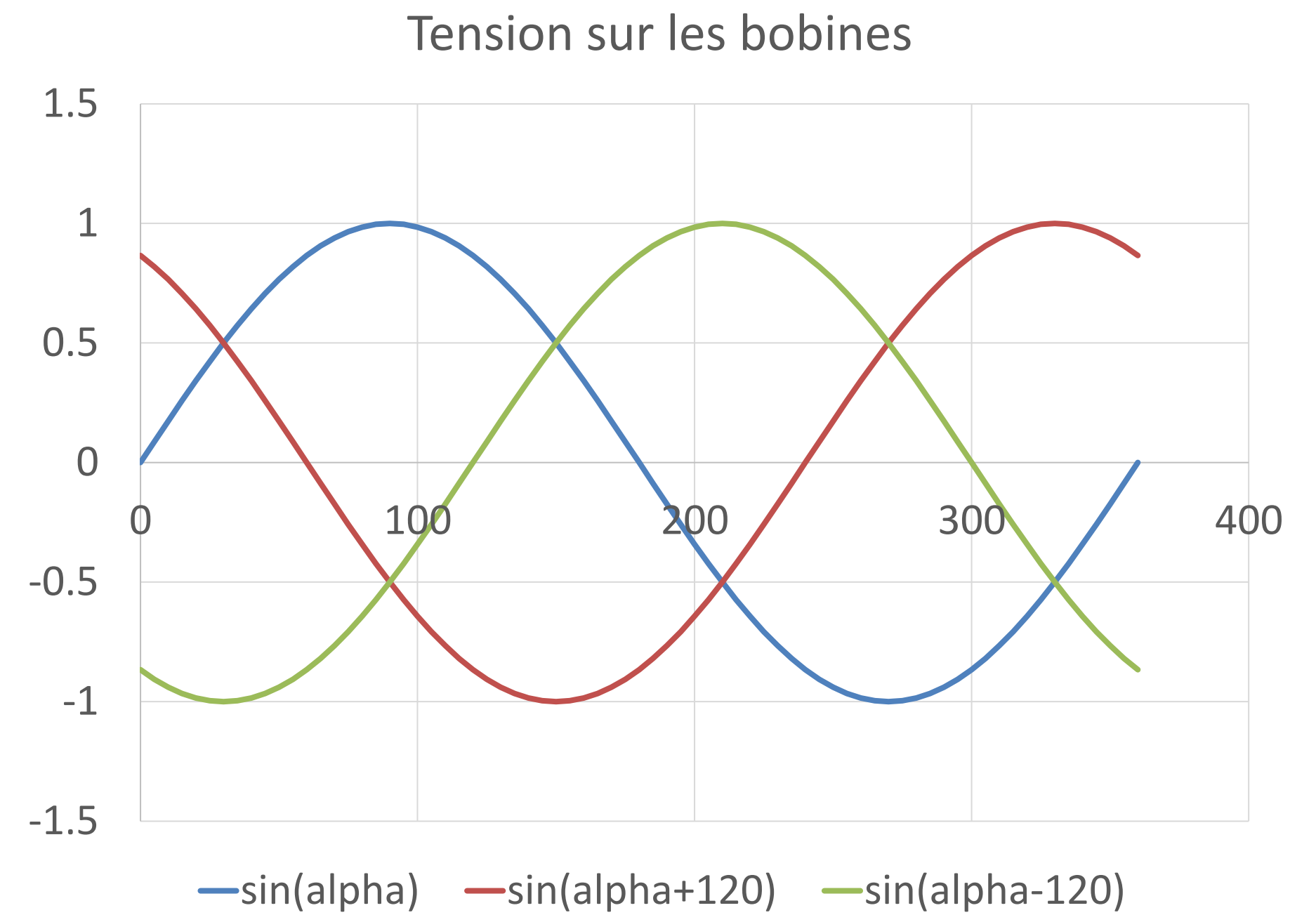
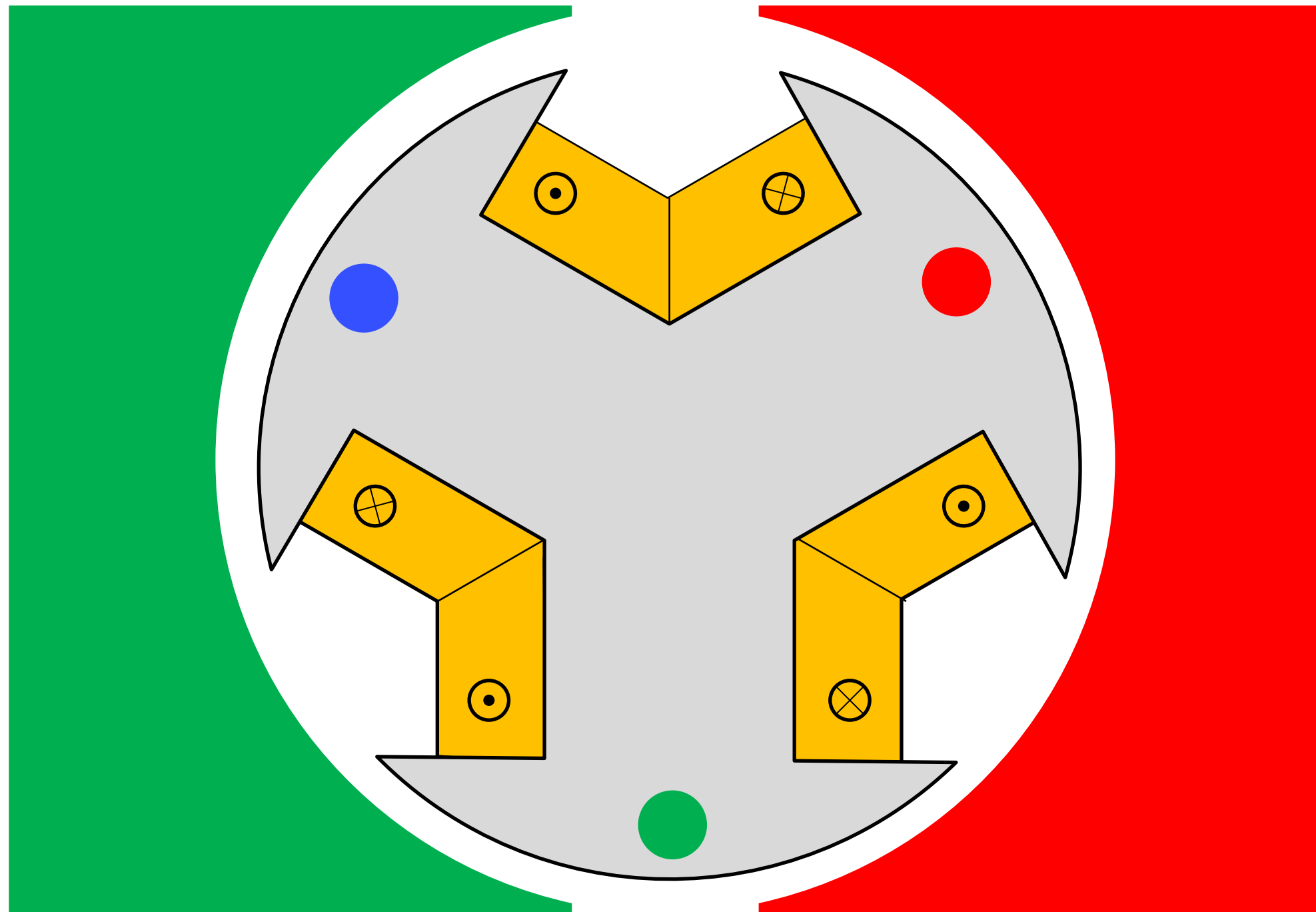


# Tension: 1 bobine redressée

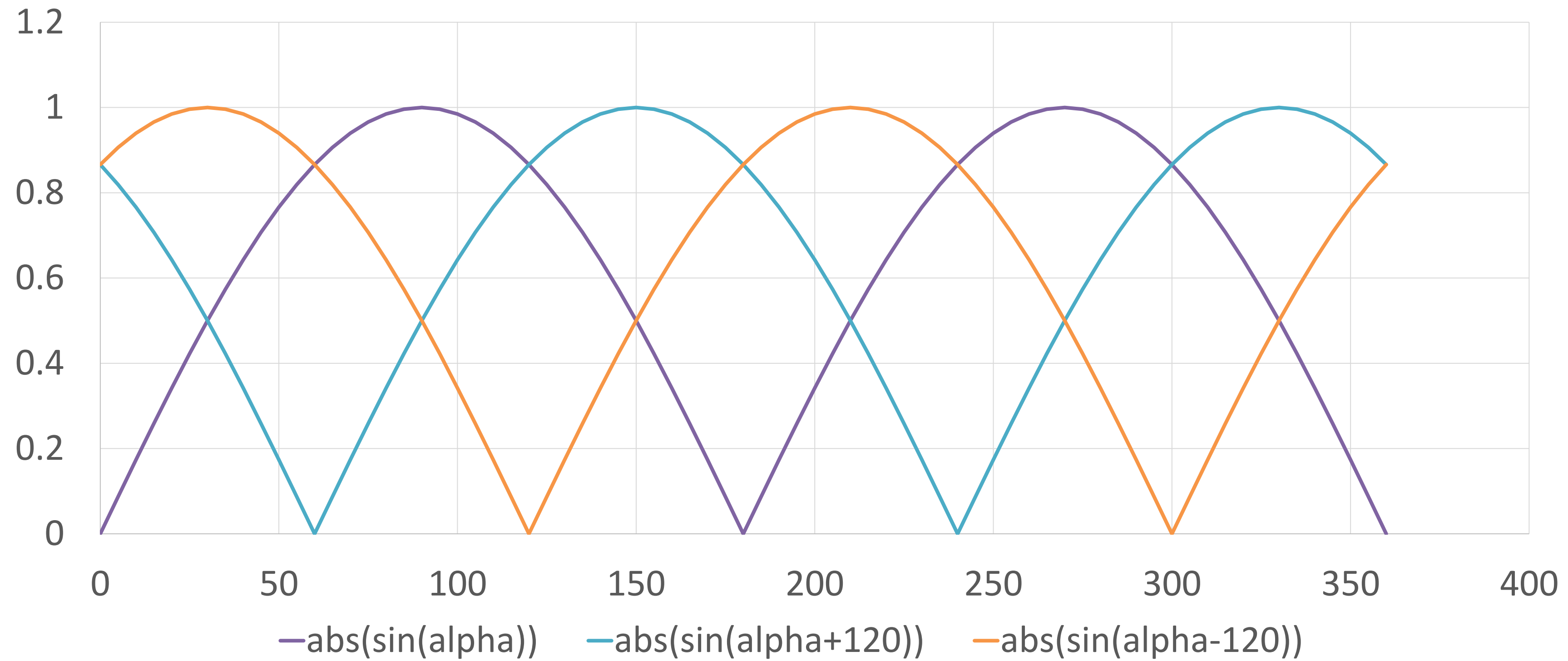


# Tension: 1 bobine redressée



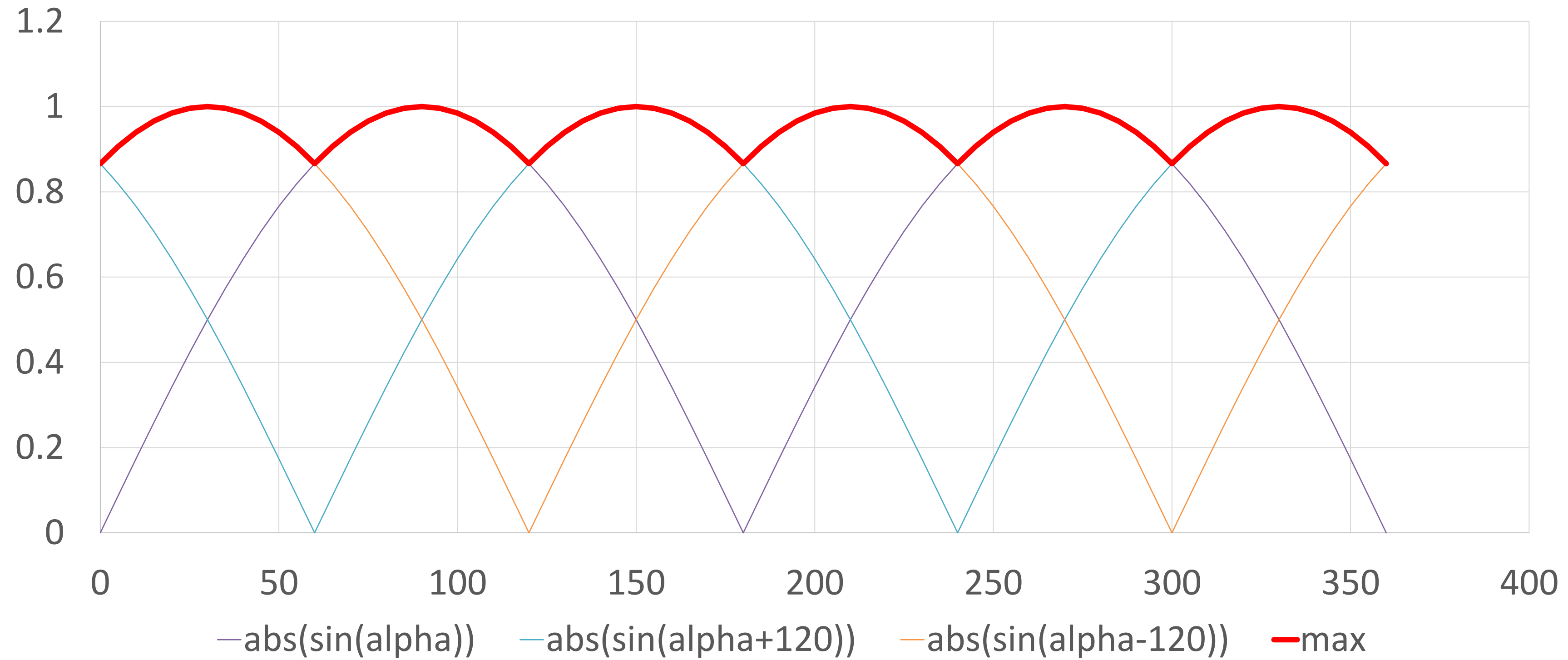


## Tensions redressées





## Tensions redressées

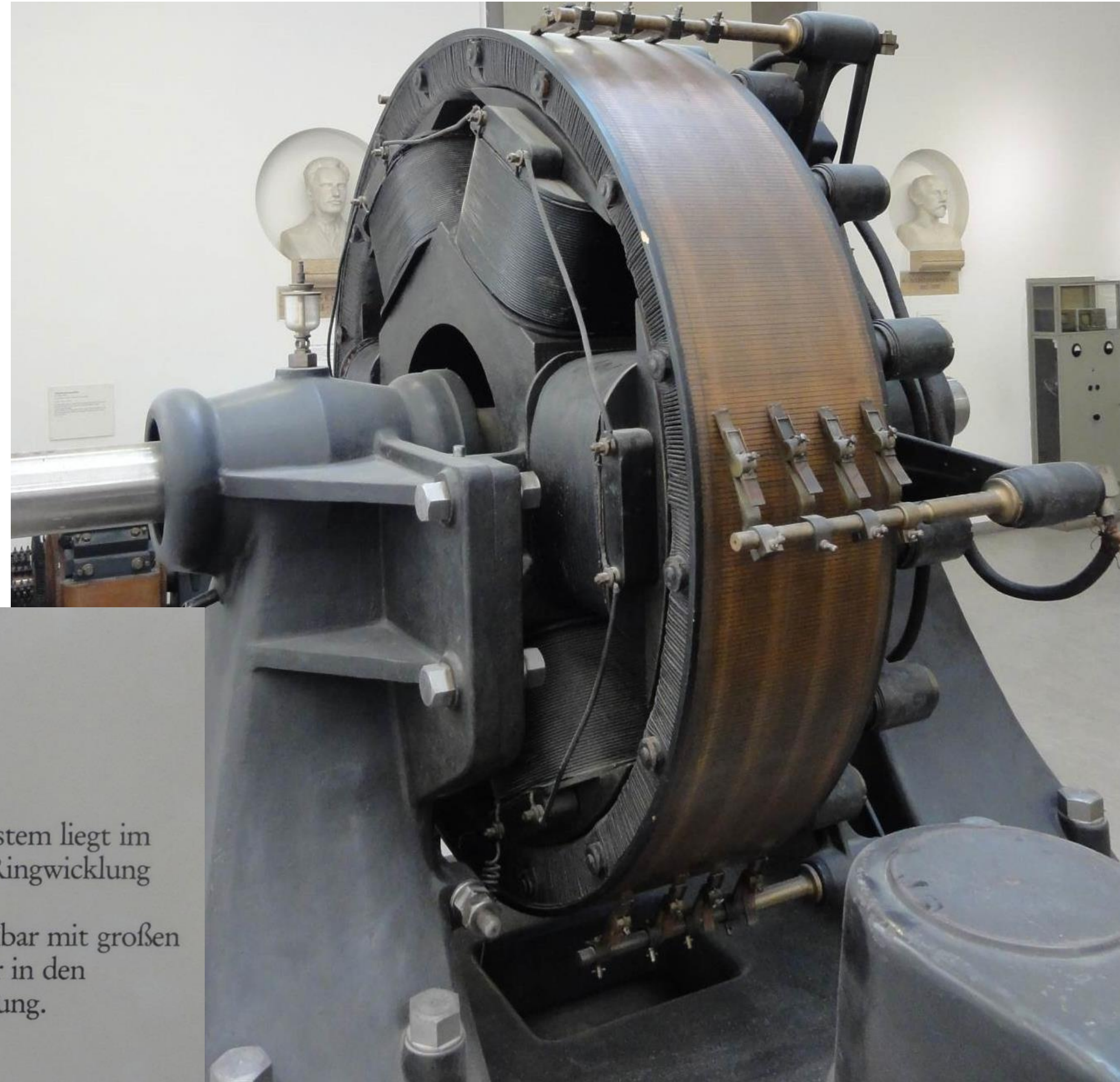


Zénobe Gramme (1826-1901):  
Electricien belge, met au point la  
première dynamo industrielle (1869)





# Multipolaire à rotor externe



## Innenpolmaschine

von Siemens & Halske, 1887

*Internal pole dynamo*

Außenliegender Ringanker, 220 V, 700 A, 200 min<sup>-1</sup>

Das feststehende, sternförmig ausgebildete Magnetsystem liegt im Innern des rotierenden Ringes. Der äußere Teil der Ringwicklung dient als Kollektor.

Diese langsamlaufenden Maschinen konnten unmittelbar mit großen Dampfmaschinen gekuppelt werden. Sie fanden daher in den Elektrizitätswerken von 1886 bis 1900 weite Verbreitung.

Inv.-Nr. 3574

- Excitation bobine ou aimant
- Flux mutuel => tension induite rotorique
- $U_i$  proportionnelle à  $\Omega$
- Redresseur mécanique



# Moteur CC: équations caractéristiques

$$U = Ri + \frac{d\psi}{dt}$$

$$\psi = Li + \psi_{ra}$$

$$U = Ri + \frac{Ldi}{dt} + Nk_w \hat{\phi}_a p \sin(p\alpha) \Omega$$

$$U = RI + k_u \hat{\phi}_a \Omega$$

- Tension

$$U = RI + k_u \hat{\phi}_a \Omega$$

- Couple

$$M = k_u \hat{\phi}_a I$$

# Alimentation à $U$ constante, caractéristique $M(\Omega)$

$$U = RI + k_u \hat{\phi}_a \Omega$$

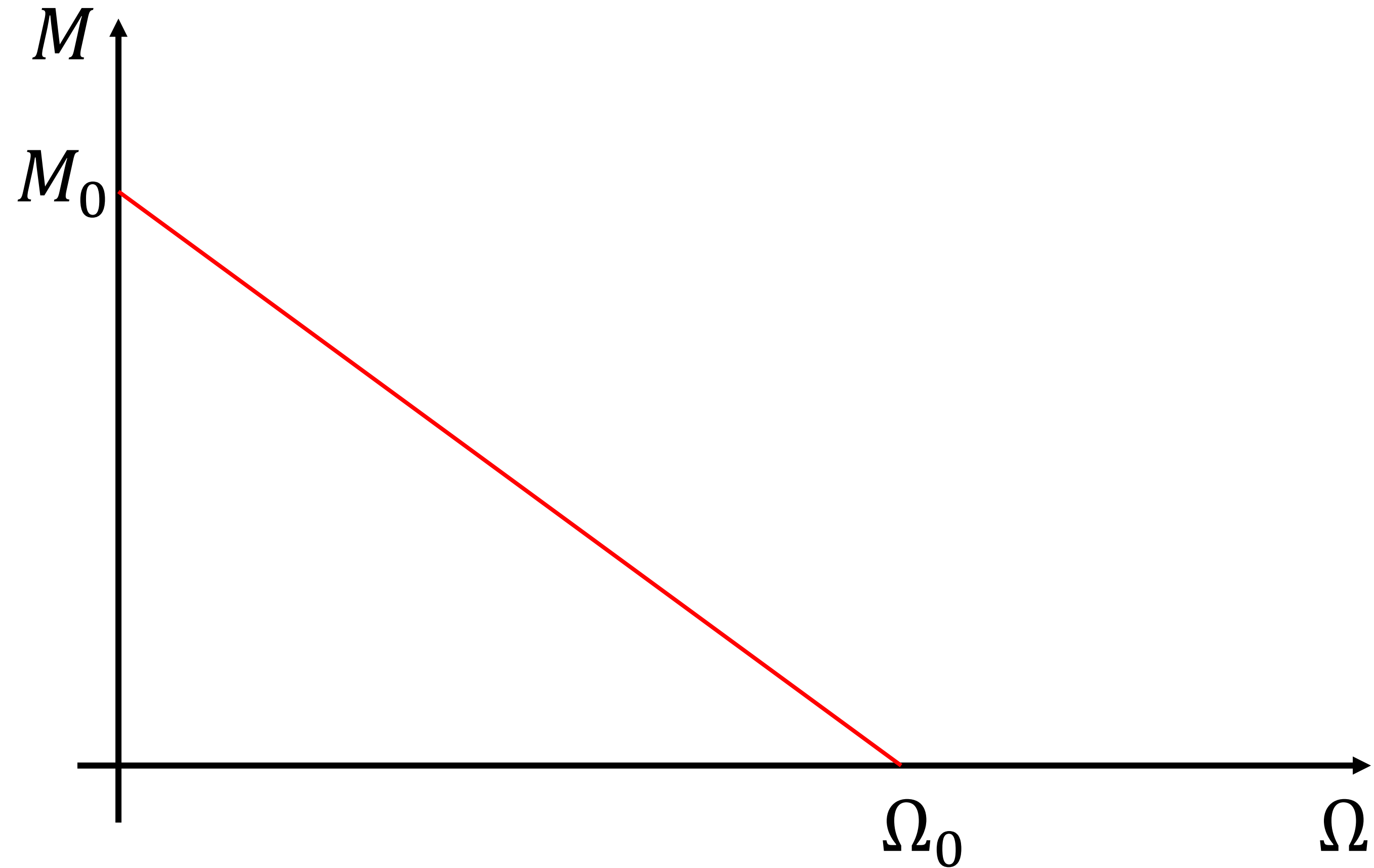
$$M = k_u \hat{\phi}_a I$$





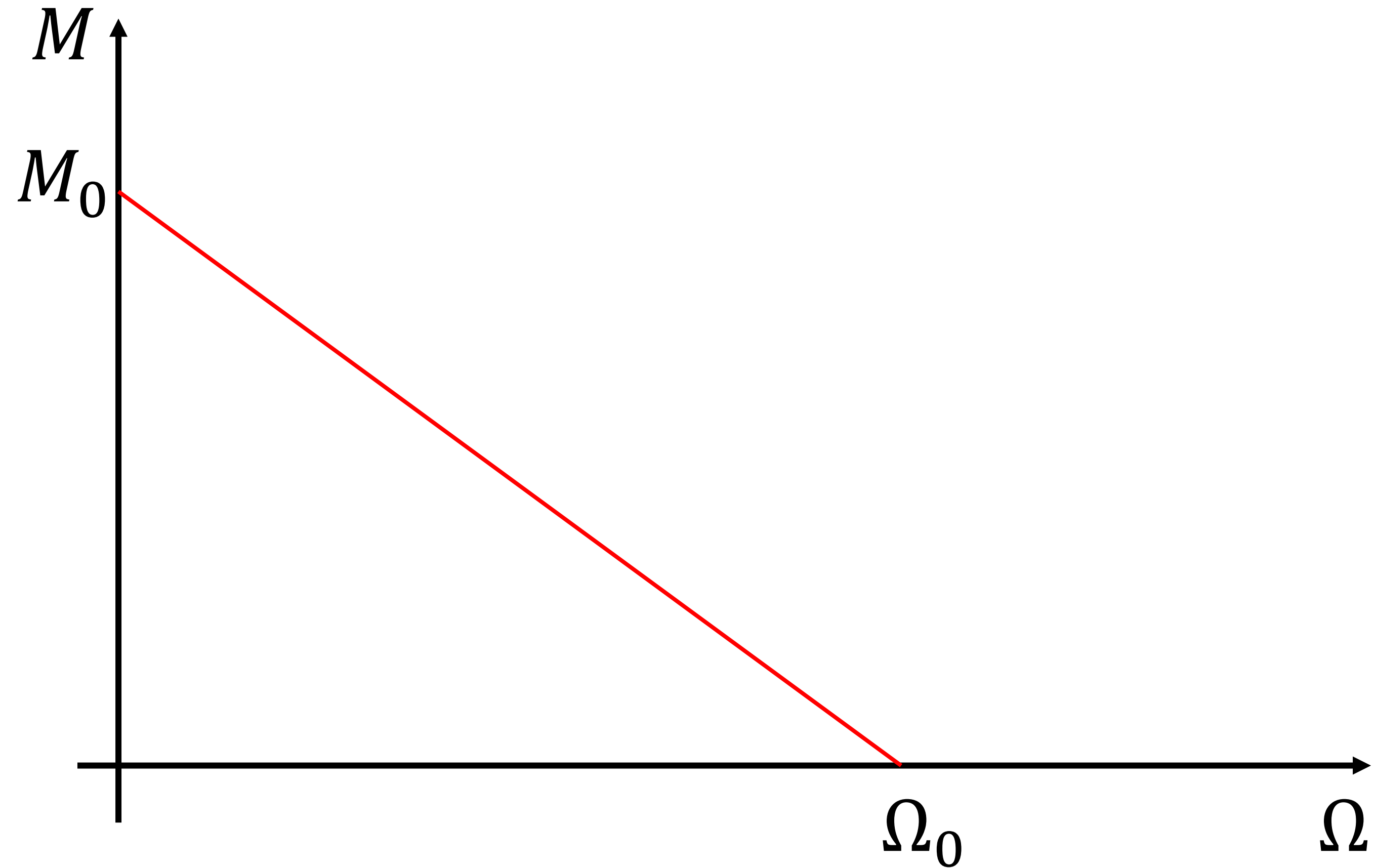
$$M_0 = k_u \hat{\phi}_a \frac{U}{R}$$

$$\Omega_0 = \frac{U}{k_u \hat{\phi}_a}$$



$$P_J = RI^2$$

$$M = k_u \hat{\phi}_a I$$



# Exercice:

Quelle est la puissance maximale que peut délivrer le moteur suivant lorsqu'il est alimenté avec une tension de 24V ?

## RE 25 Ø25 mm, Commutation Graphite, 20 Watt

- Programme Stock
- Programme Standard
- Programme Spécial (sur demande)

| Numéros d'article                          |            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |       |
|--|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| 302534                                     | 339149     | 339150 | 339151 | 339152 | 339153 | 339154 | 339155 | 339156 | 339157 | 339158 |       |
| Caractéristiques moteur                    |            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |       |
| Valeurs à la tension nominal               |            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |       |
| 1 Tension nominale                         | V          | 7.2    | 9      | 12     | 18     | 24     | 30     | 36     | 48     | 48     | 48    |
| 2 Vitesse à vide                           | tr/min     | 10500  | 9710   | 9620   | 10400  | 10900  | 9210   | 10100  | 9540   | 8450   | 6720  |
| 3 Courant à vide                           | mA         | 133    | 93.2   | 68.1   | 50.6   | 40.2   | 25     | 23.7   | 16.4   | 13.7   | 9.89  |
| 4 Vitesse nominale                         | tr/min     | 8970   | 8260   | 8310   | 9190   | 9690   | 8010   | 8860   | 8360   | 7270   | 5530  |
| 5 Couple nominal (couple permanent max.)   | mNm        | 21.9   | 24.4   | 27.5   | 29.1   | 30.4   | 31.4   | 30.7   | 31.7   | 32.3   | 32.9  |
| 6 Courant nominal (courant permanent max.) | A          | 3.68   | 2.97   | 2.45   | 1.85   | 1.5    | 1.04   | 0.931  | 0.68   | 0.614  | 0.495 |
| 7 Couple de démarrage                      | mNm        | 259    | 238    | 268    | 297    | 325    | 265    | 279    | 270    | 243    | 192   |
| 8 Courant de démarrage                     | A          | 42.1   | 28.1   | 23.2   | 18.4   | 15.6   | 8.61   | 8.24   | 5.67   | 4.51   | 2.84  |
| 9 Rendement max.                           | %          | 79     | 81     | 84     | 86     | 88     | 88     | 88     | 89     | 88     | 88    |
| Caractéristiques                           |            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |       |
| 10 Résistance aux bornes                   | Ω          | 0.171  | 0.32   | 0.517  | 0.98   | 1.53   | 3.49   | 4.37   | 8.47   | 10.6   | 16.9  |
| 11 Inductivité                             | mH         | 0.016  | 0.031  | 0.057  | 0.112  | 0.186  | 0.407  | 0.493  | 0.979  | 1.25   | 1.97  |
| 12 Constante de couple                     | mNm/A      | 6.15   | 8.46   | 11.5   | 16.1   | 20.8   | 30.8   | 33.8   | 47.7   | 53.8   | 67.7  |
| 13 Constante de vitesse                    | tr/min/V   | 1550   | 1130   | 828    | 591    | 460    | 311    | 282    | 200    | 177    | 141   |
| 14 Pente vitesse/couple                    | tr/min/mNm | 43.2   | 42.8   | 37.1   | 35.9   | 34     | 35.2   | 36.5   | 35.6   | 35.1   | 35.2  |
| 15 Constante de temps mécanique            | ms         | 6.52   | 6.06   | 5.62   | 5.36   | 5.24   | 5.17   | 5.16   | 5.13   | 5.12   | 5.12  |
| 16 Inertie du rotor                        | gcm²       | 14.4   | 13.5   | 14.5   | 14.3   | 14.7   | 14     | 13.5   | 13.8   | 13.9   | 13.9  |

$$U = RI + k_u \hat{\phi}_a \Omega$$

$$M = k_u \hat{\phi}_a I$$

$$P_{mec} = M\Omega$$

## Spécifications

### Données thermiques

|    |  |              |
|----|--|--------------|
| 17 | Résistance therm. carcasse/air ambiant | 14.4 K/W     |
| 18 | Résistance therm. bobinage/carcasse    | 5.1 K/W      |
| 19 | Constante de temps therm. bobinage     | 27.7 s       |
| 20 | Constante de temps therm. du moteur    | 543 s        |
| 21 | Température ambiante                   | -30...+100°C |
| 22 | Température max. de bobinage           | +155°C       |

### Données mécaniques (roulement à billes)

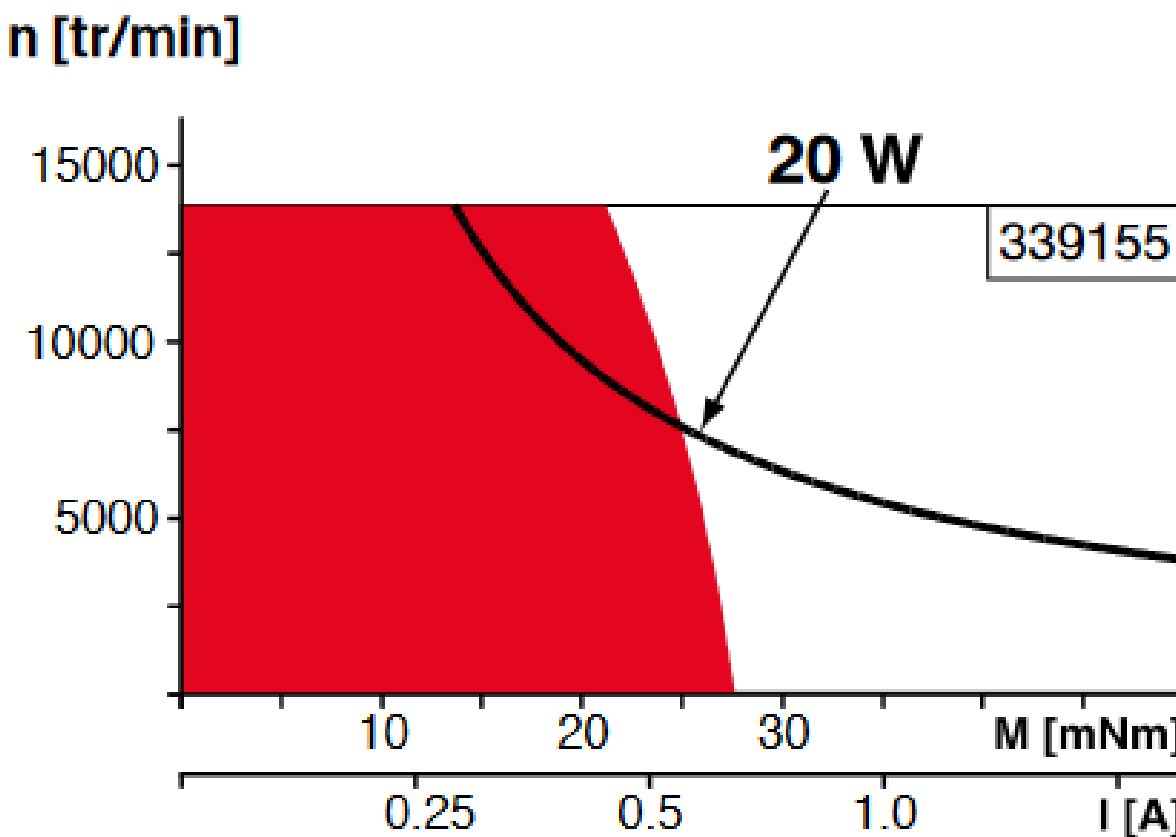
|    |  |                |
|----|--|----------------|
| 23 | Nombre de tours limite   | 14 000 tr/min  |
| 24 | Jeu axial  | 0.05 - 0.15 mm |
| 25 | Jeu radial   | 0.025 mm       |
| 26 | Charge axiale max. (dynamique)                                       | 20 N           |
| 27 | Force de chassage axiale max. (statique)<br>(statique, axe maintenu) | 60 N<br>1000 N |
| 28 | Charge radiale max. à 5 mm du flasque                                | 35 N           |

### Autres spécifications

|    |                               |       |
|----|-------------------------------|-------|
| 29 | Nombre de paires de pôles     | 1     |
| 30 | Nombre de lames au collecteur | 11    |
| 31 | Poids du moteur               | 115 g |

Les caractéristiques moteur du tableau  
sont des valeurs nominales.  
Explications des chiffres page 72.

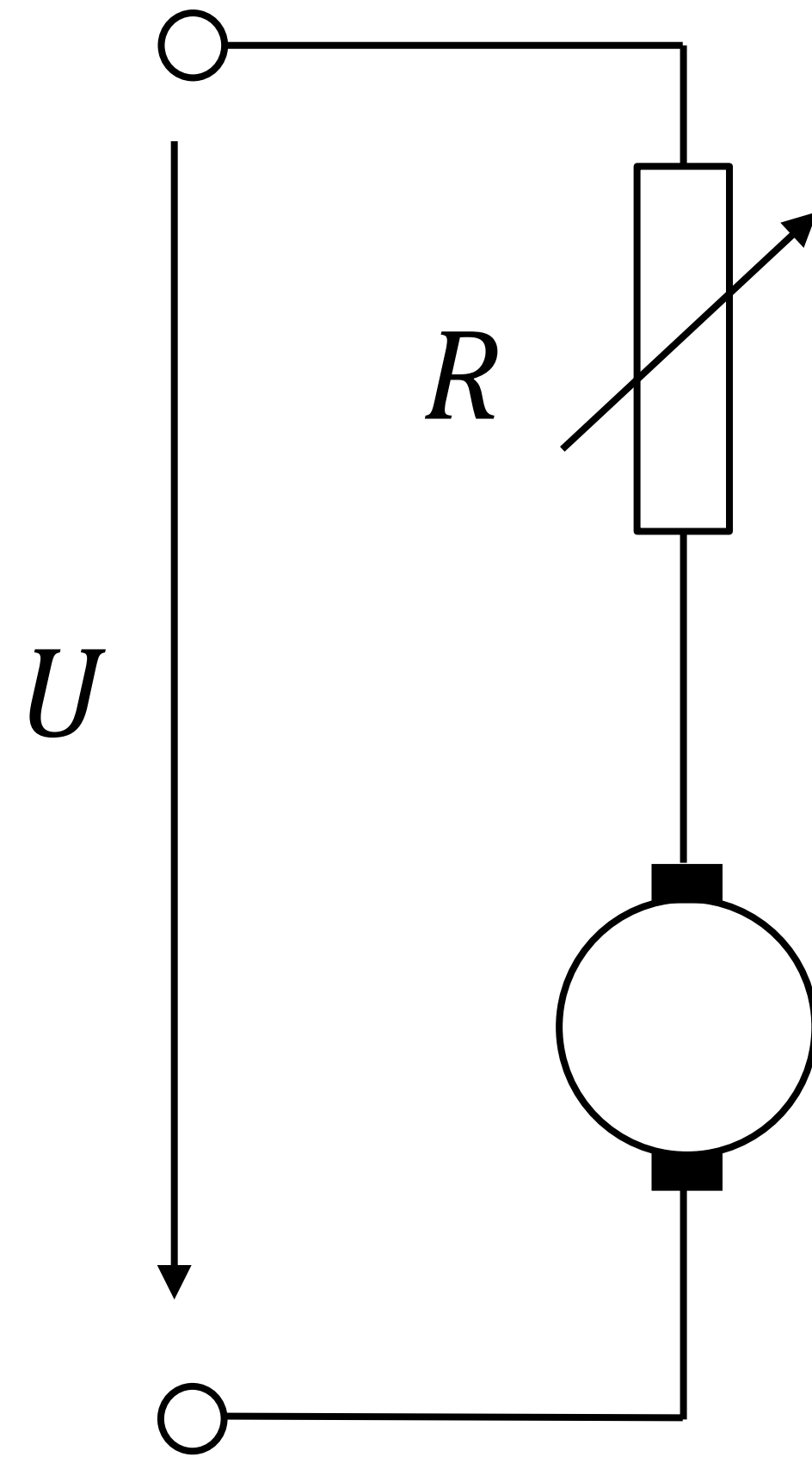
## Plages d'utilisation



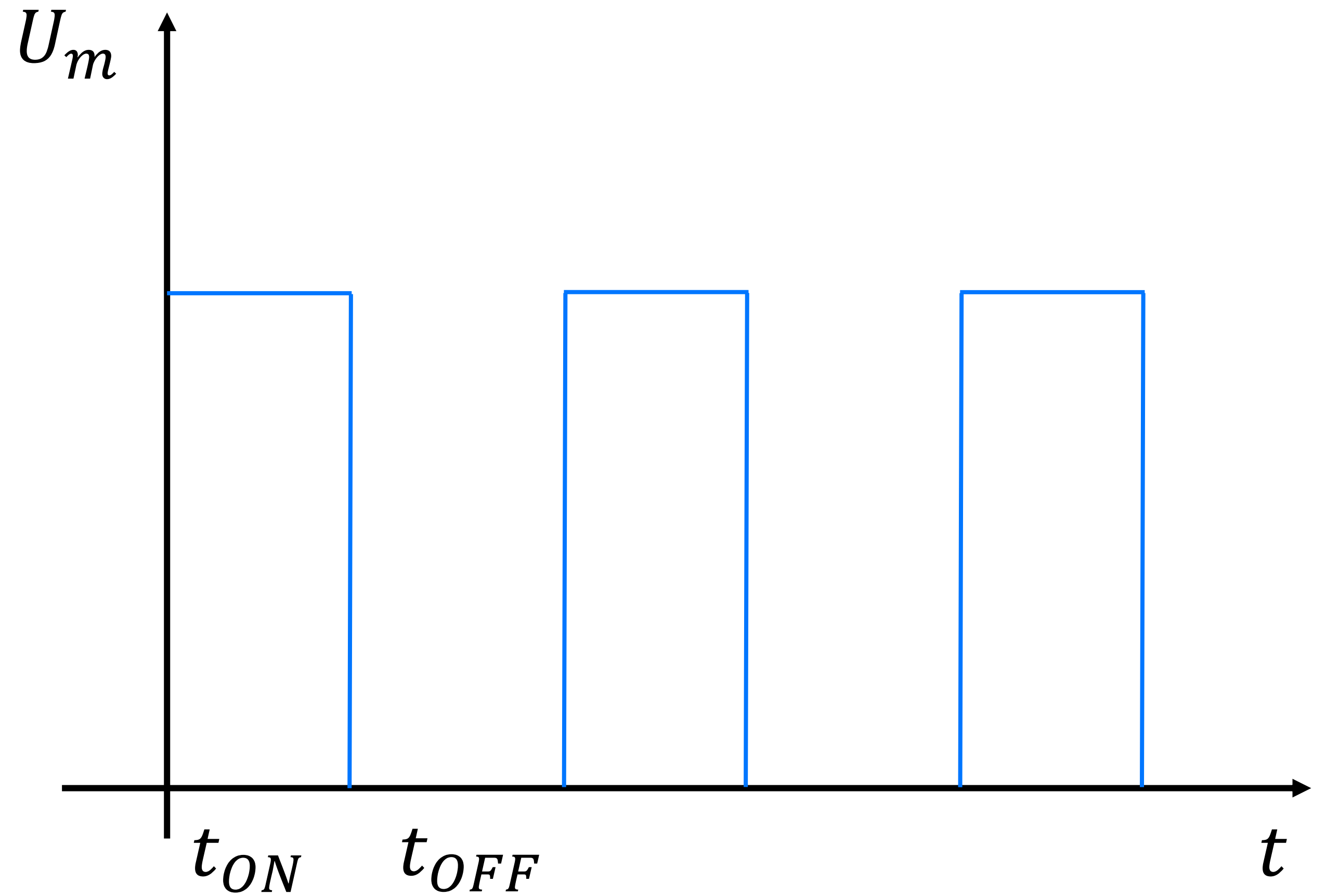
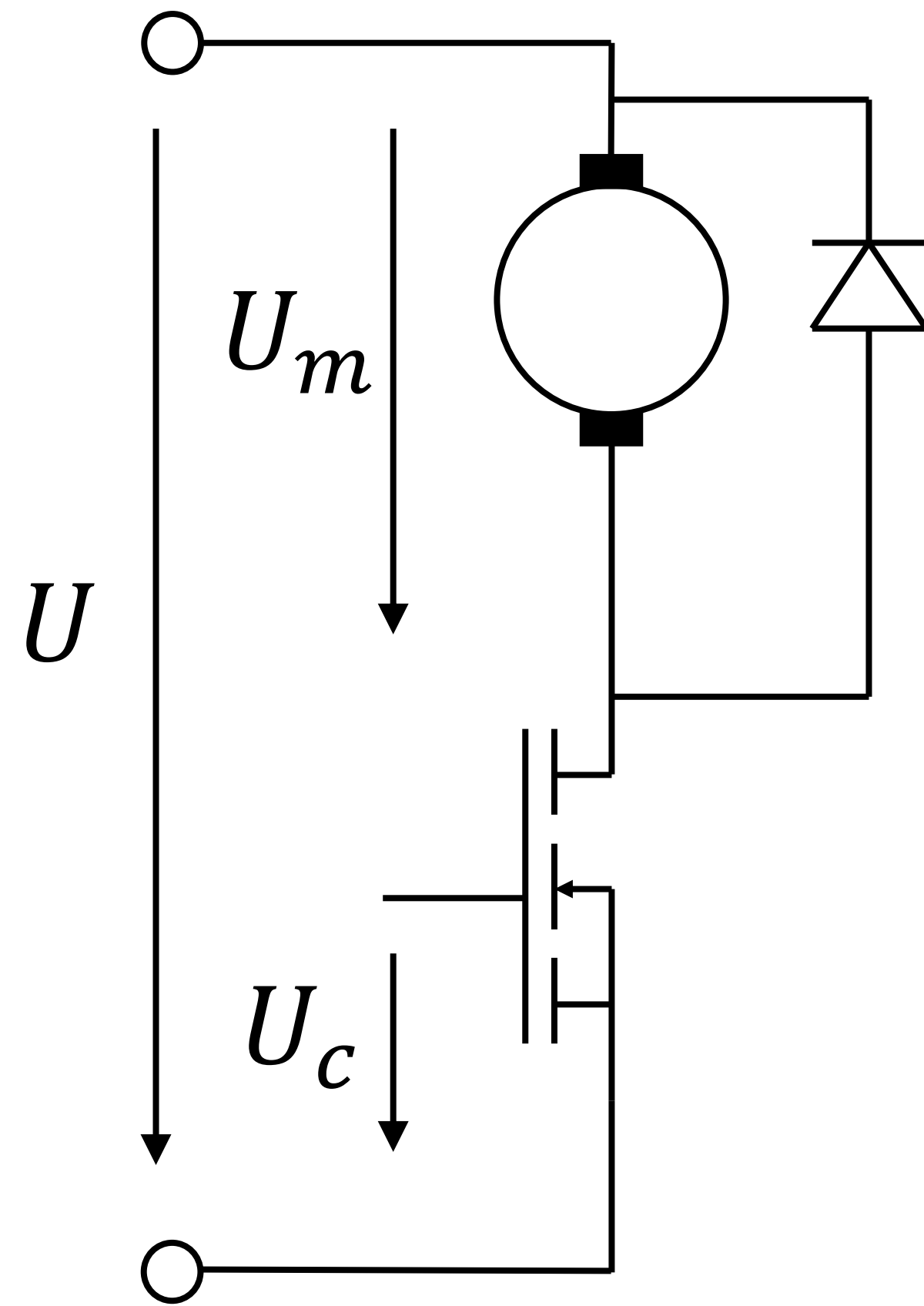
## Légende

- **Plage de fonctionnement permanent**  
Compte tenu des résistances thermiques (lignes 17 et 18) la température maximum du rotor peut être atteinte au valeur nominal de couple et vitesse et à la température ambiante de 25°C.  
= Limite thermique.
- Fonctionnement intermittent**  
La surcharge doit être de courte durée.
- **Puissance conseillée**

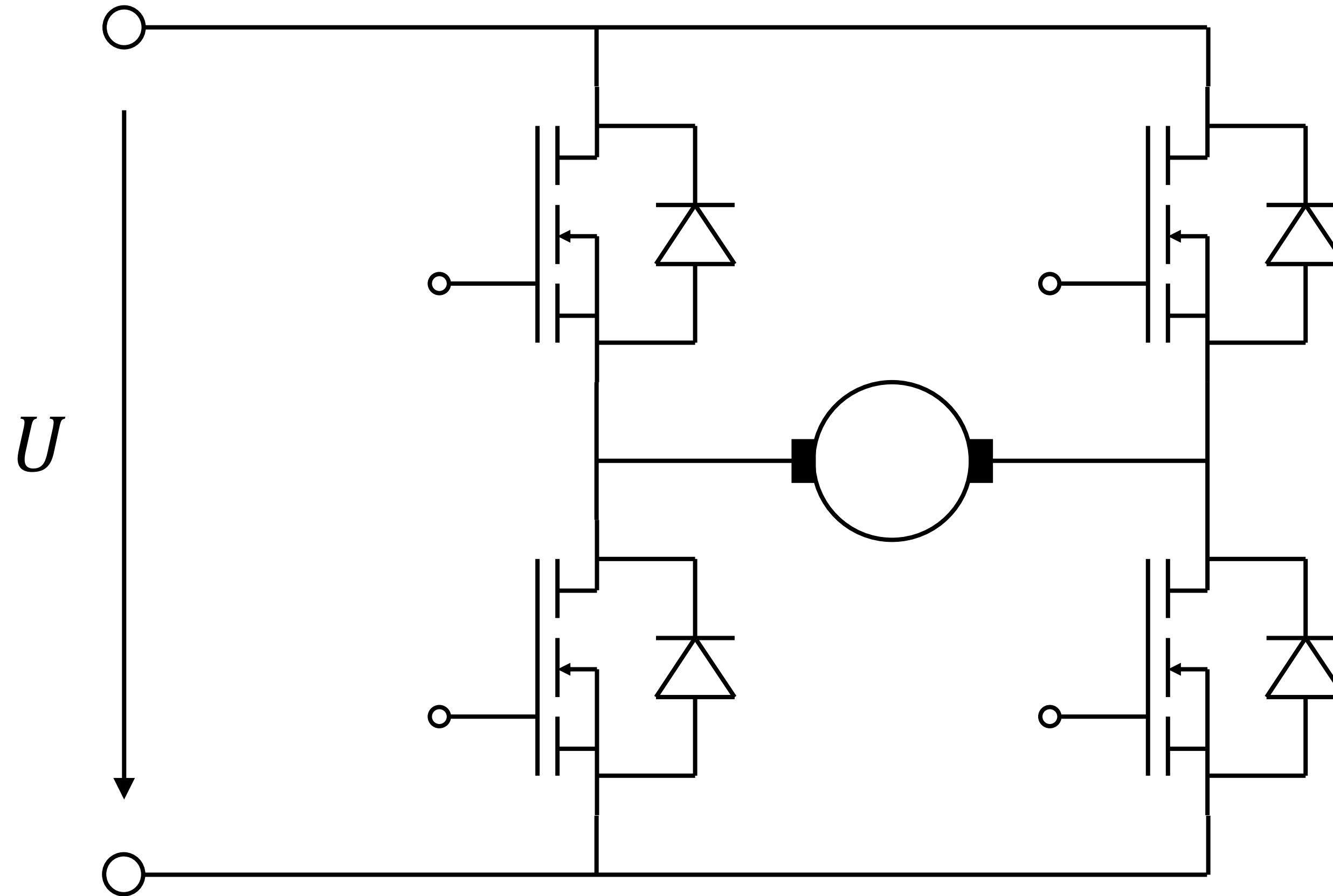




# Implémentation: alimentation unipolaire



# Implémentation: pont en H



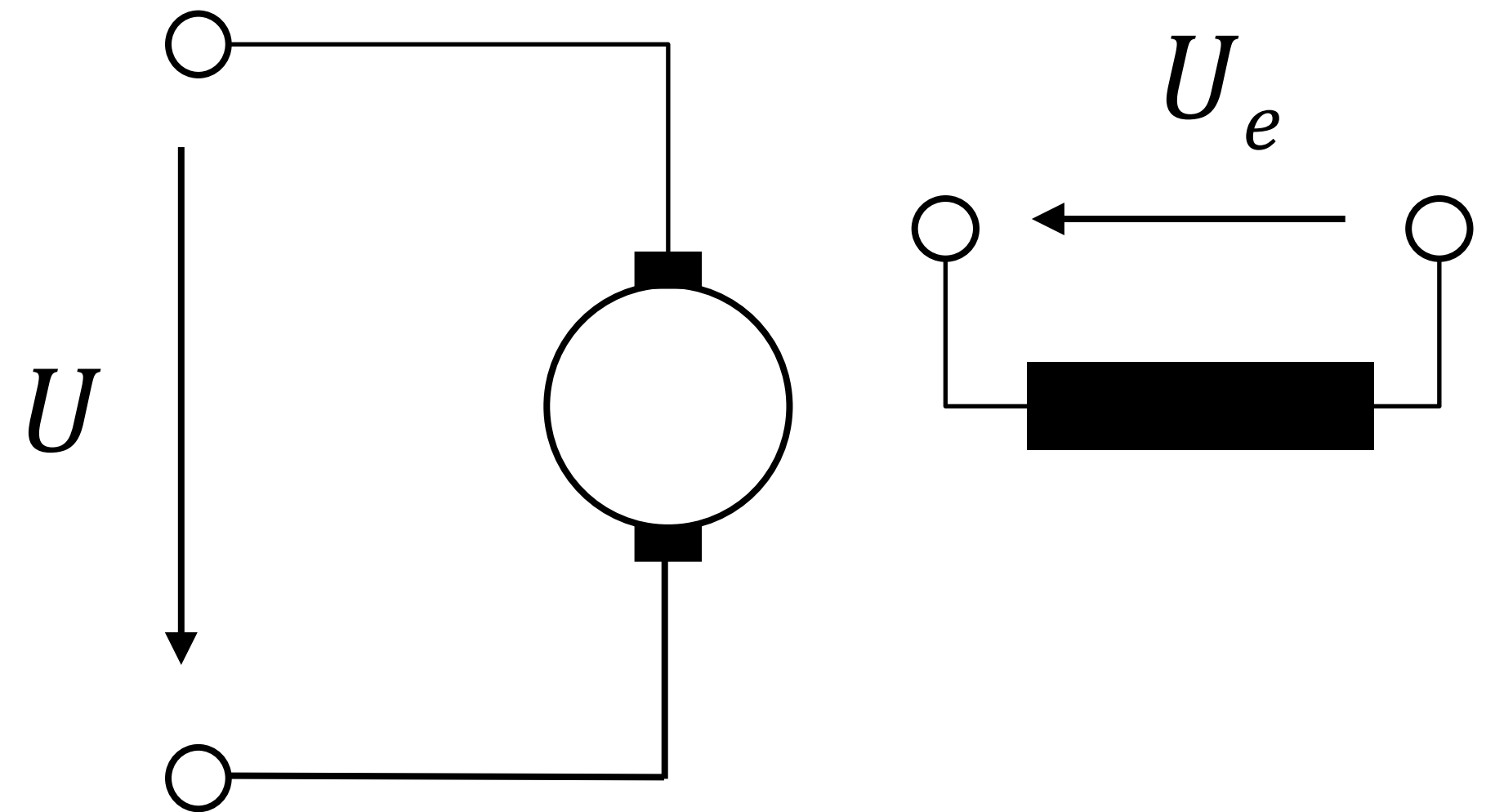
- Influence de la tension et du courant sur la caractéristique  $M(\Omega)$
- Variation de la tension moteur
  - Résistance
  - Alimentation unipolaire
  - Pont en H

- Aimant

$$U = RI + k_u \hat{\phi}_a \Omega$$

$$M = k_u \hat{\phi}_a I$$

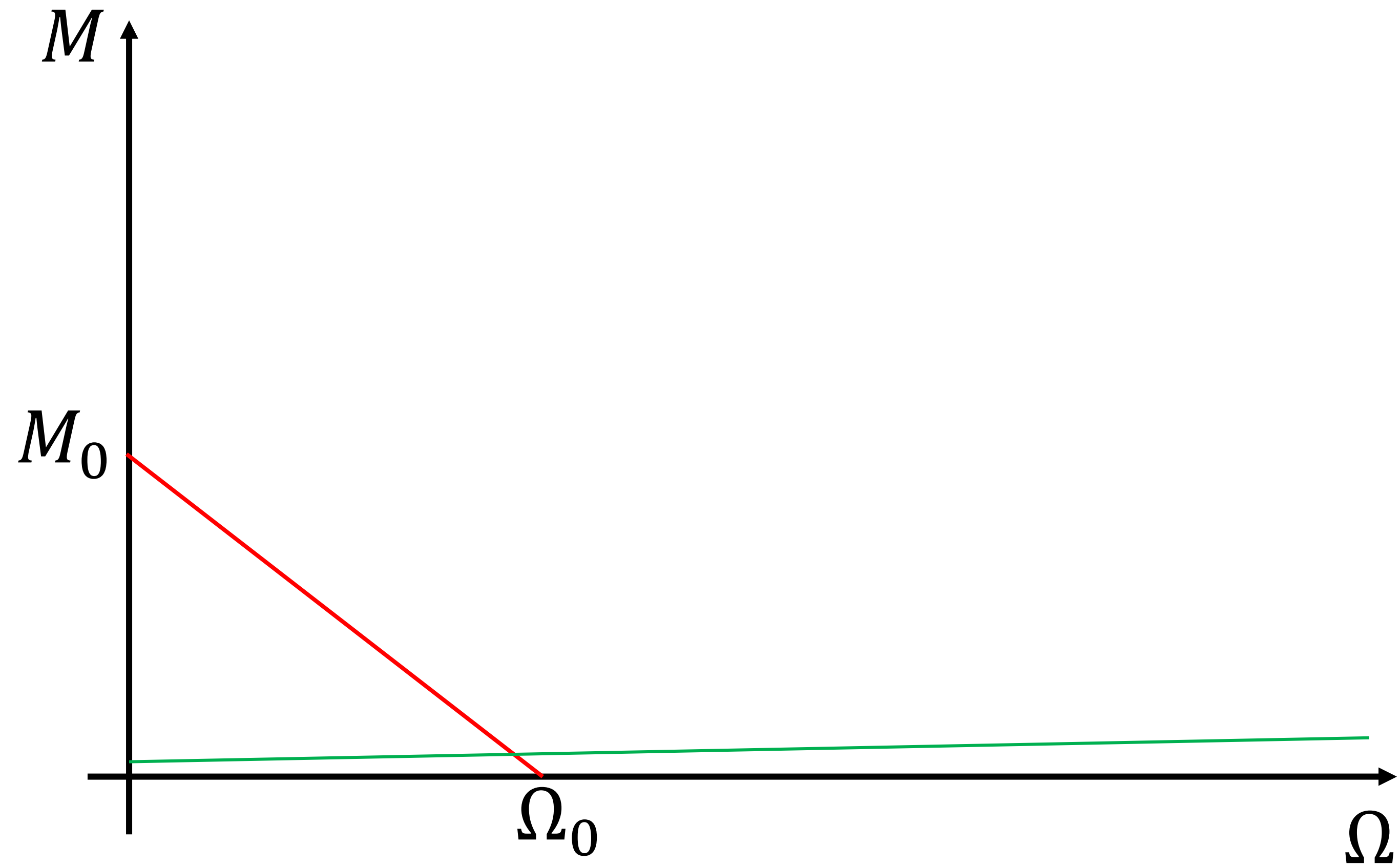
- Bobine



# Démo: excitation séparée

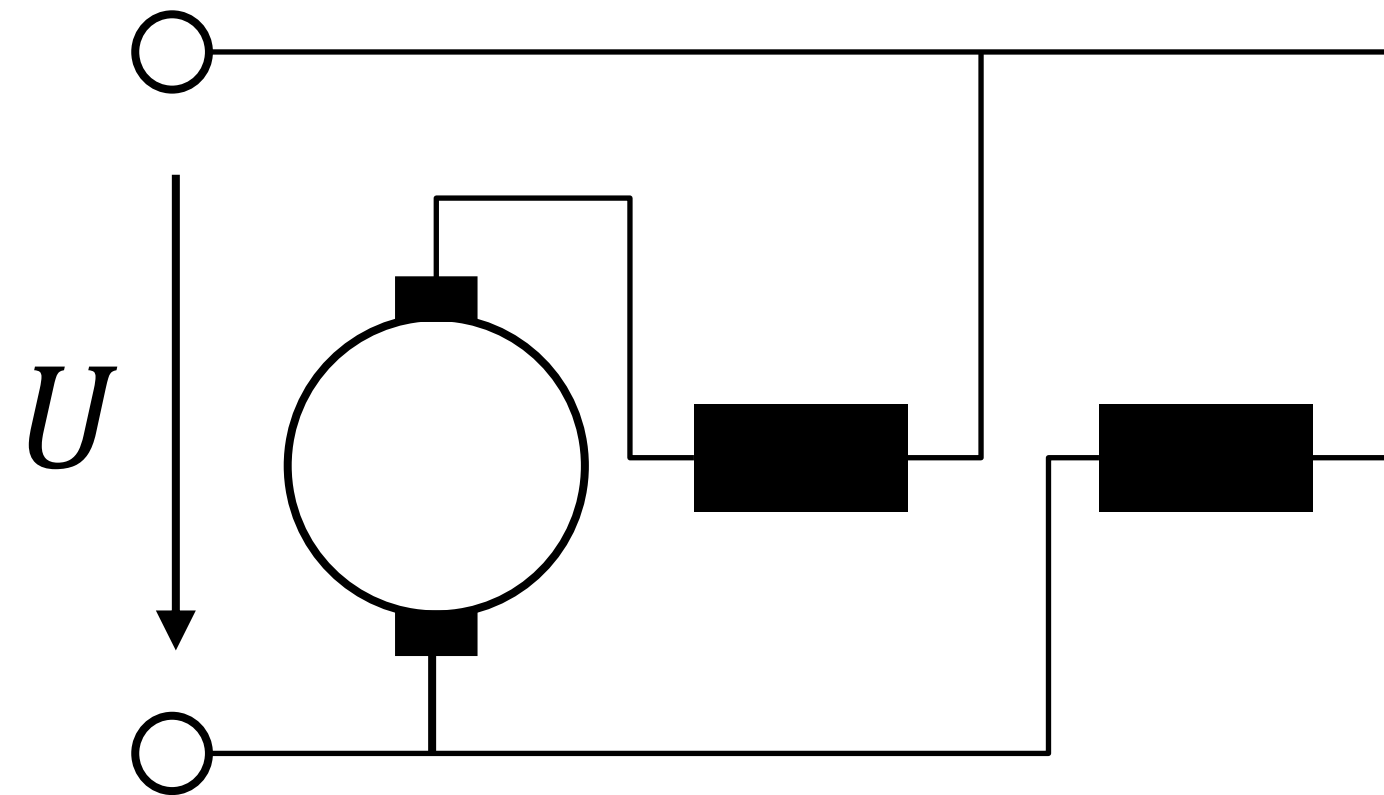
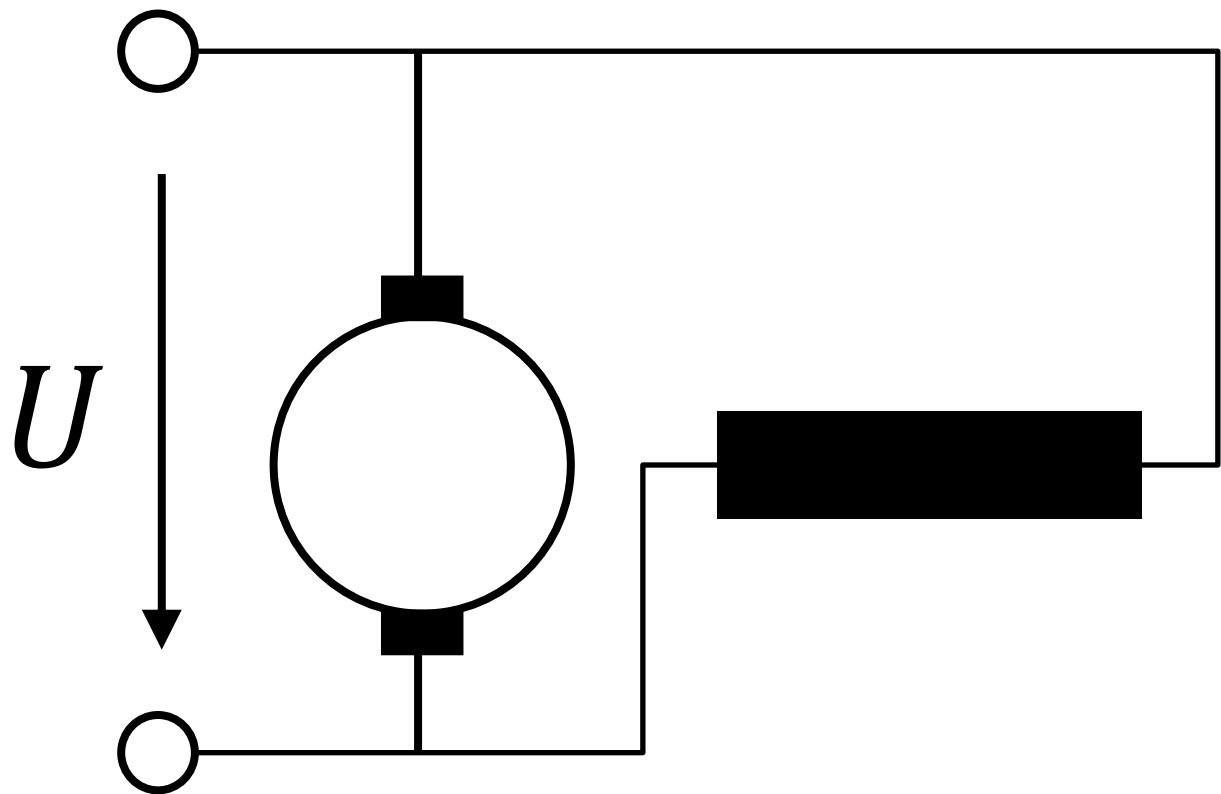
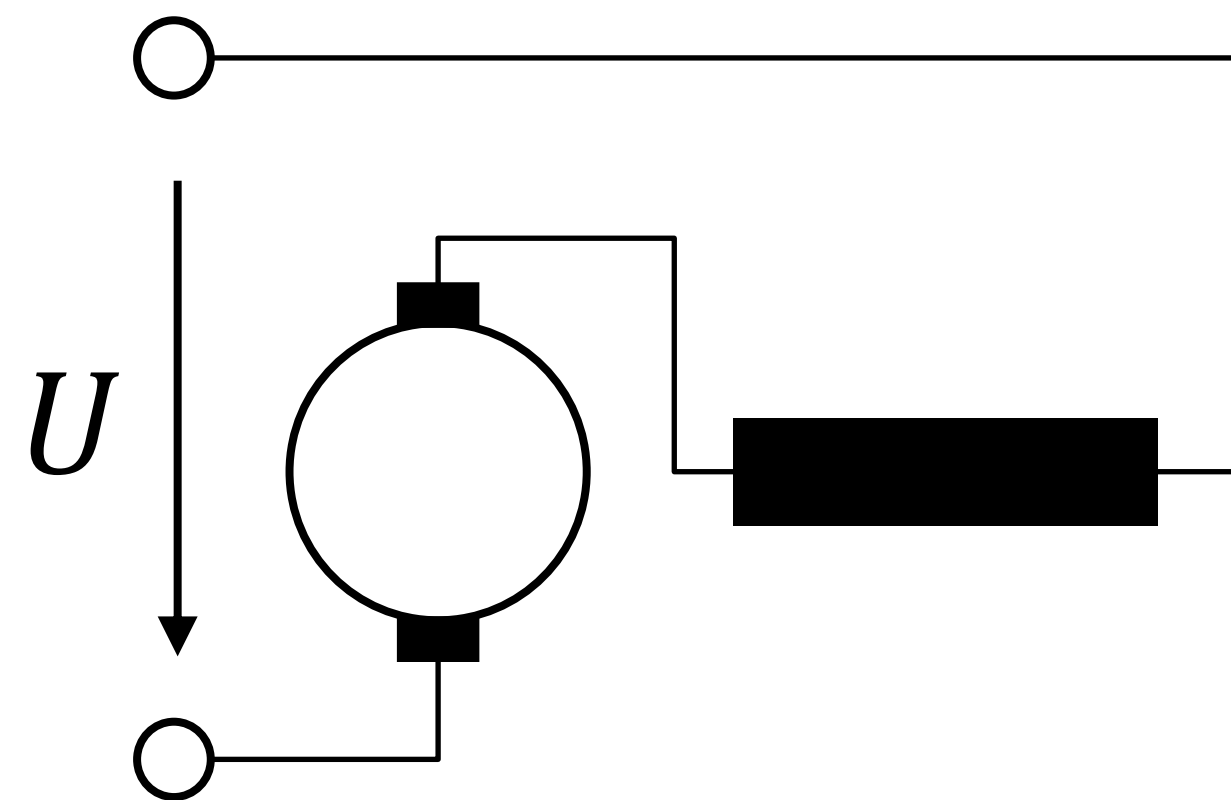
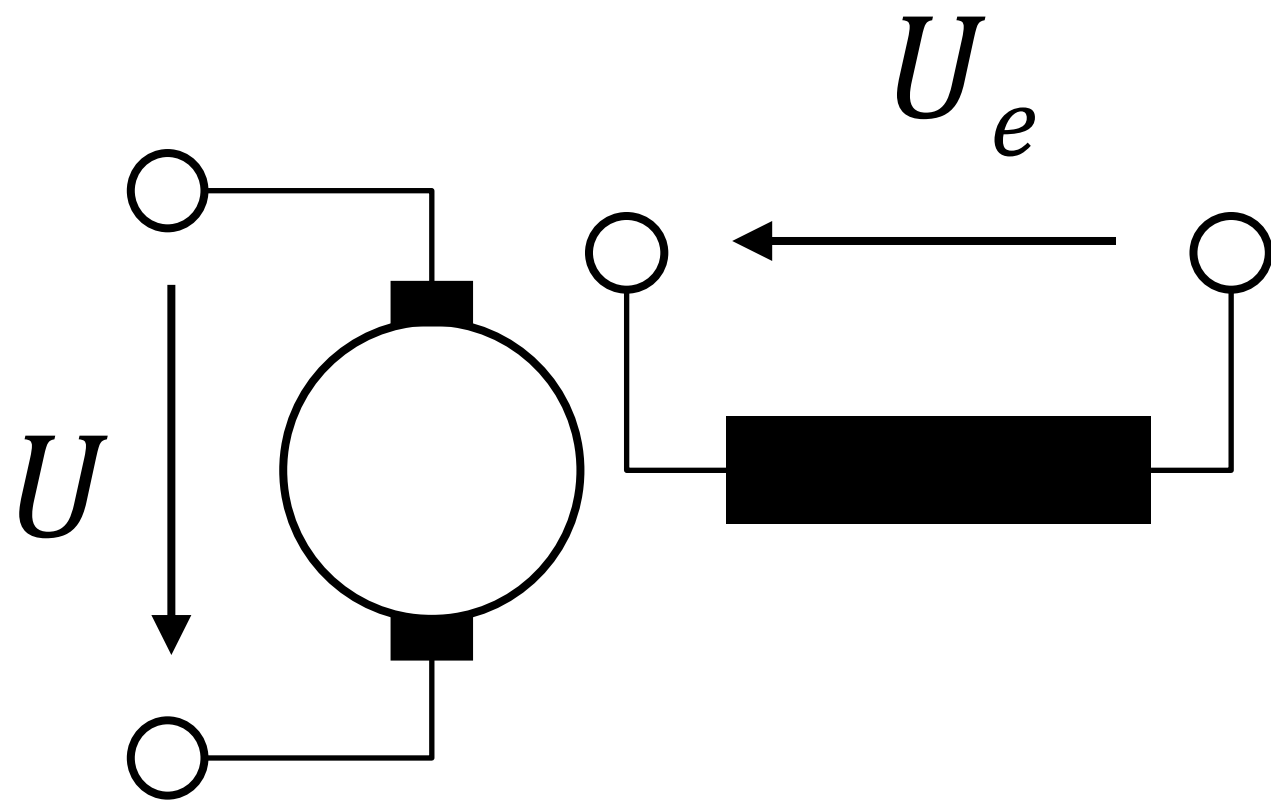
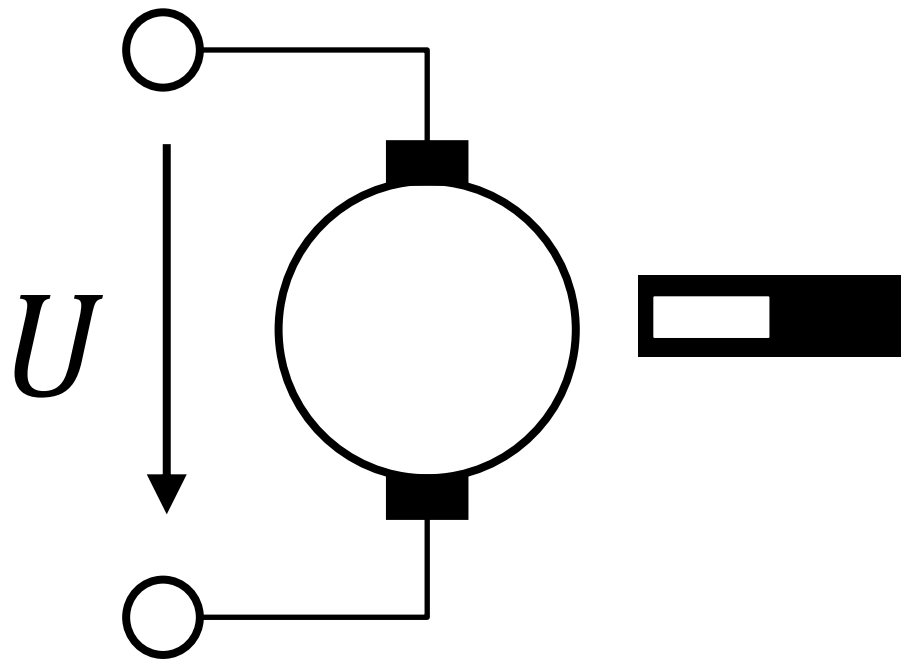
$$M_0 = k_u \hat{\phi}_e \frac{U}{R}$$

$$\Omega_0 = \frac{U}{k_u \hat{\phi}_e}$$

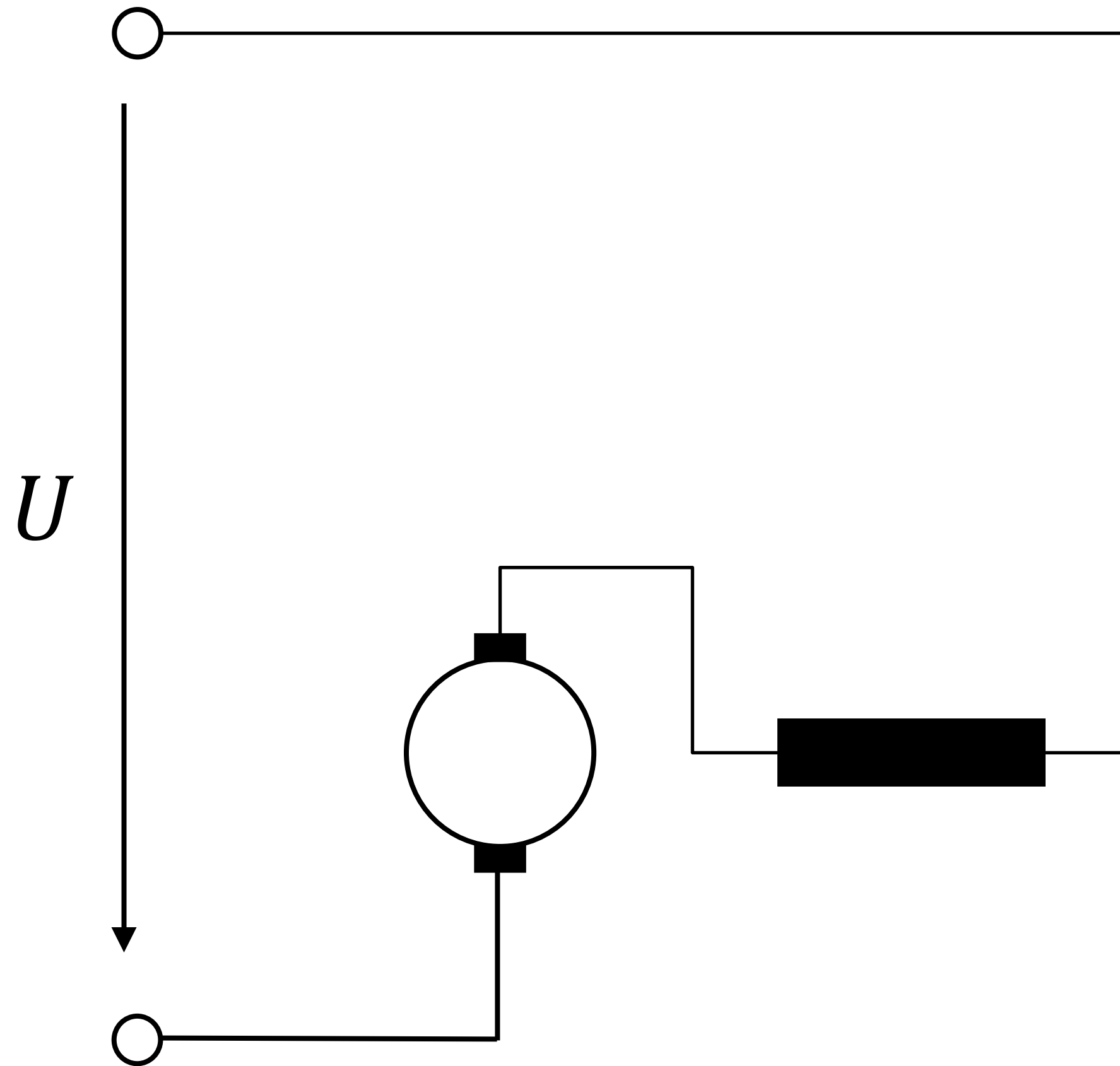




# Modes d'excitation



# Excitation série



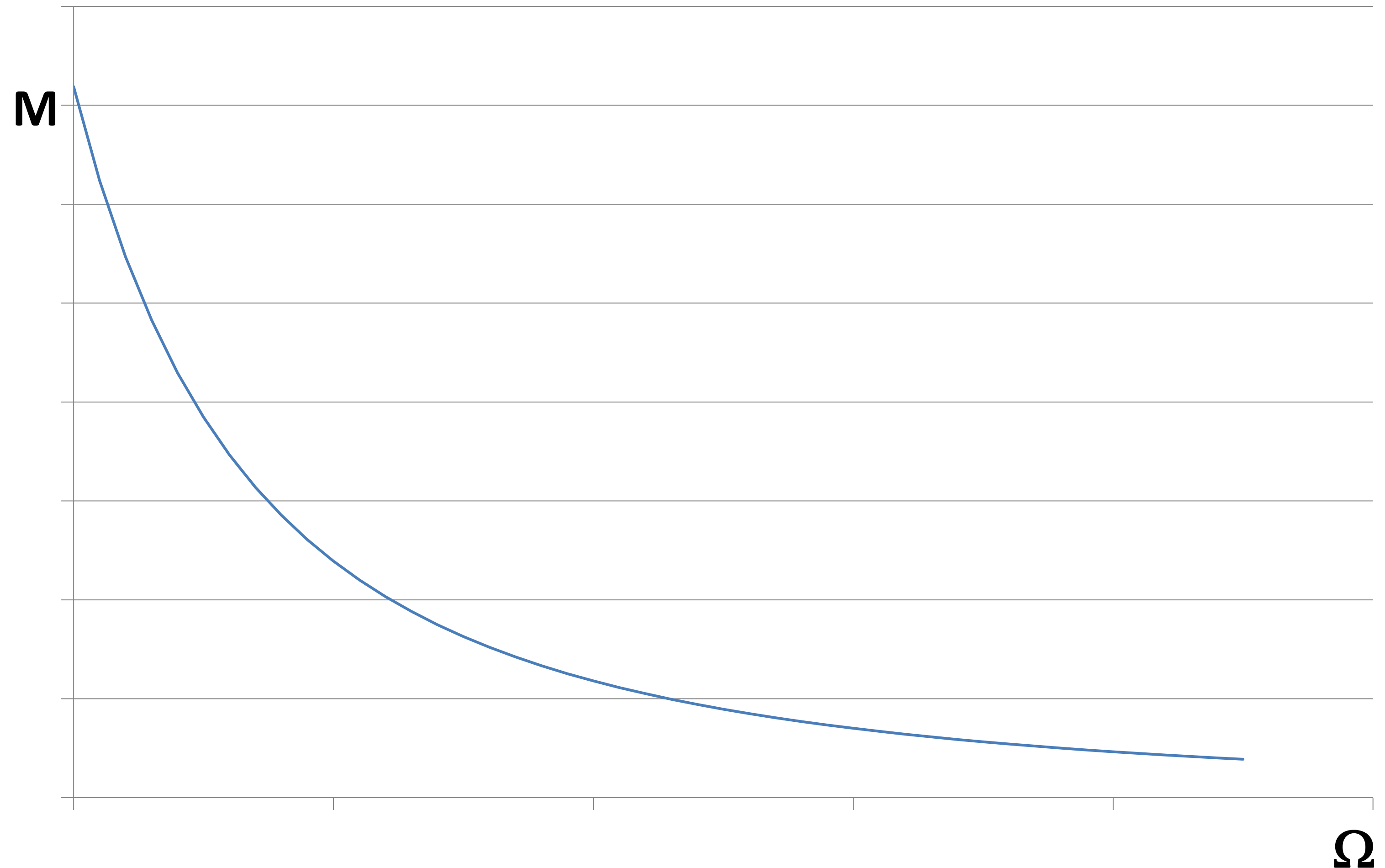
# Caractéristique de couple, emballement

$$M = k_u' I^2$$

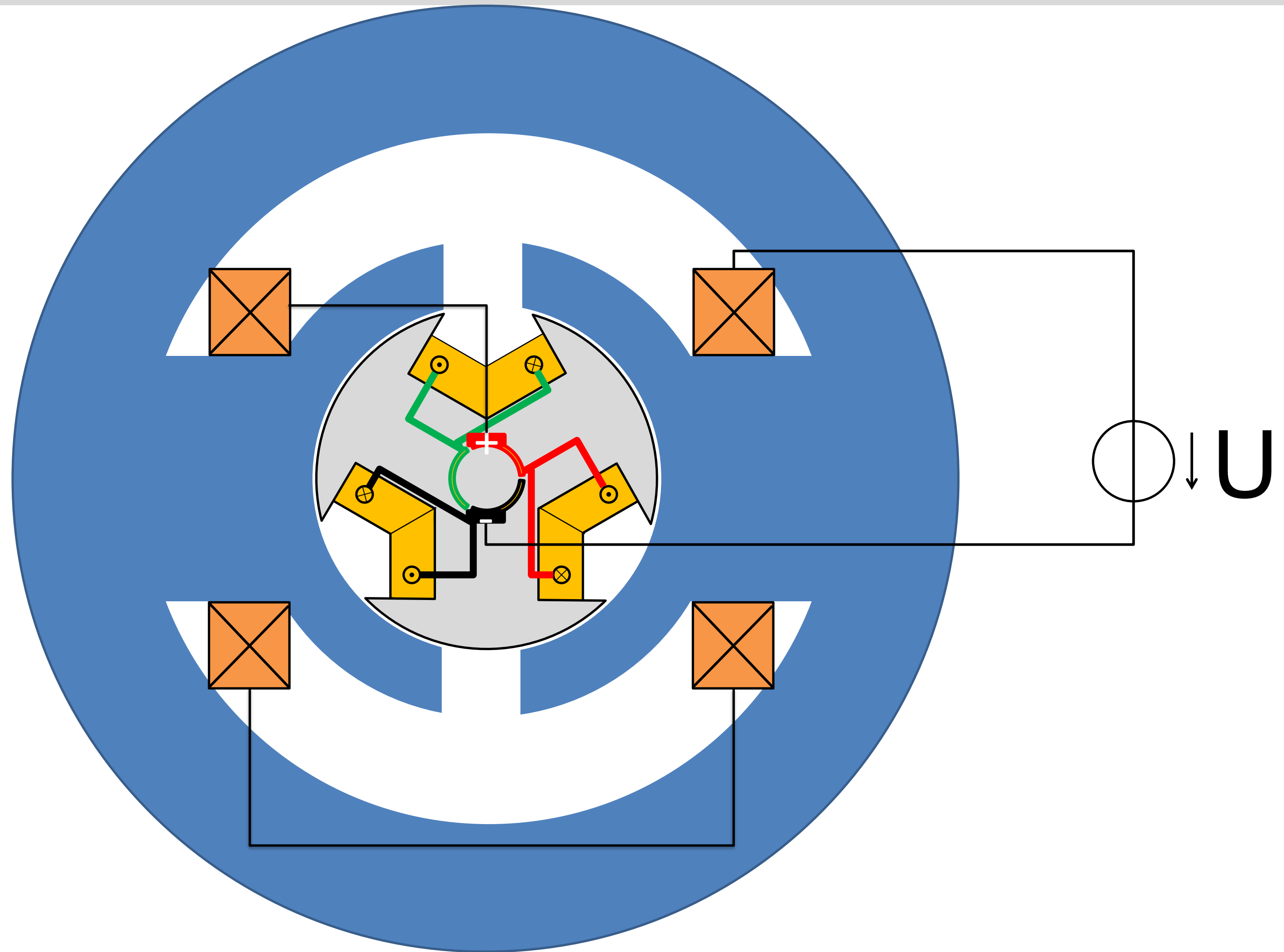
$$U = RI + k_u' I \Omega$$

$$I = \frac{U}{R + k_u' \Omega}$$

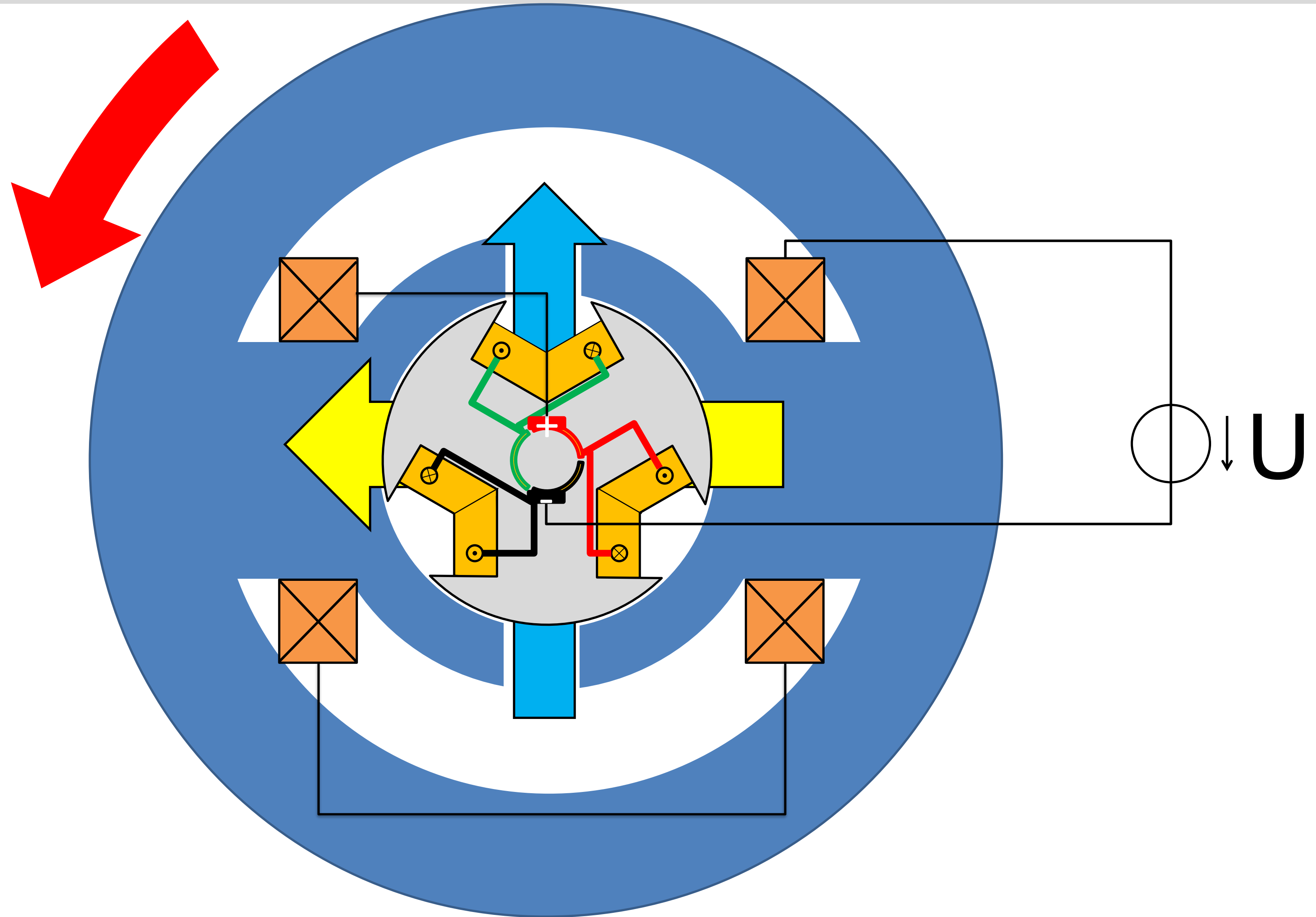
$$M = k_u' \frac{U^2}{(R + k_u' \Omega)^2}$$



# Moteur à excitation série

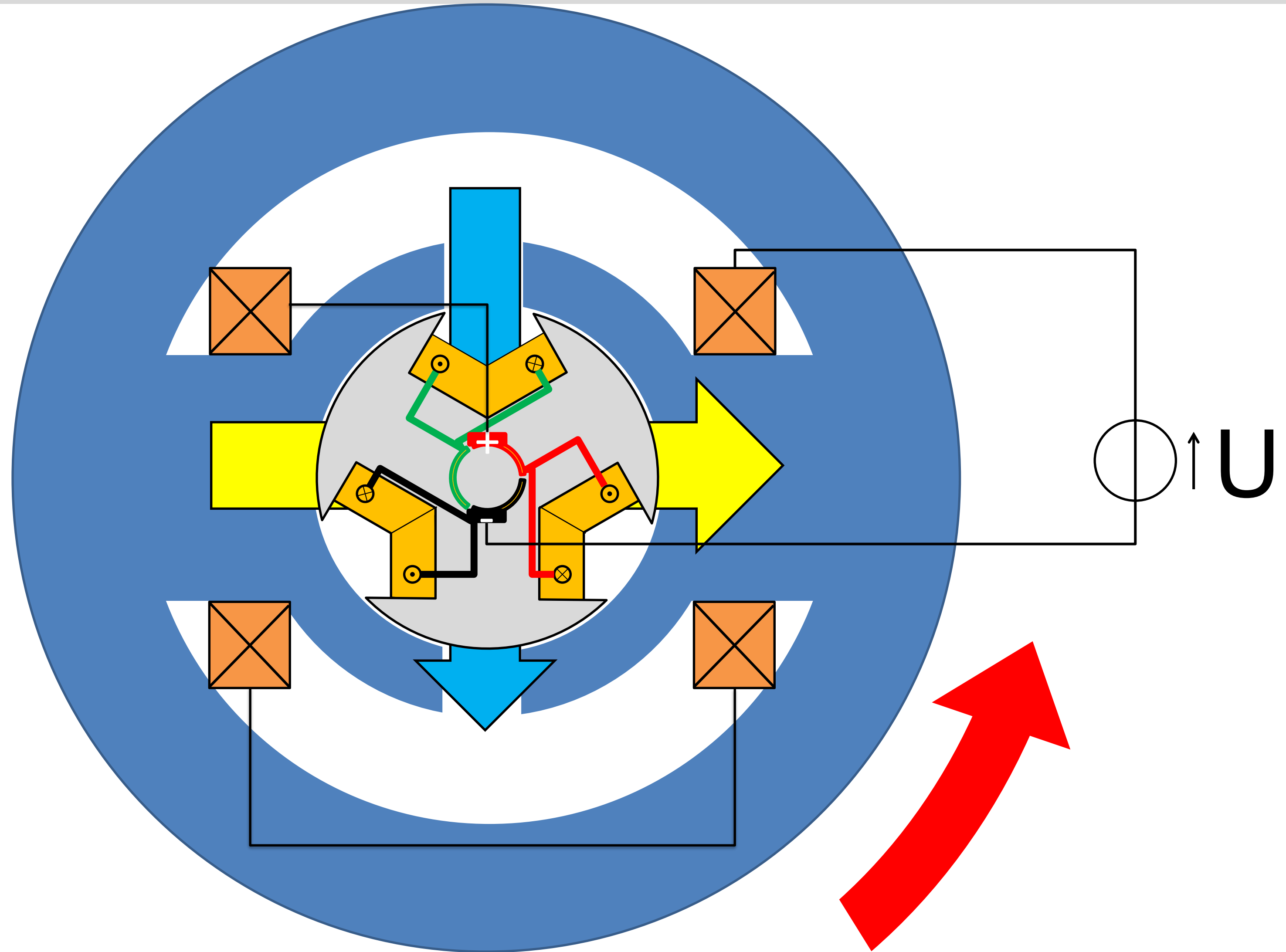


# Moteur à excitation série: tension positive

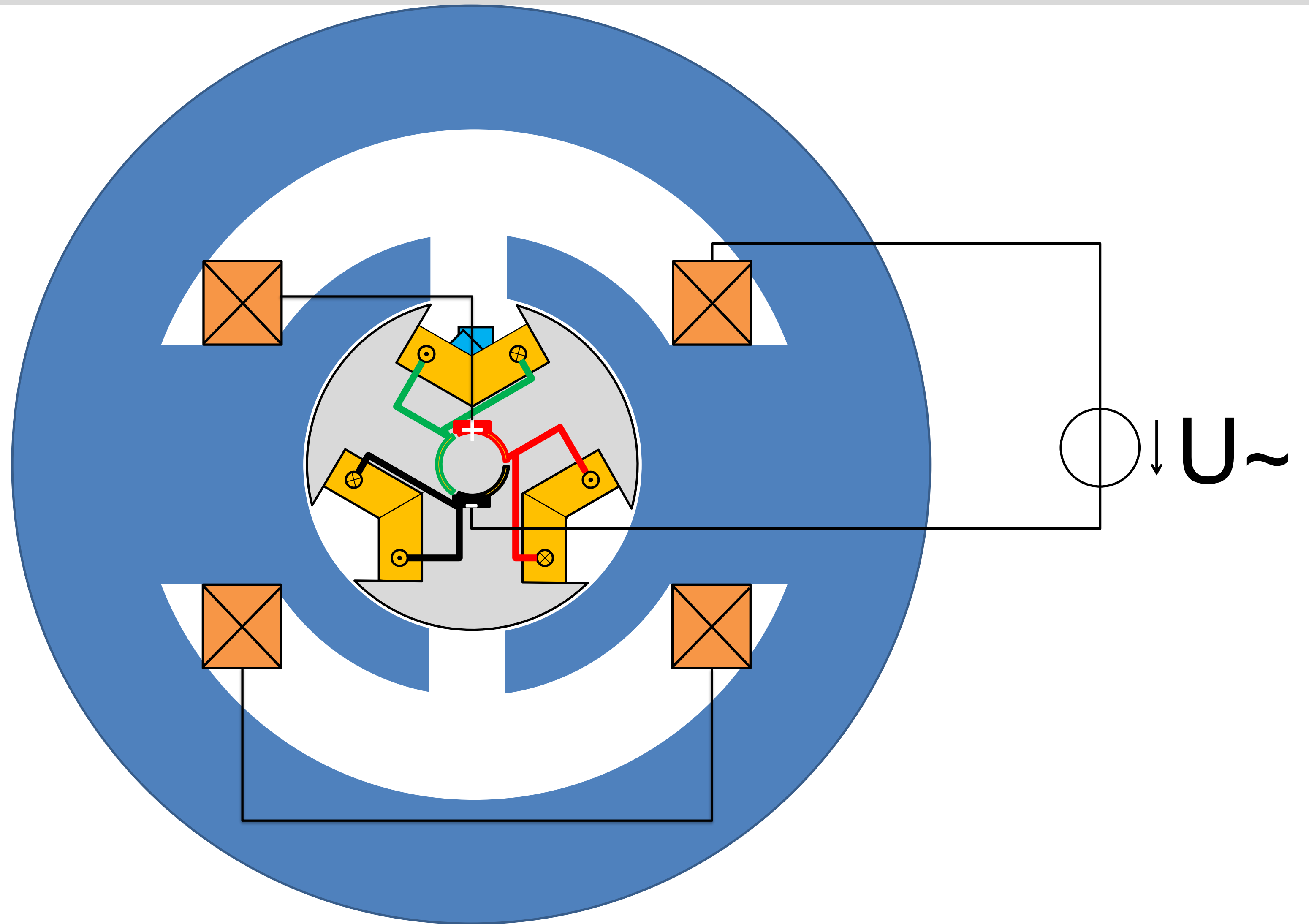




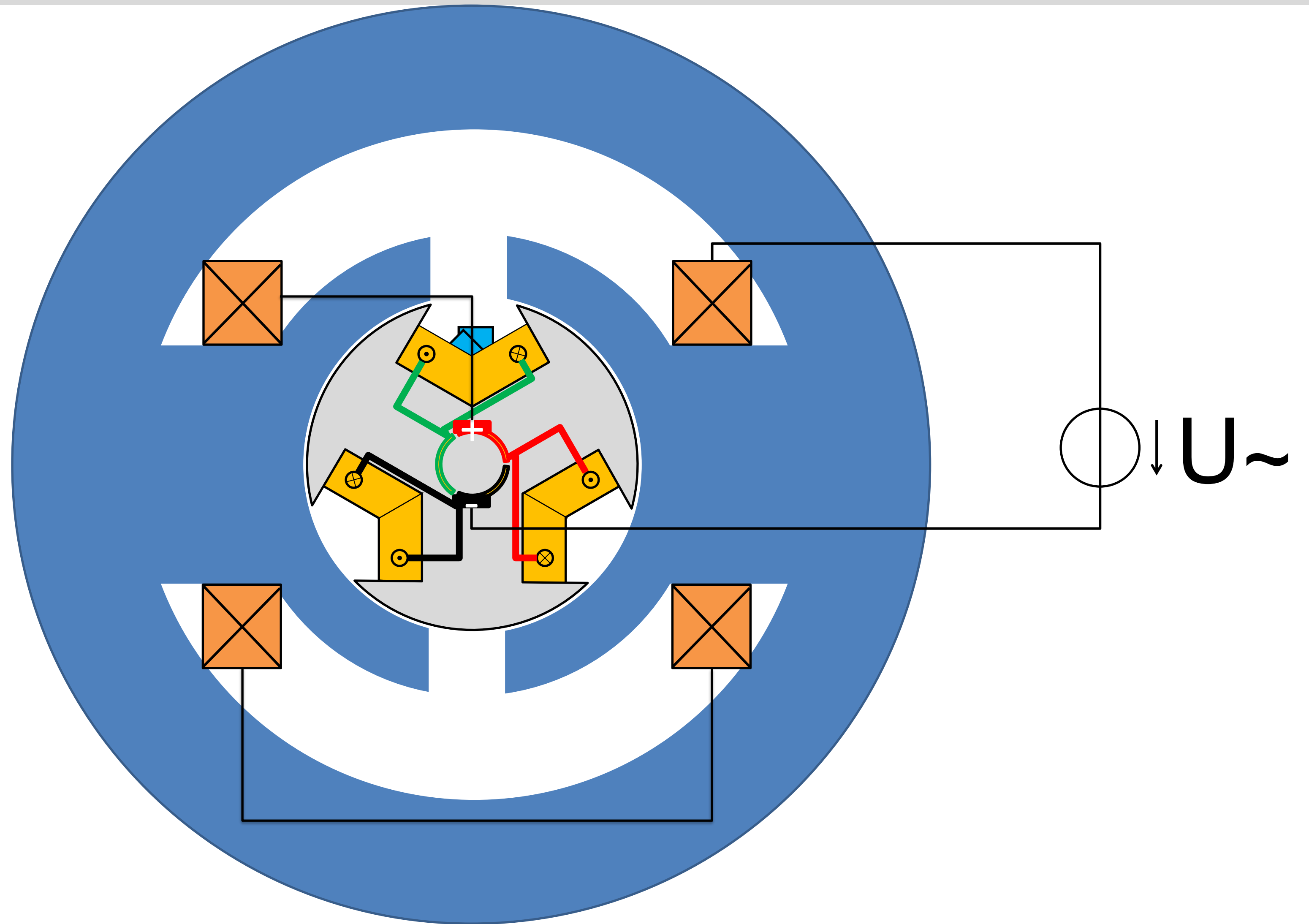
# Moteur à excitation série: tension négative



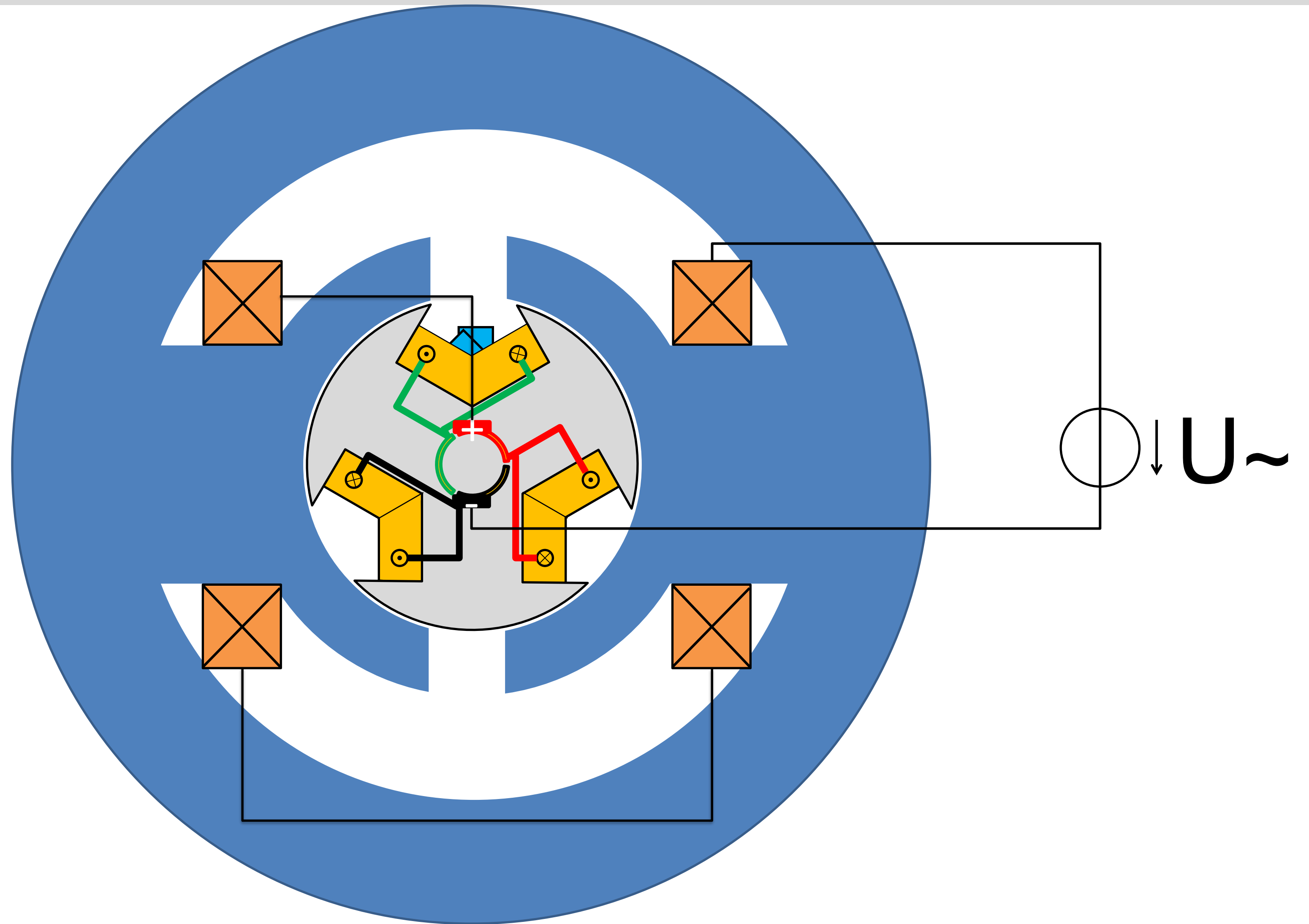
# Moteur universel



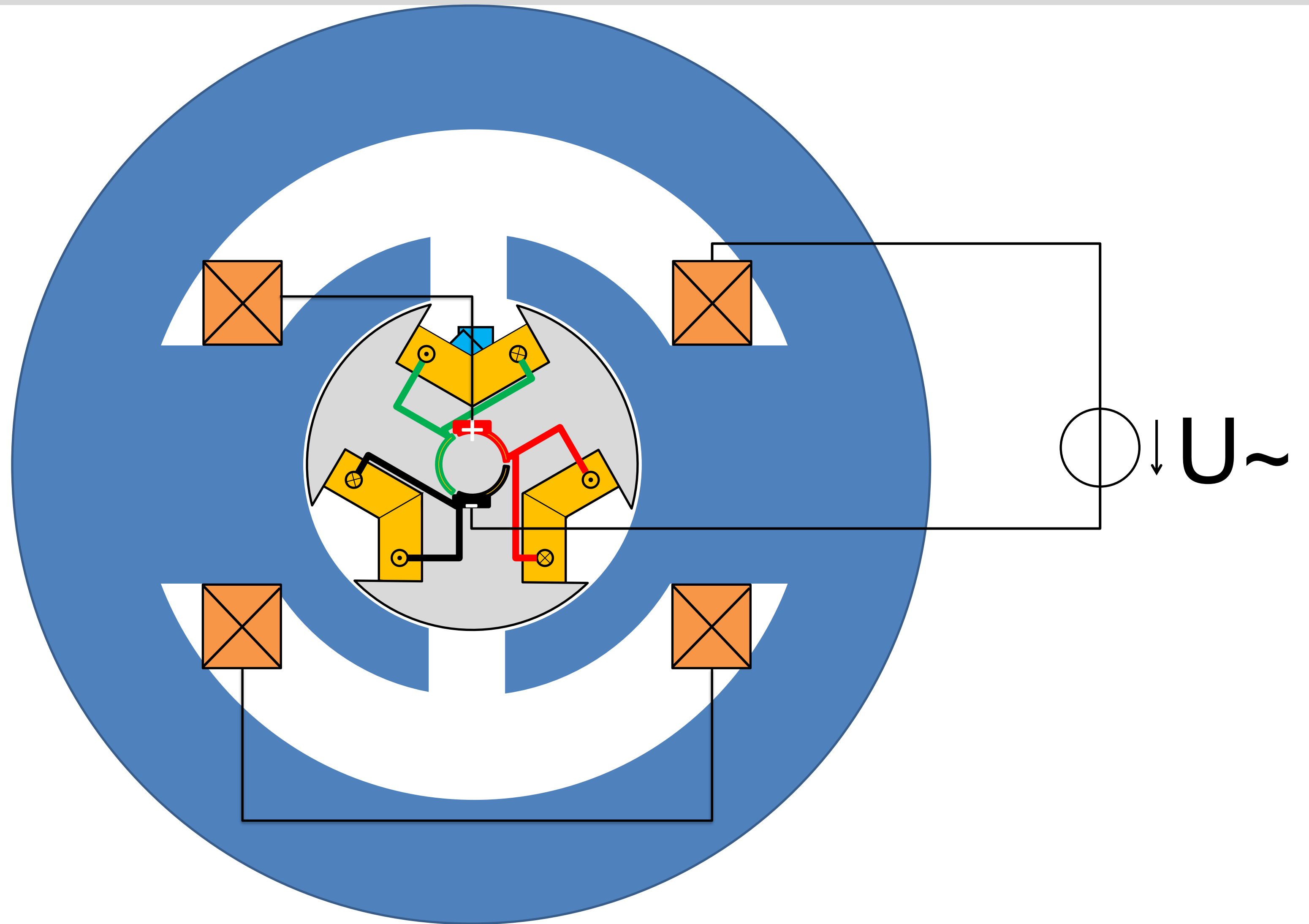
# Moteur universel



# Moteur universel



# Moteur universel



- Le moteur CC est facile à commander et a de nombreuses applications.
- Principe de fonctionnement: redresseur mécanique
- Equations
$$U = RI + k_u \hat{\phi}_e \Omega$$
$$M = k_u \hat{\phi}_e I$$
- Peut être alimenté en alternatif (moteur universel)