

# **Moteur à courant continu**

**Actionneurs et systèmes électromagnétiques II**

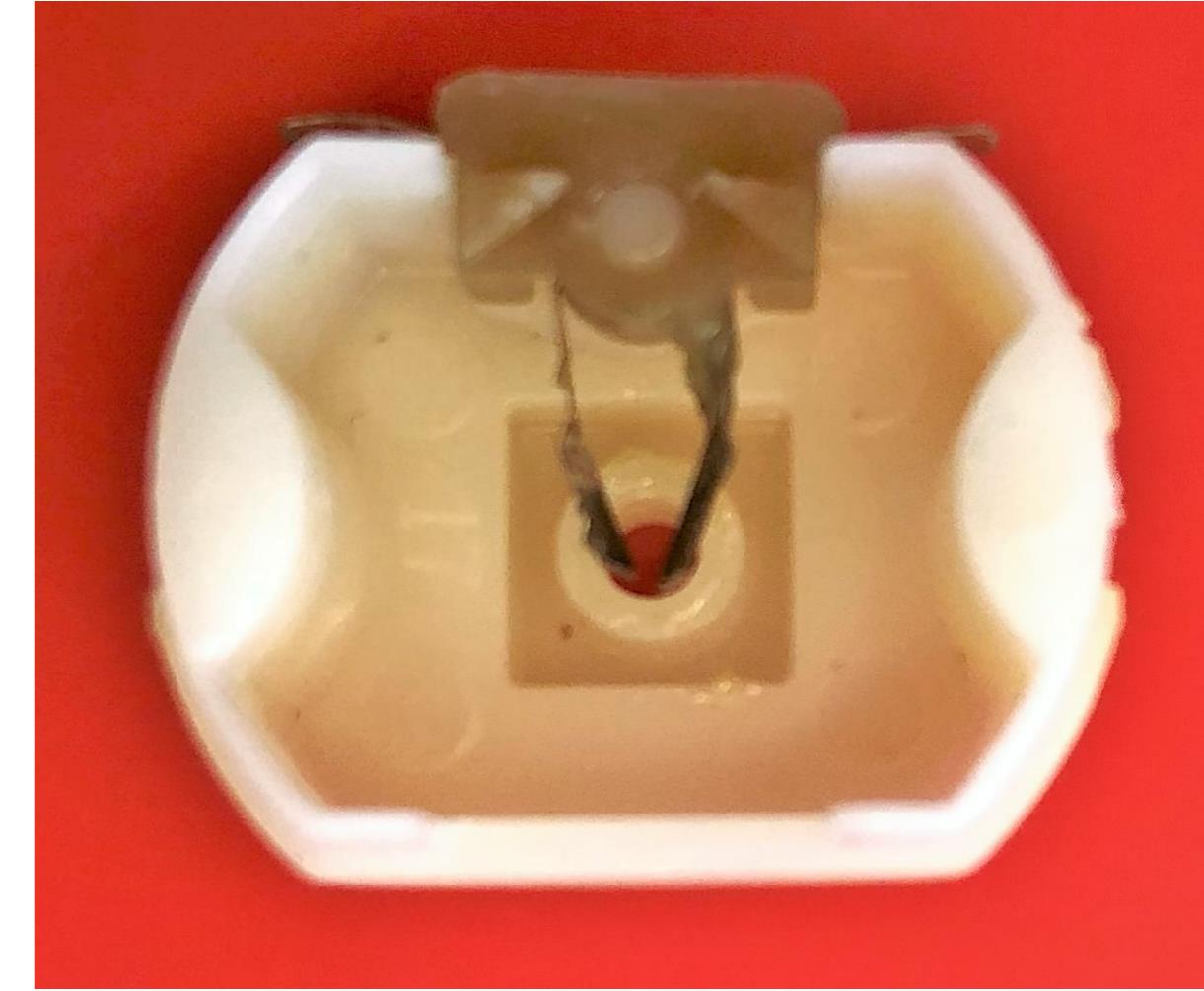
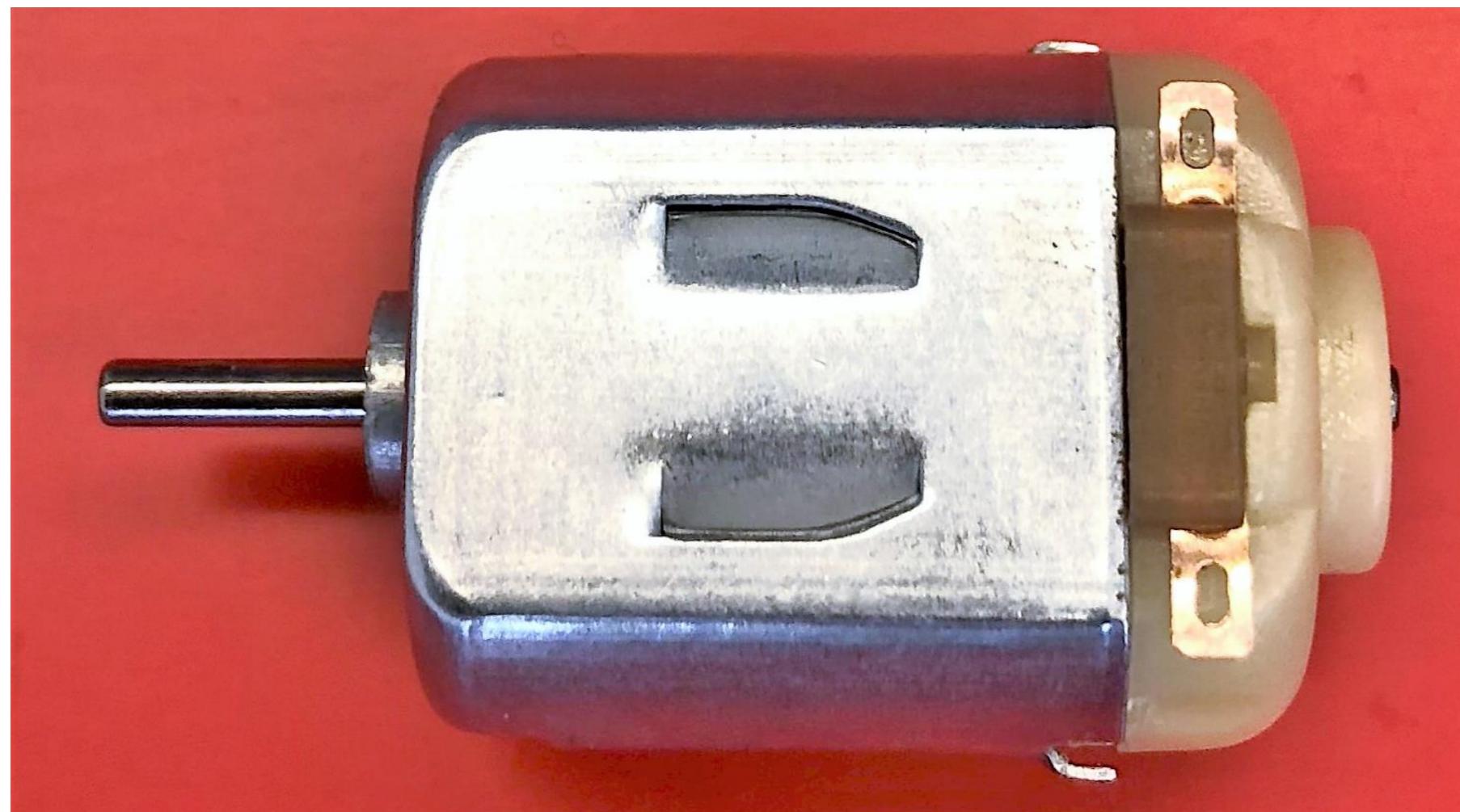
Christian Koechli

# Introduction

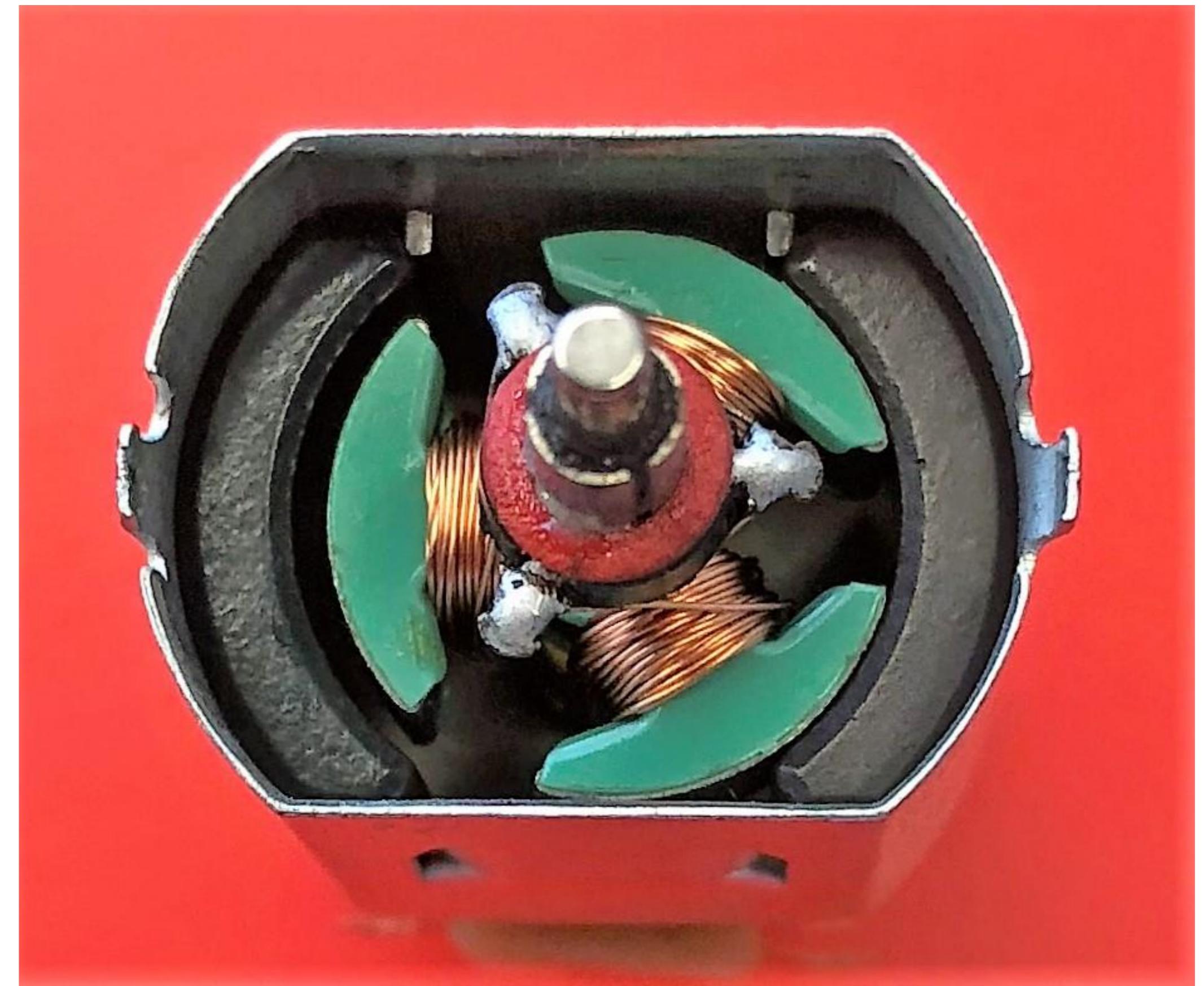
---

- 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

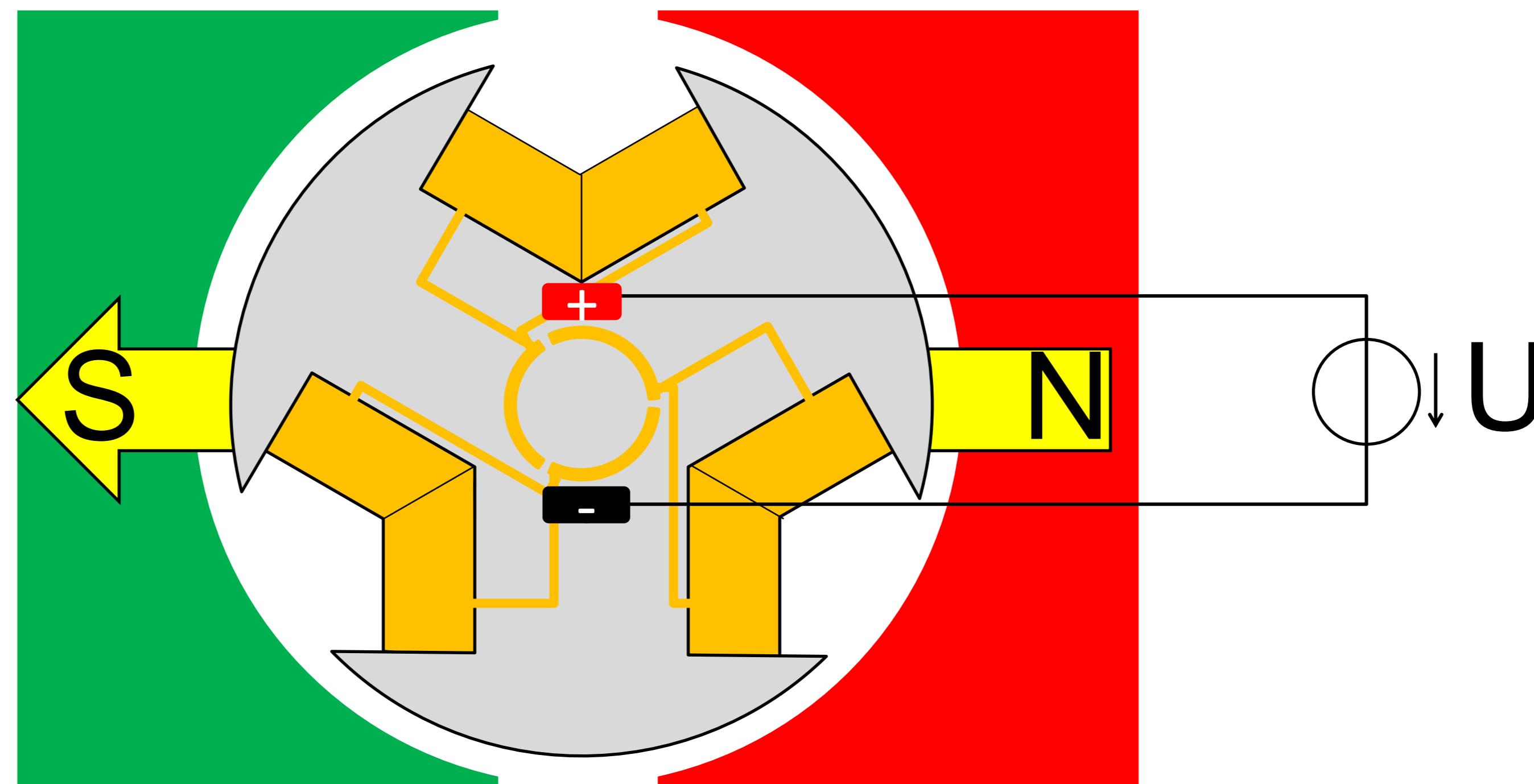
# Structure: stator

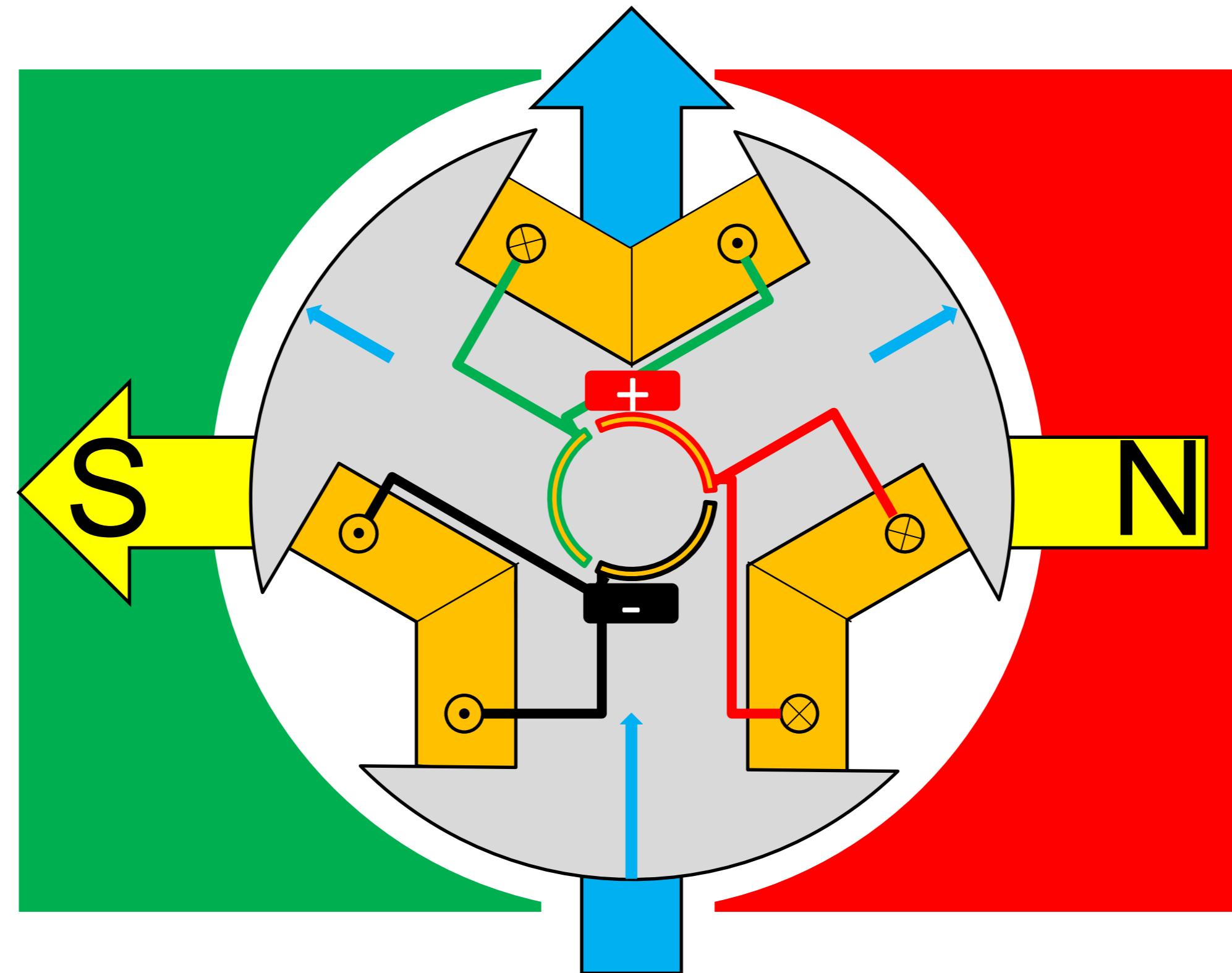


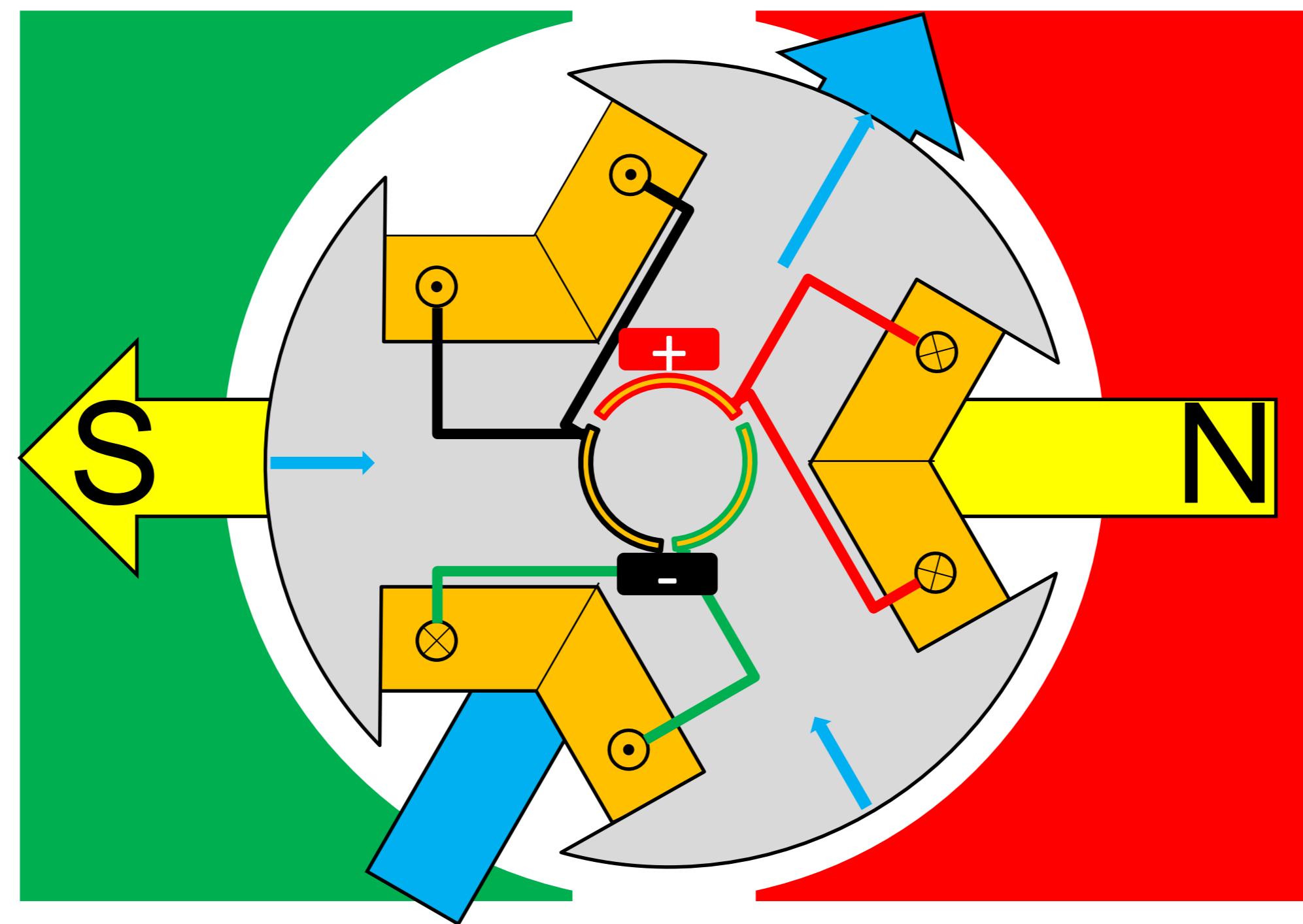
# Structure: rotor

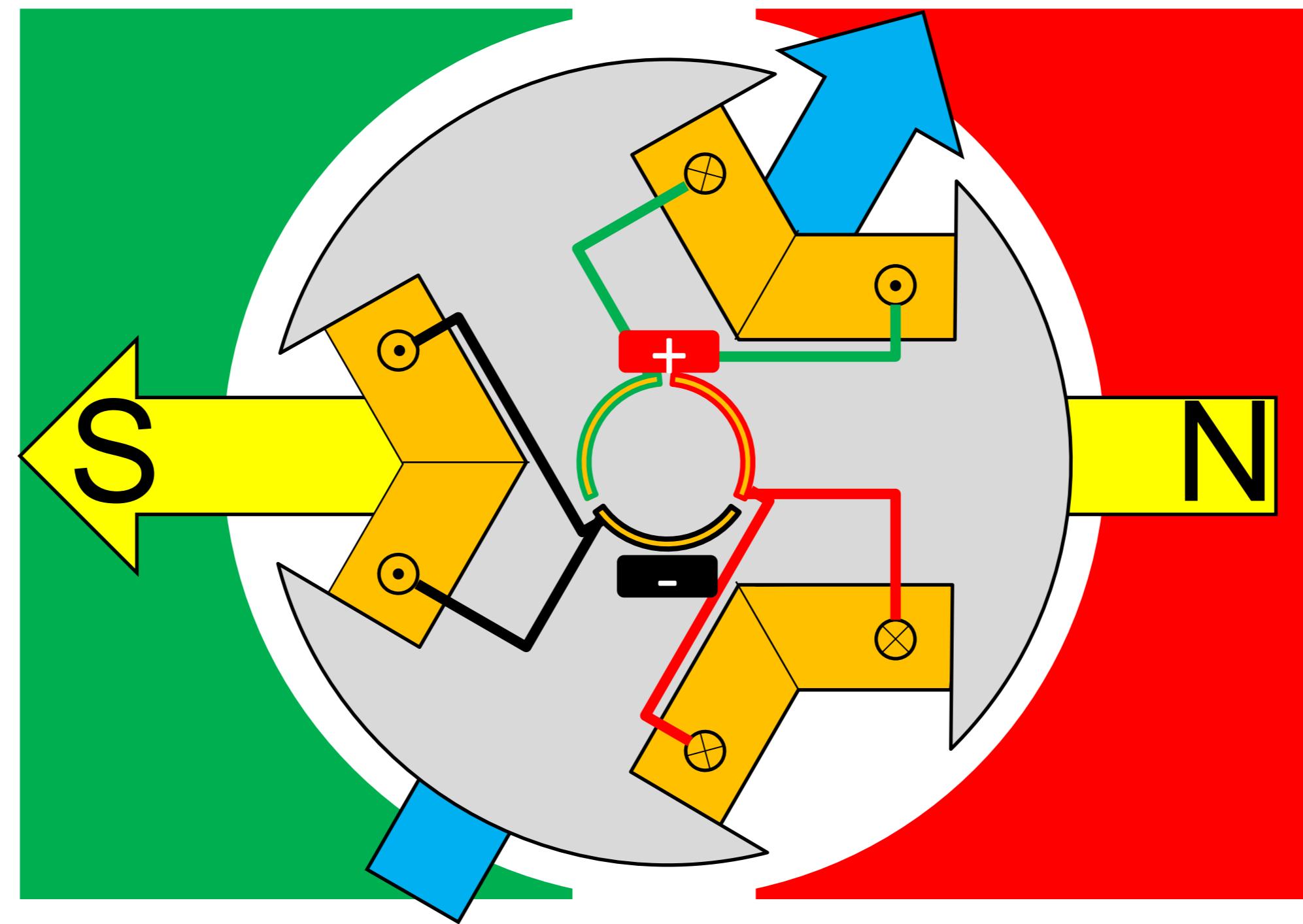


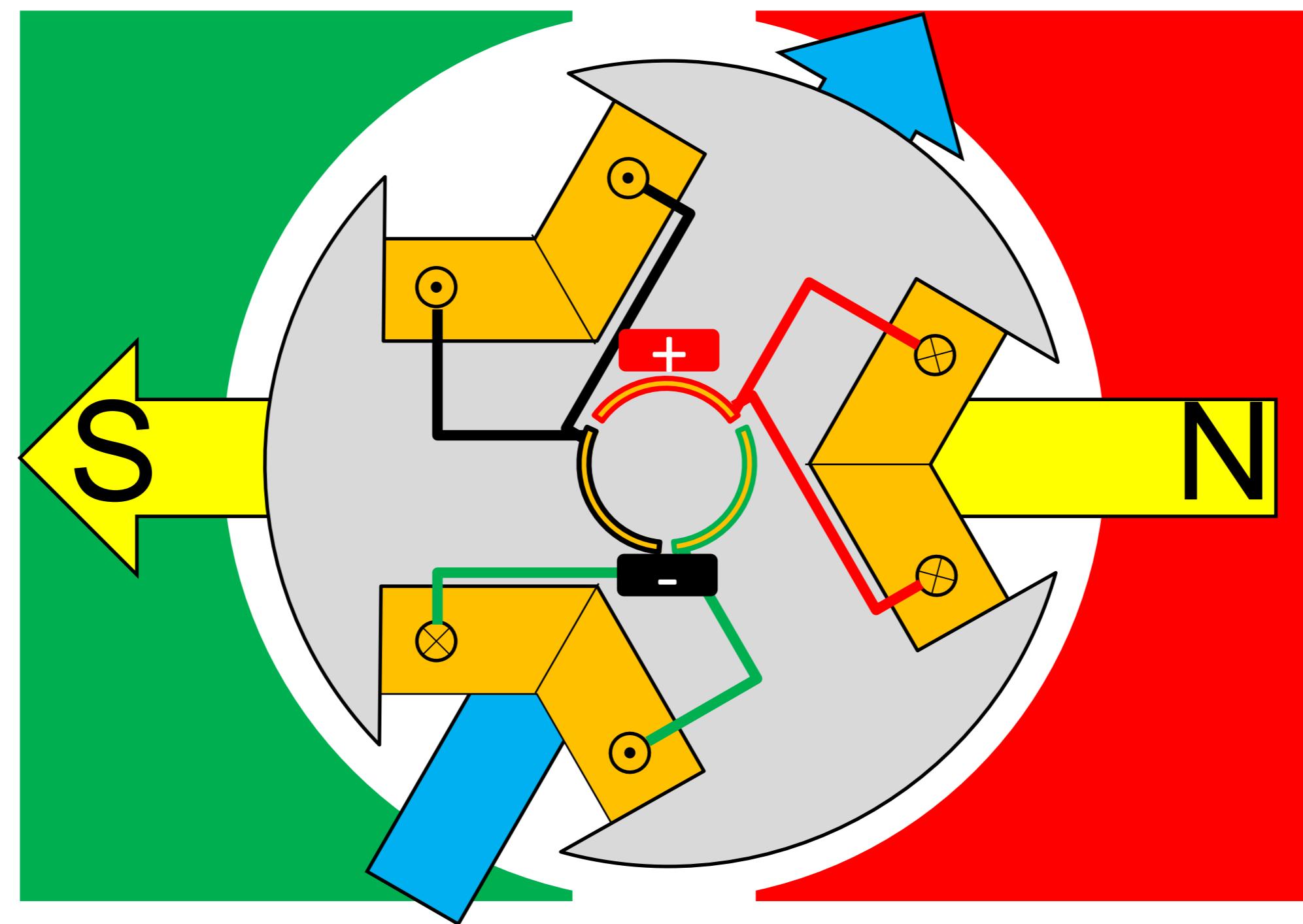
# Fonctionnement

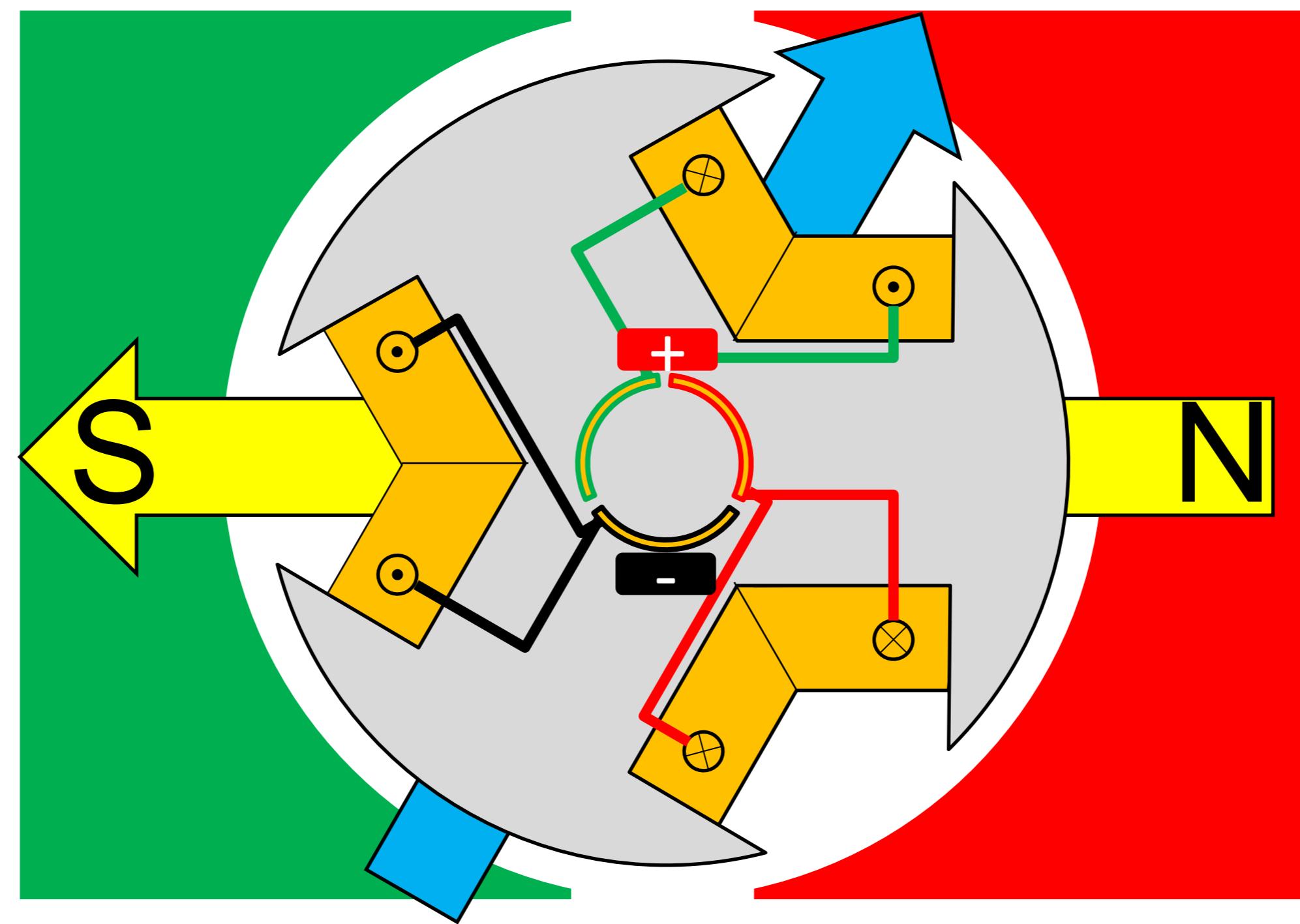










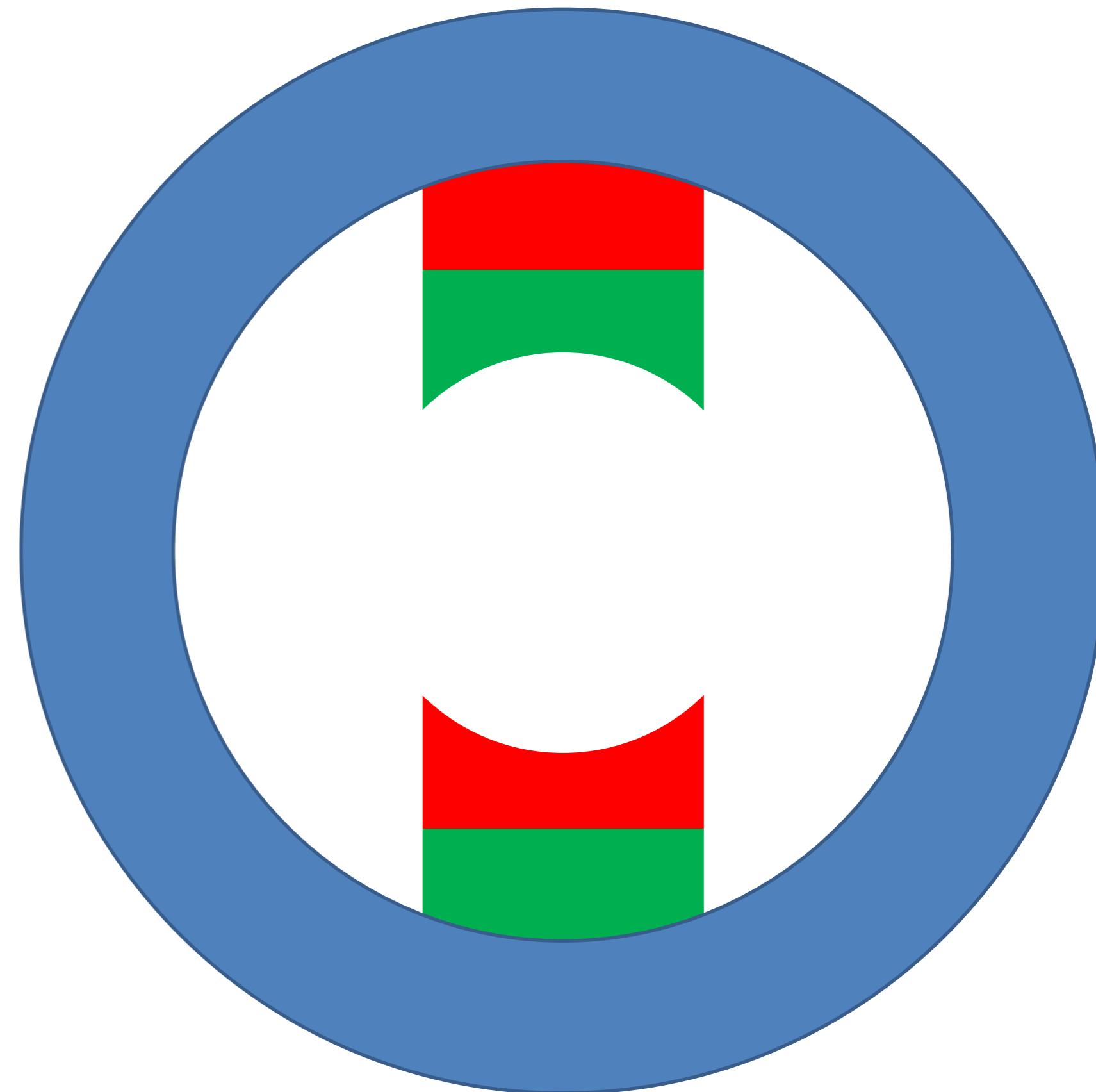
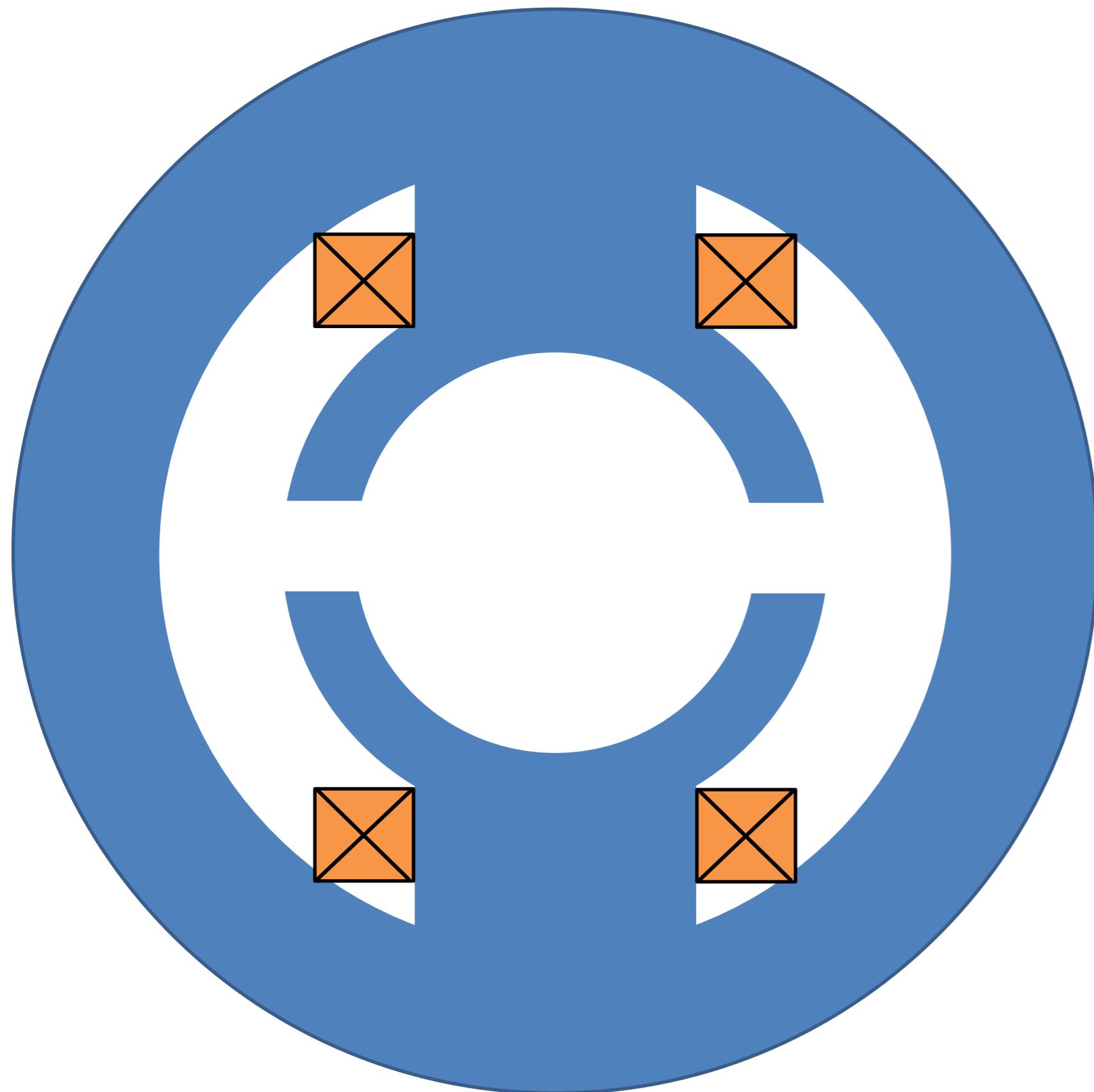


# Principe de fonctionnement

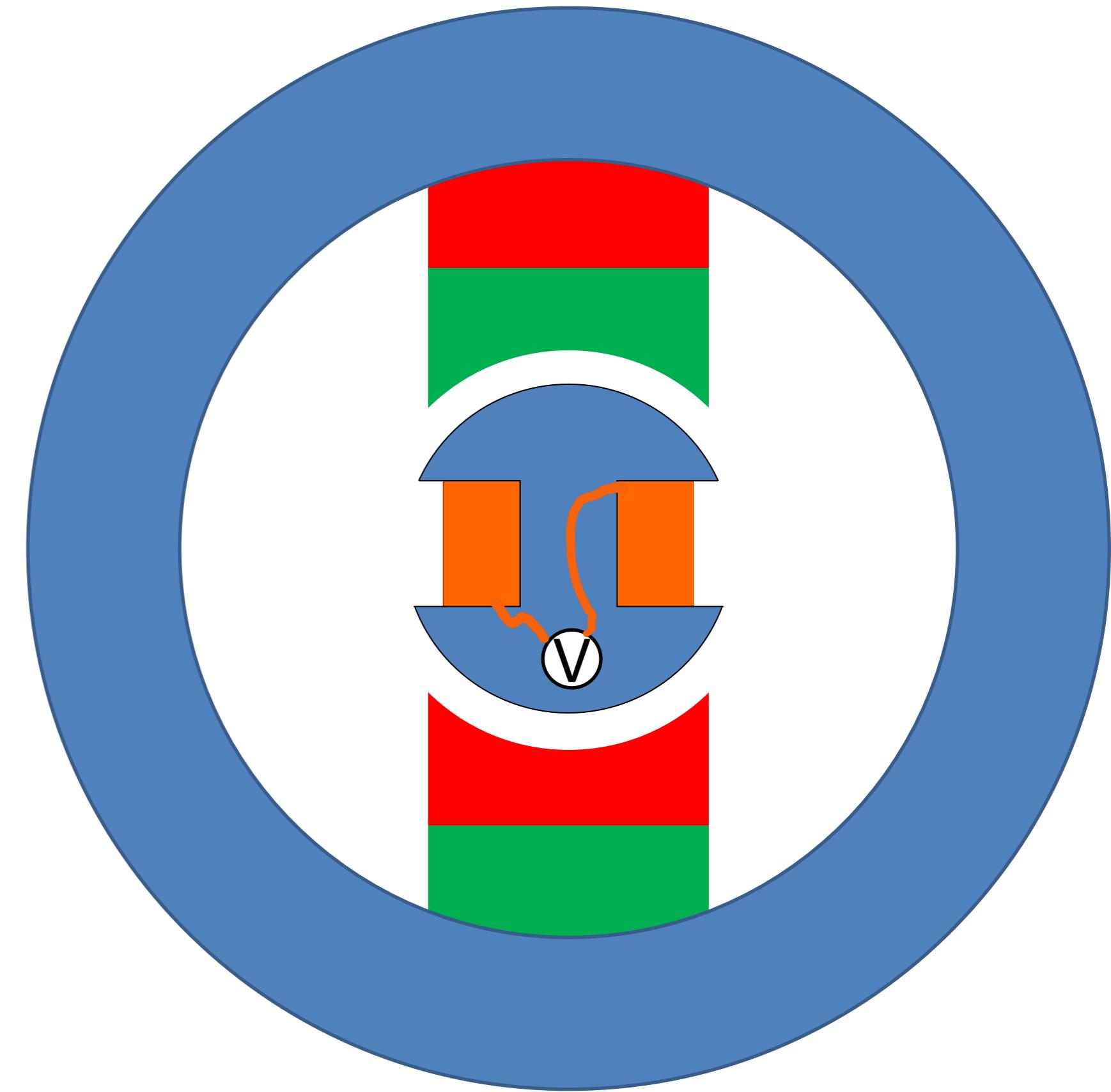
- Structure du moteur:
  - excitation (bobine ou aimant);
  - collecteur;
  - ballais / charbons.
- Crédit du couple
  - Flux statorique constant
  - Commutation mécanique des bobines rotor
  - Flux rotorique «constant»



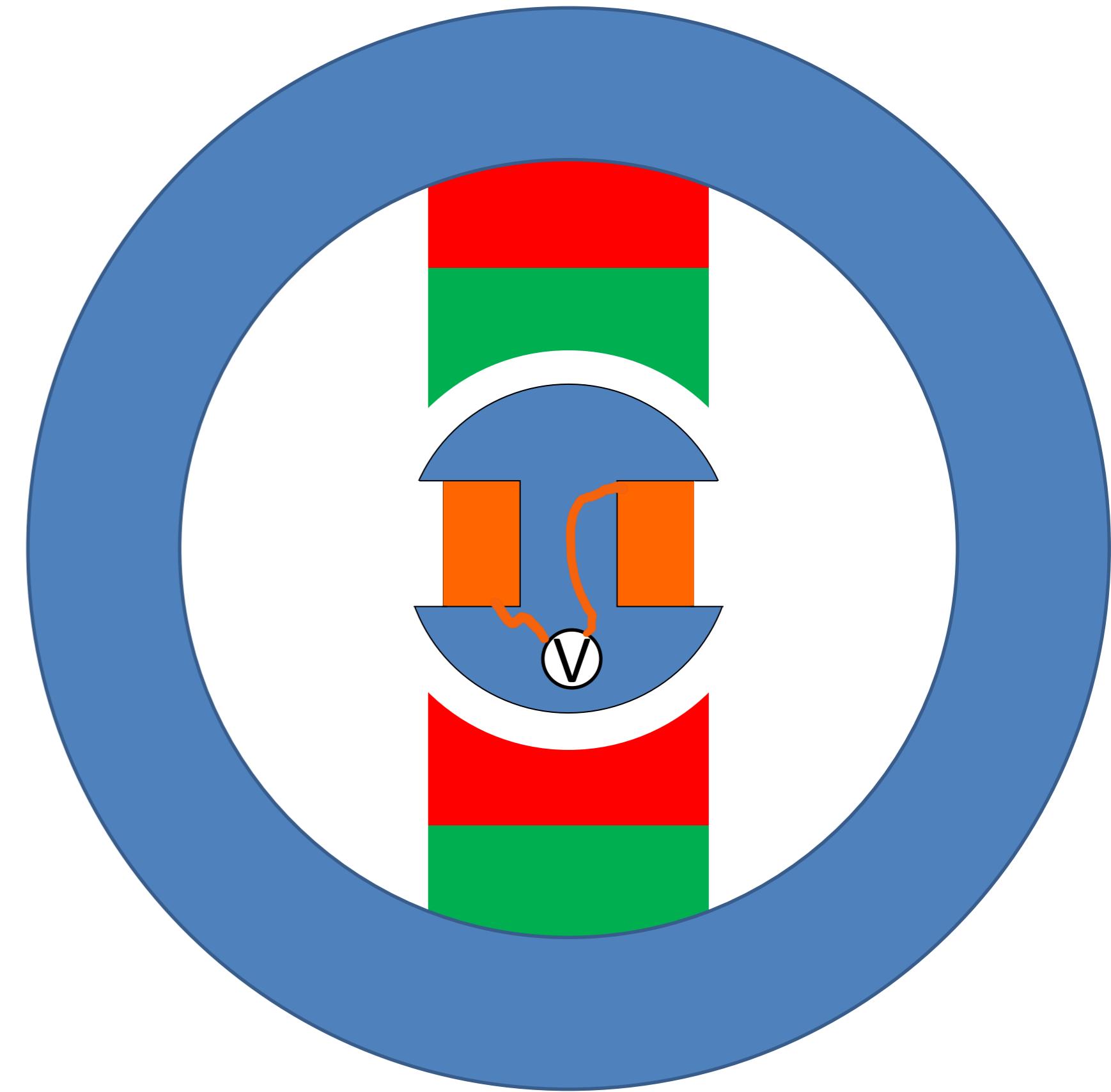
# Stator



# Tension induite: 1 bobine



# Tension induite: 1 bobine



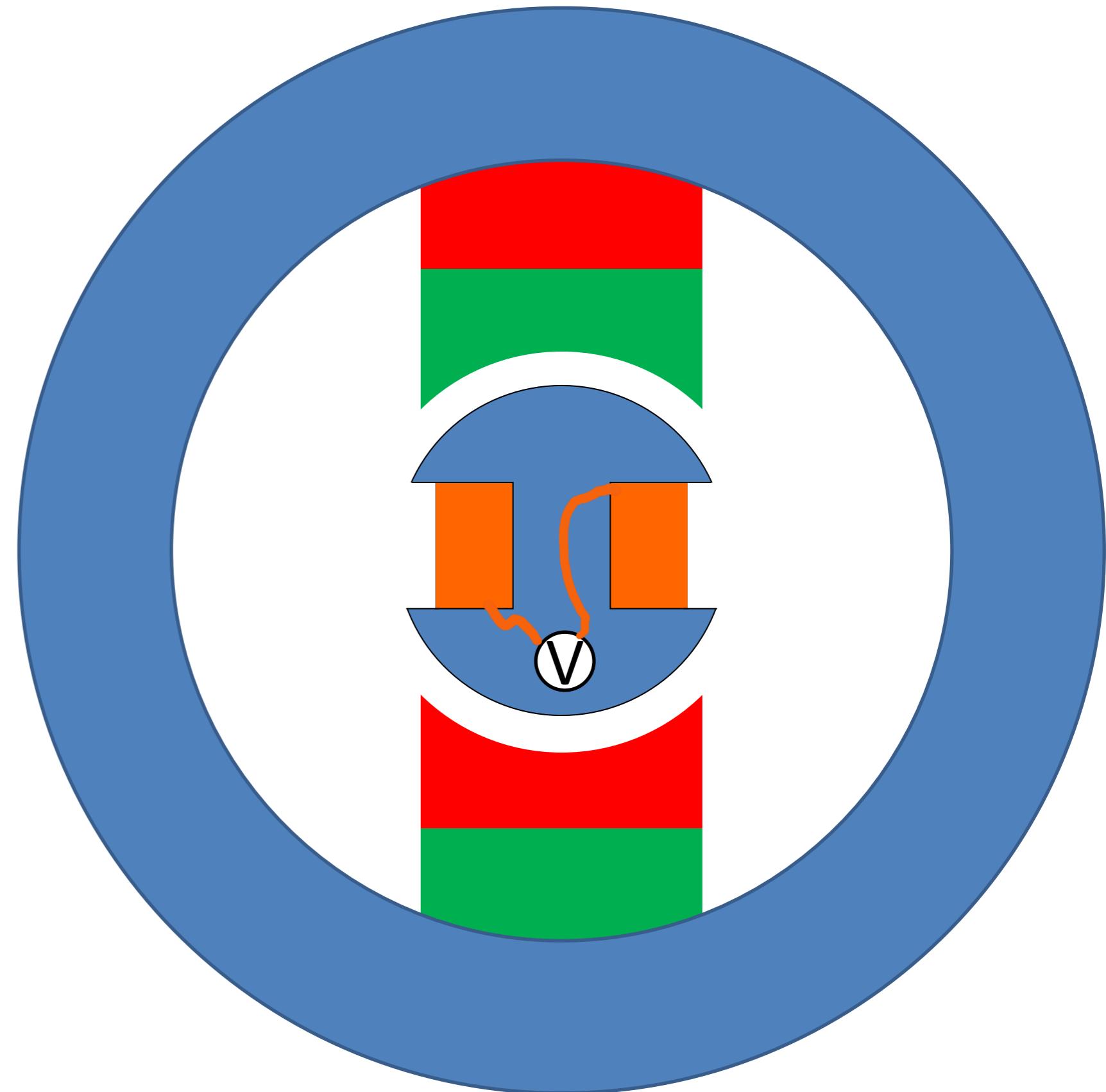
# Tension induite: équation

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

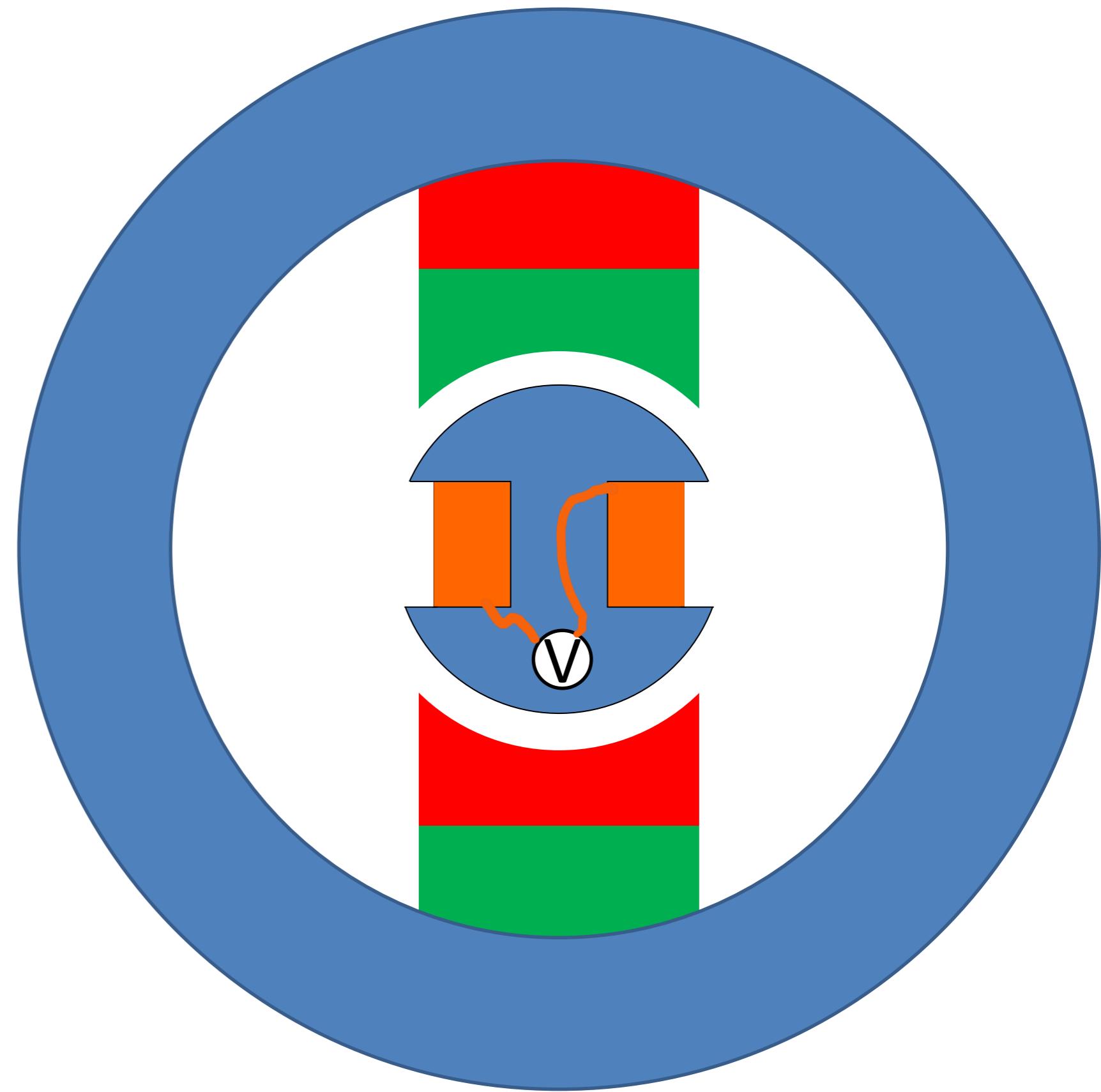
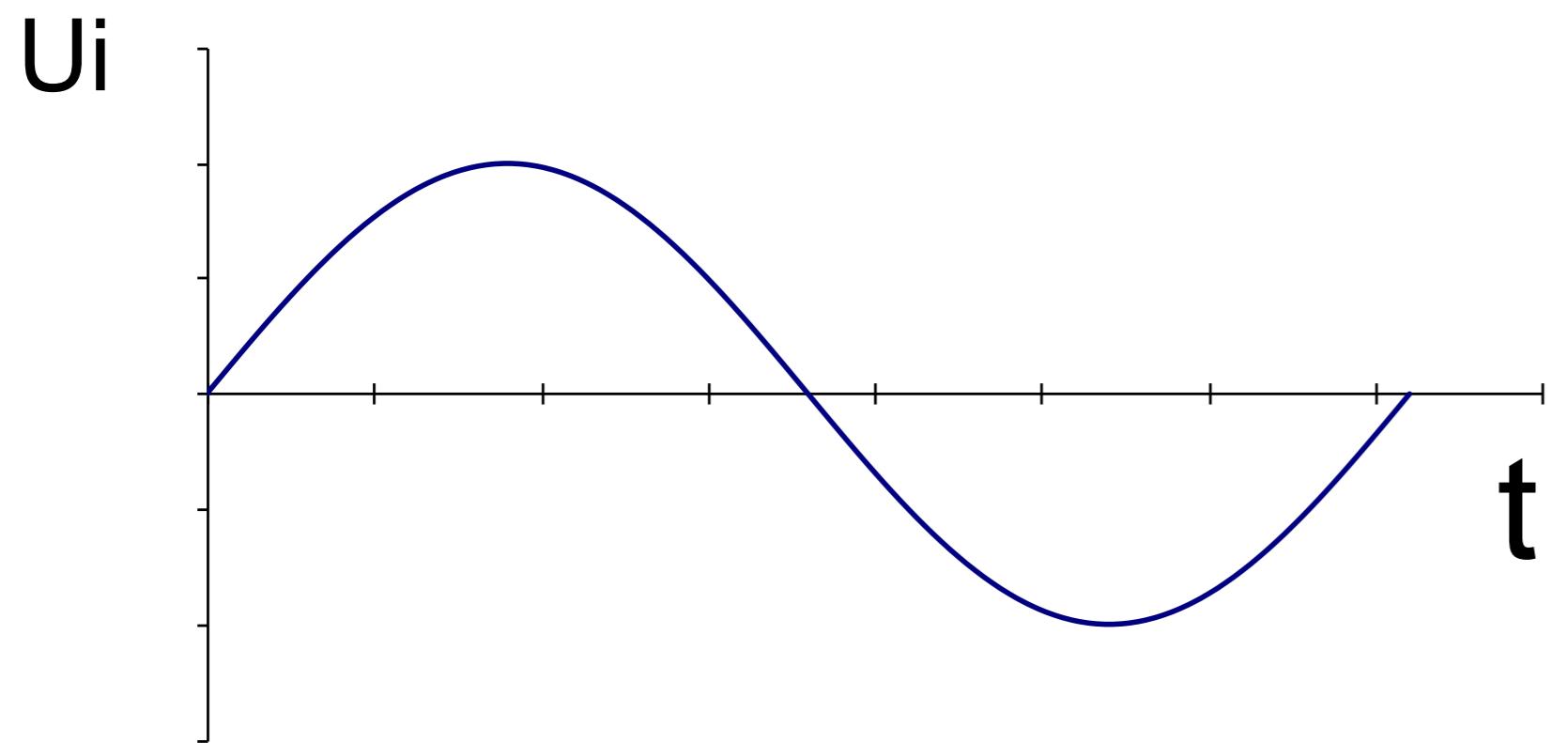
$$i = 0$$

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

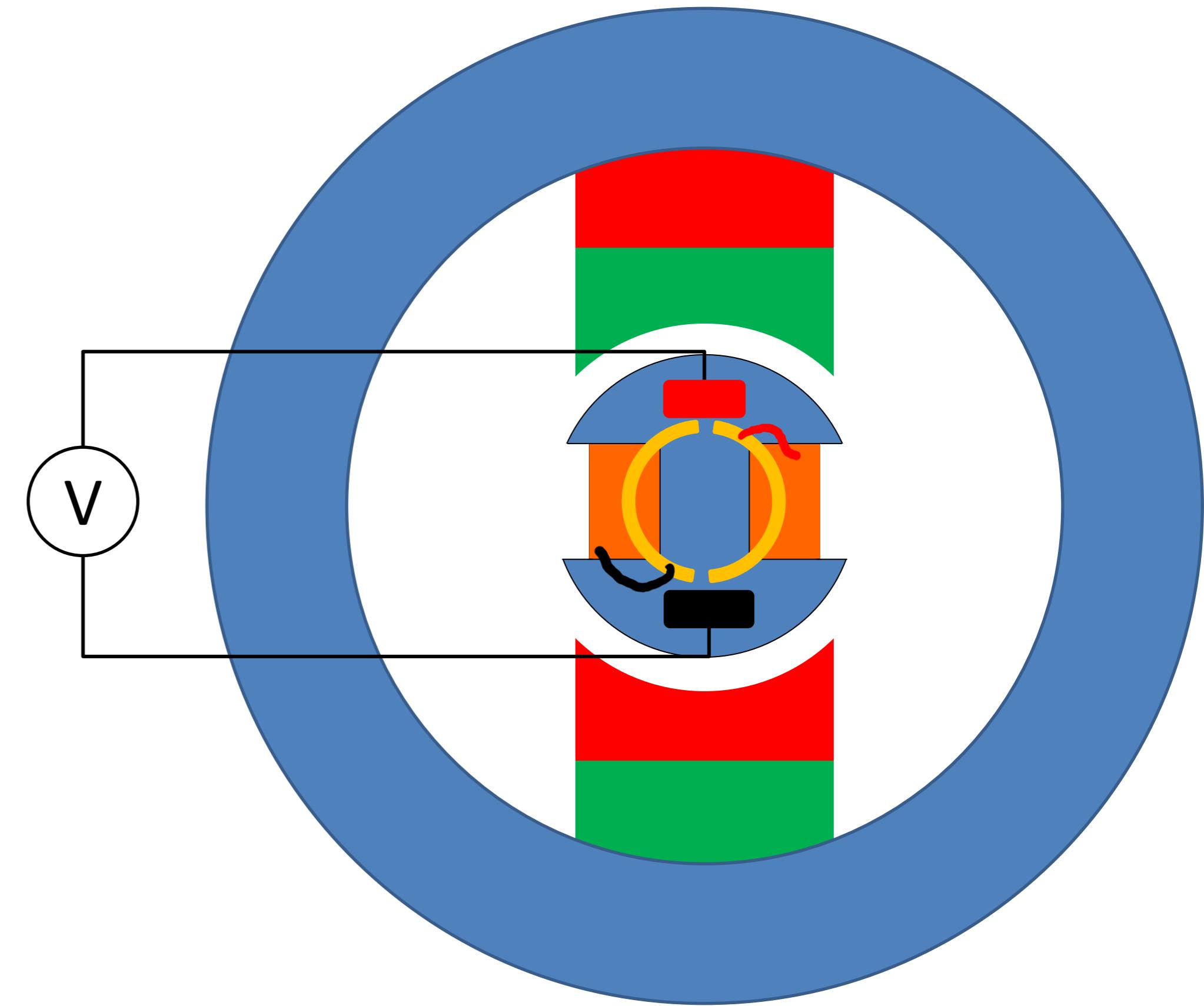
$$\phi_{rs} = \hat{\phi}_a \sin(\alpha)$$



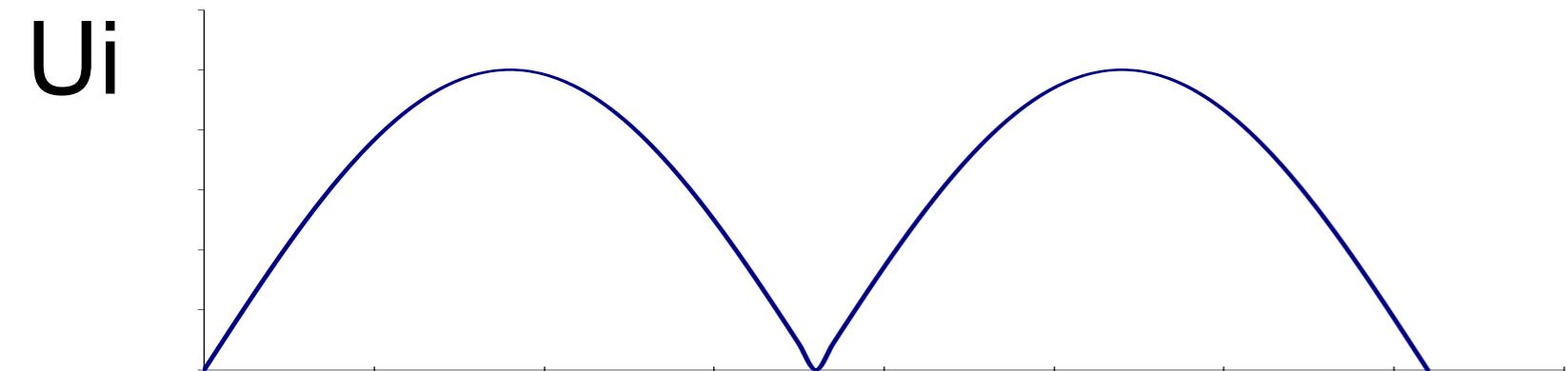
# Tension induite: 1 bobine



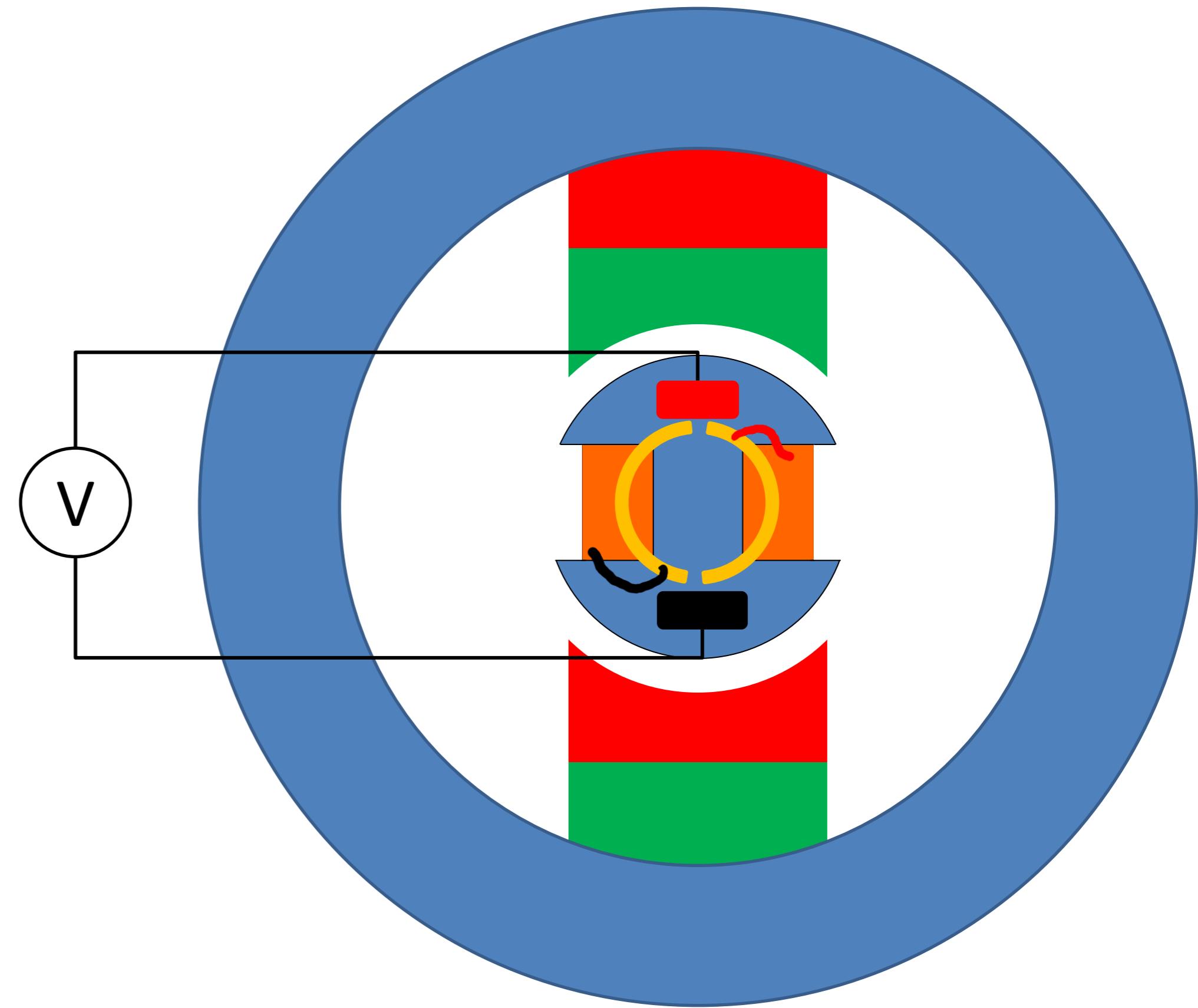
# Tension: 1 bobine redressée



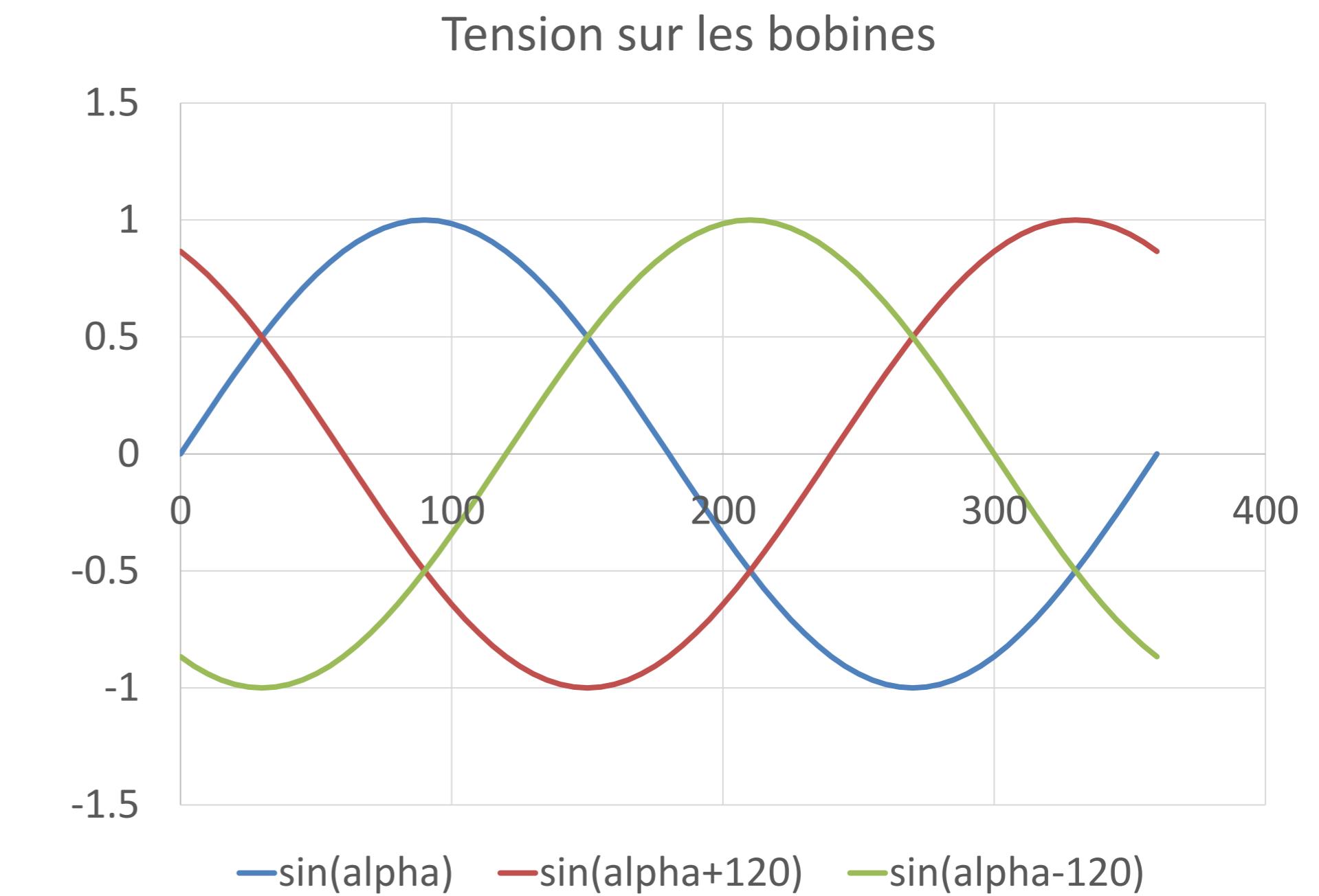
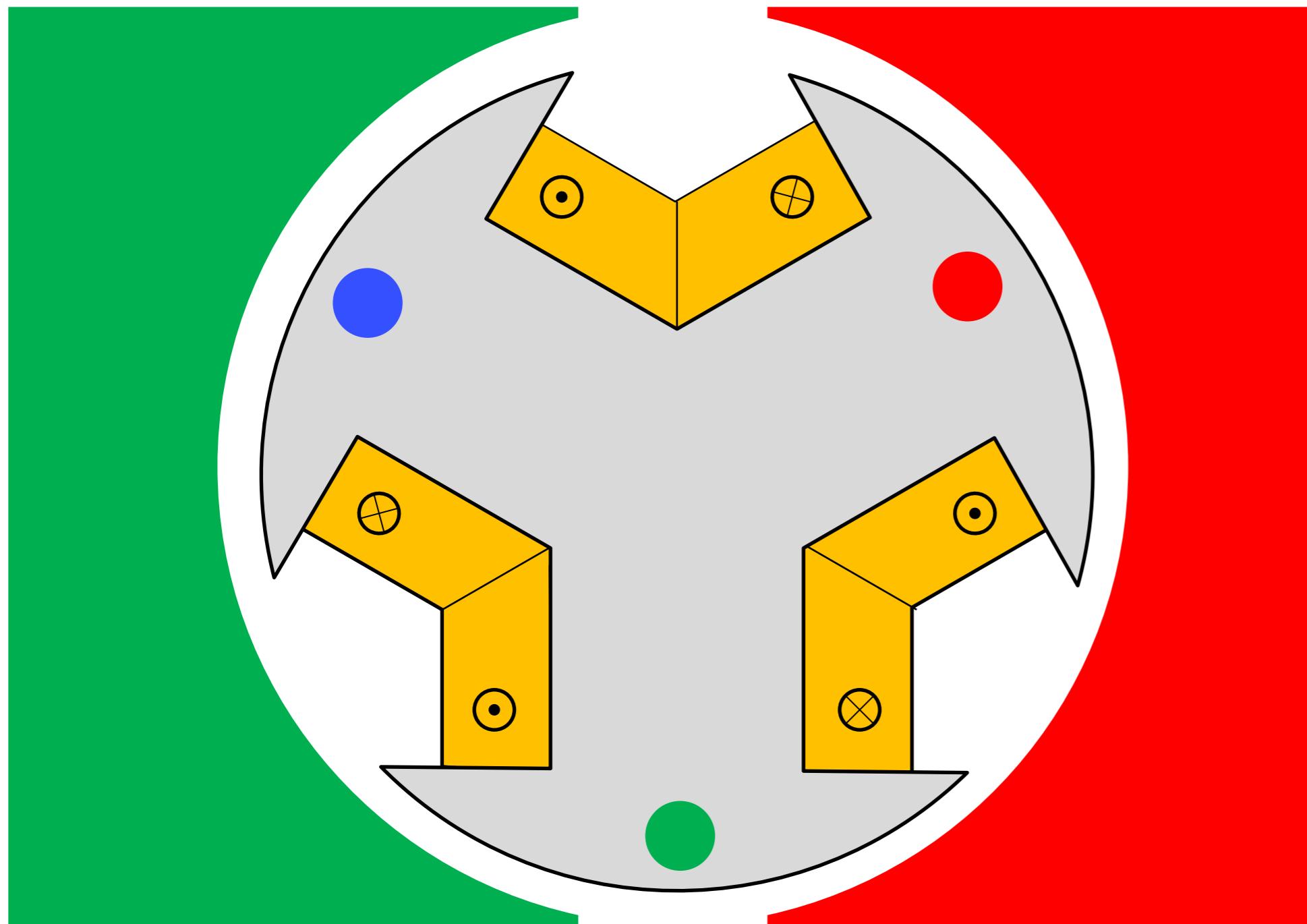
# Tension: 1 bobine redressée



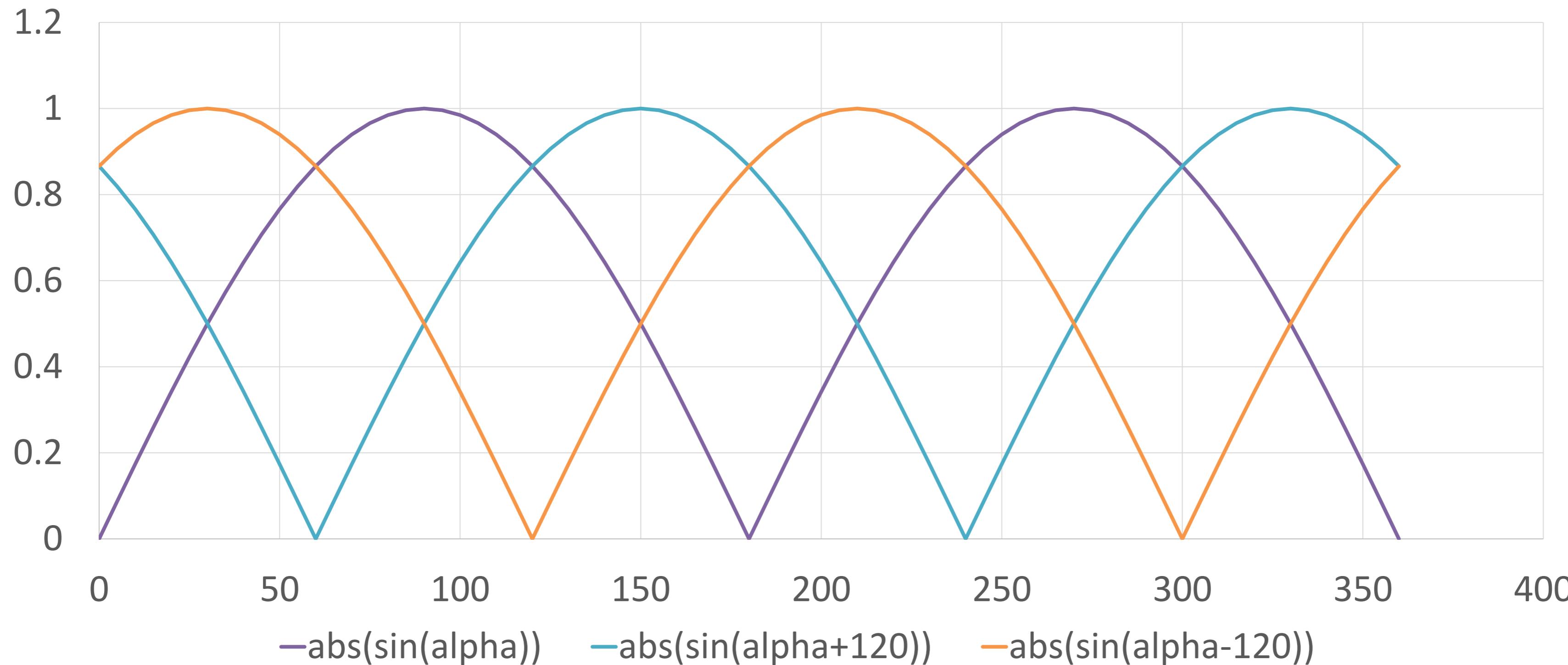
$t$



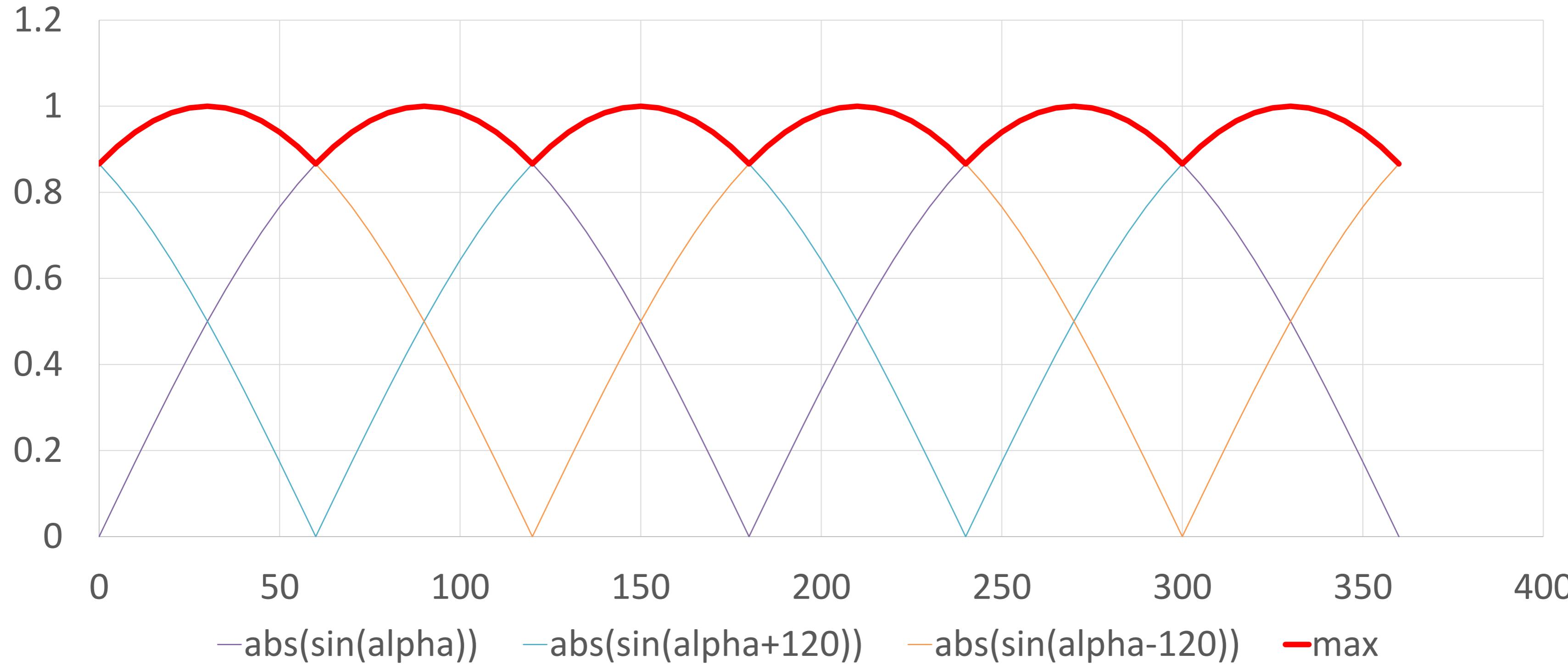
# Fonctionnement



## Tensions redressées



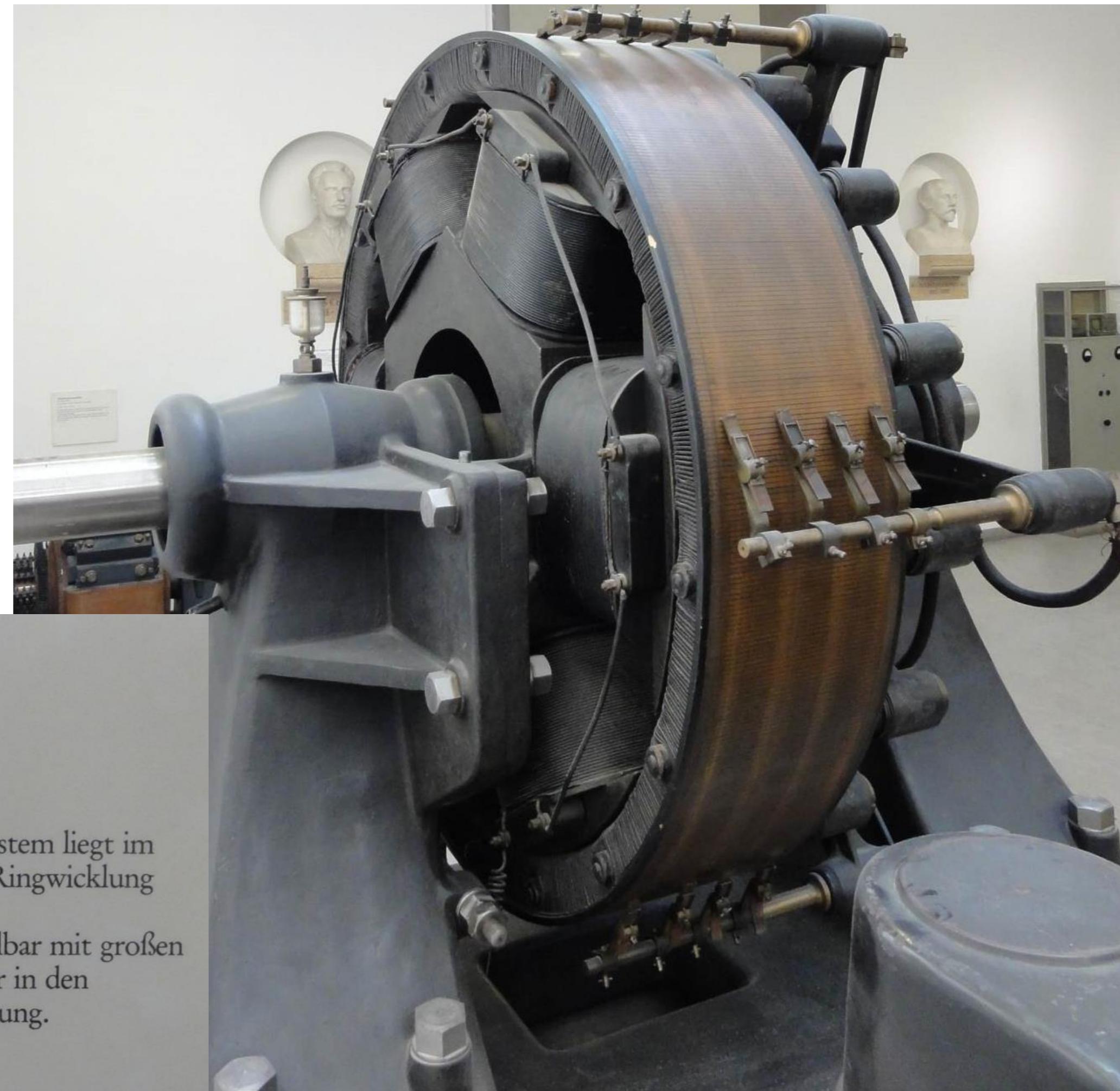
## Tensions redressées



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,  $200 \text{ min}^{-1}$

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

# Création de la tension induite de mouvement

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

# Moteur CC: équations caractéristiques

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

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

# Equation de tension

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

# Equation de couple

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

# Excitation à aimant permanent

- Tension

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

- Couple

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

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

EPFL

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

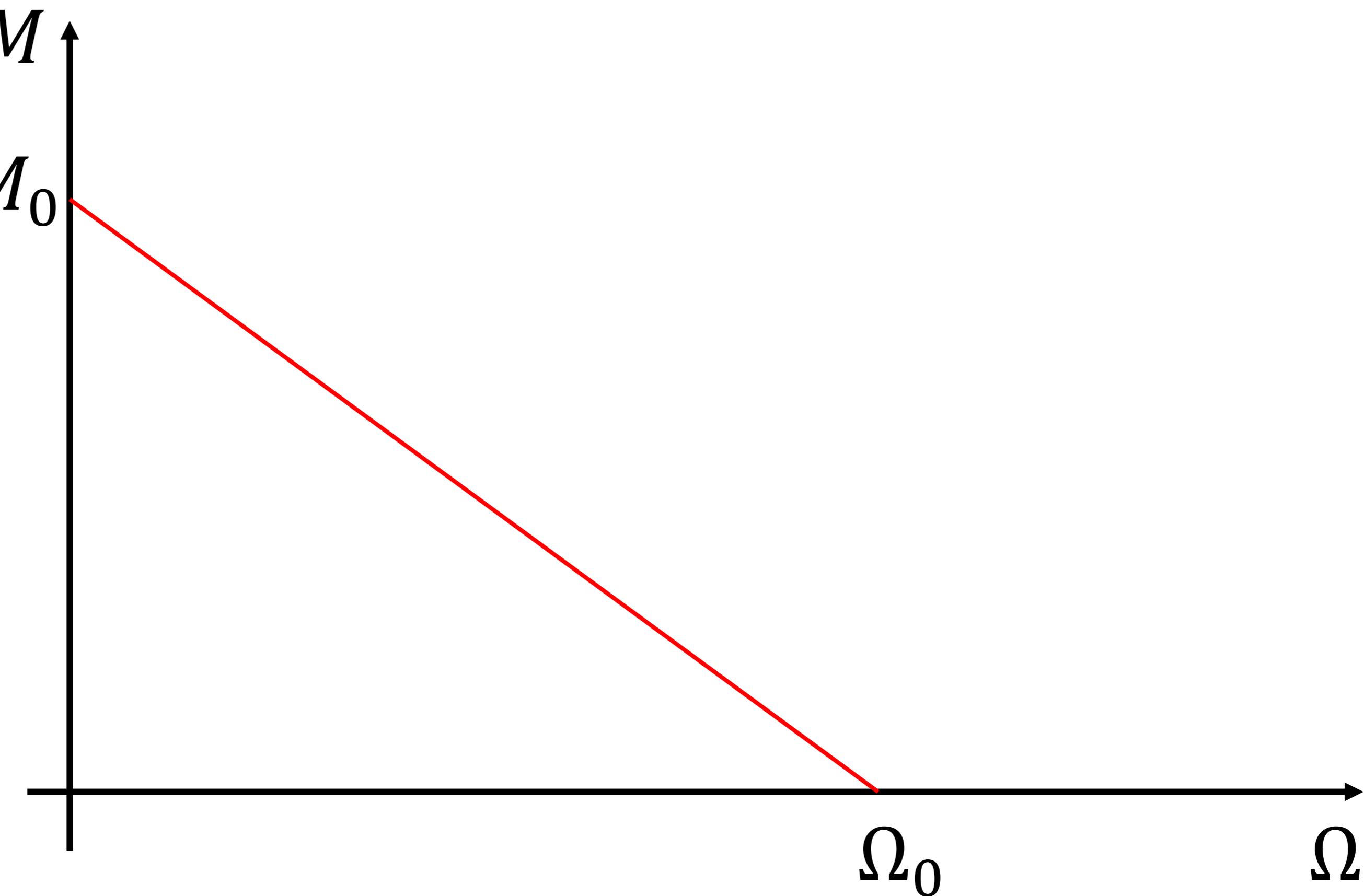
$$M = k_u \hat{\phi}_a I$$

# Alimentation à tension constante, rendement

# Alimentation à tension variable

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

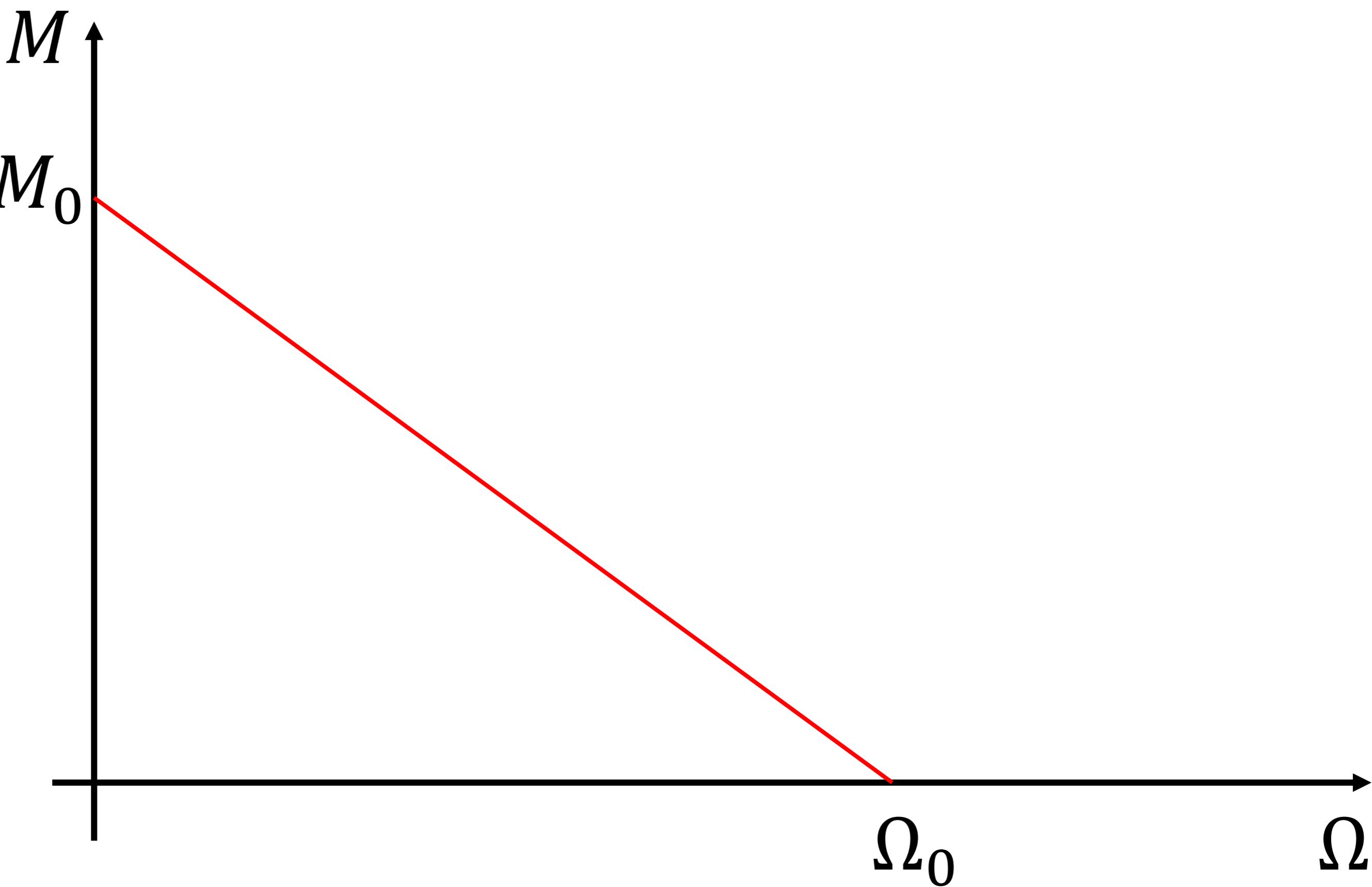
$$\Omega_0 = \frac{U}{k_u \hat{\phi}_a}$$



# Limitation de courant

$$P_J = RI^2$$

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



# 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											
Caractéristiques moteur	302534	339149	339150	339151	339152	339153	339154	339155	339156	339157	339158
<b>Valeurs à la tension nominal</b>											
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	86
<b>Caractéristiques</b>											
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

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

$$M=k_u\widehat{\phi}_aI$$

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

# Données du fabricant

## 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) (statique, axe maintenu)	60 N 1000 N
28 Charge radiale max. à 5 mm du flasque	35 N

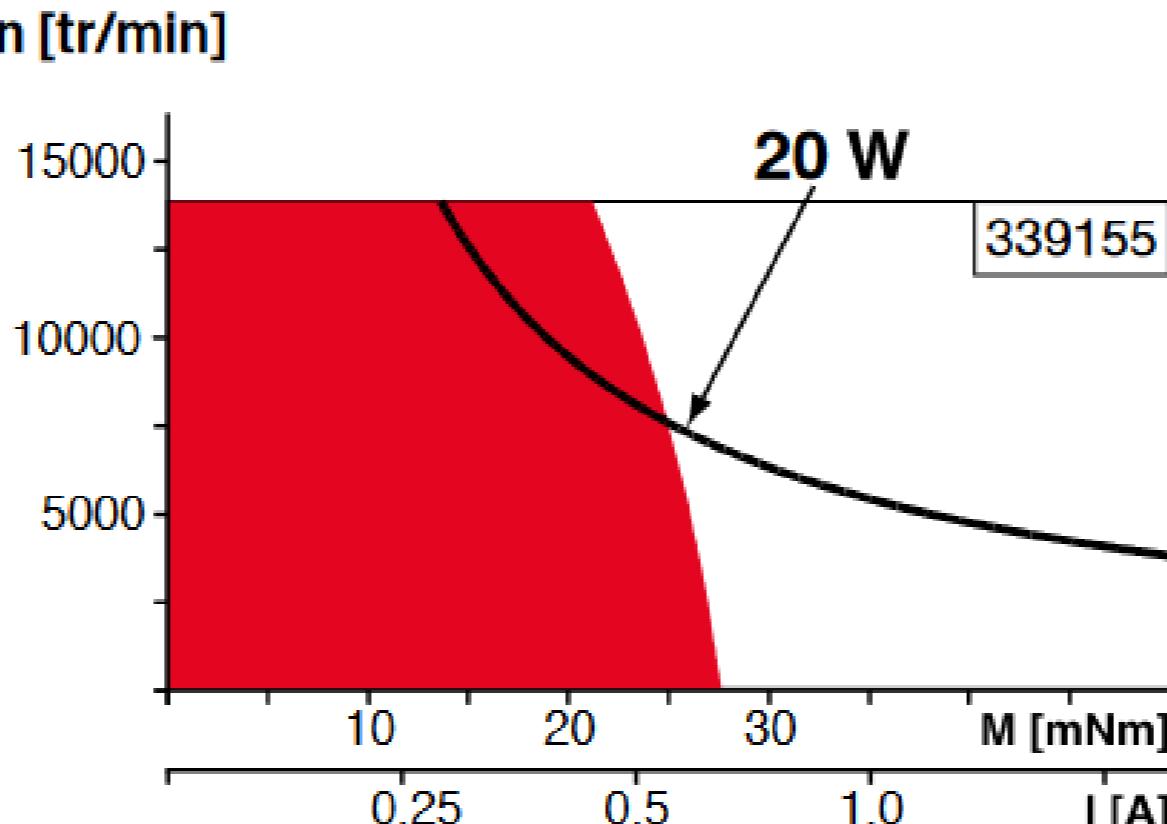
### Autres spécifications

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.

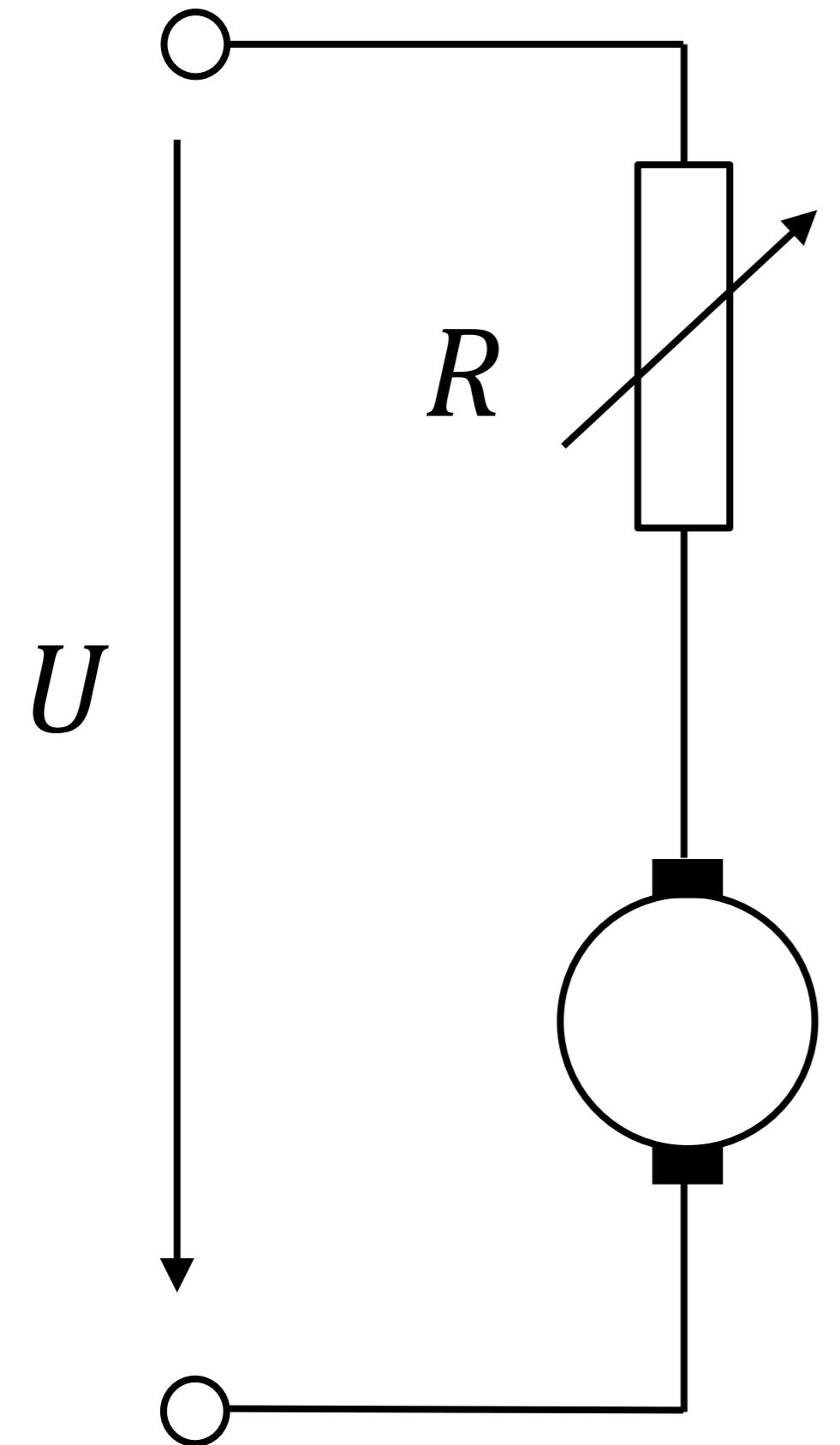
## Plages d'utilisation



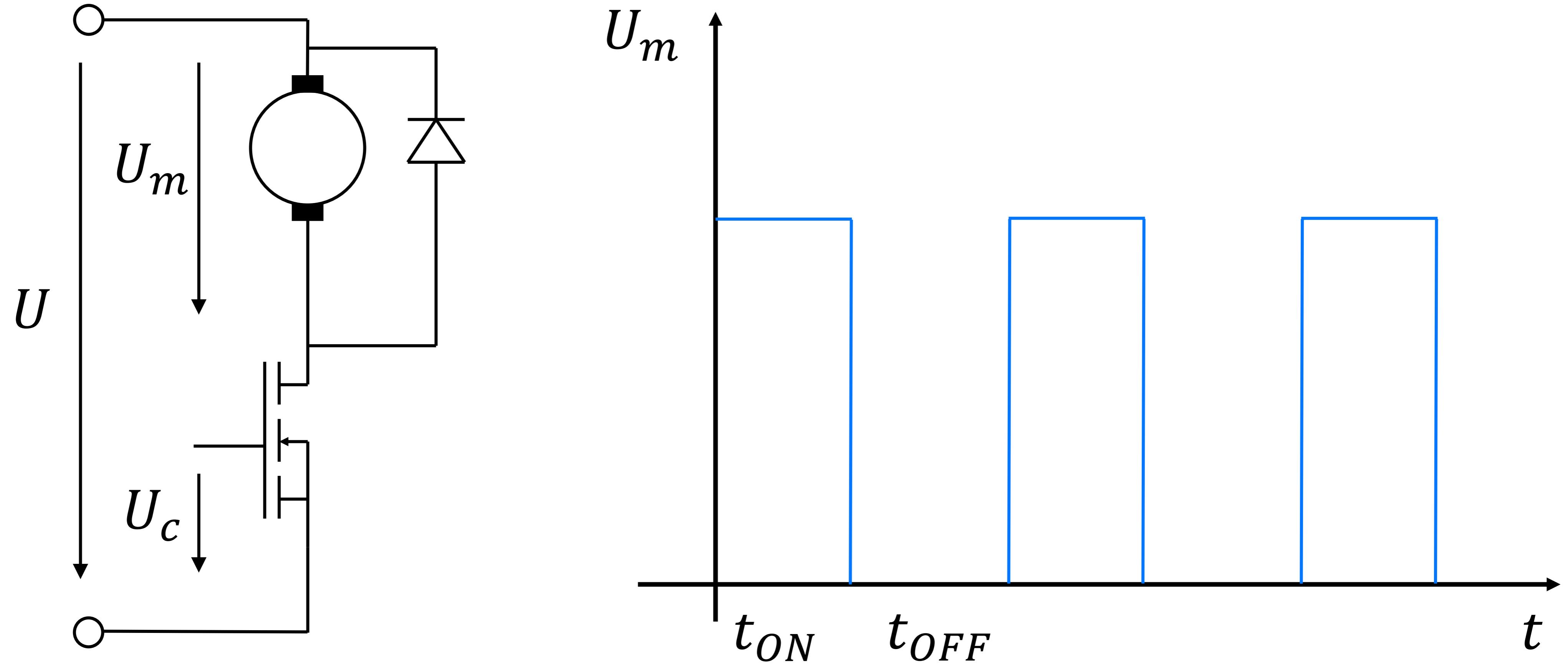
## Légende

- Plage de fonctionnement permanent  
Compte tenu des resistances 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

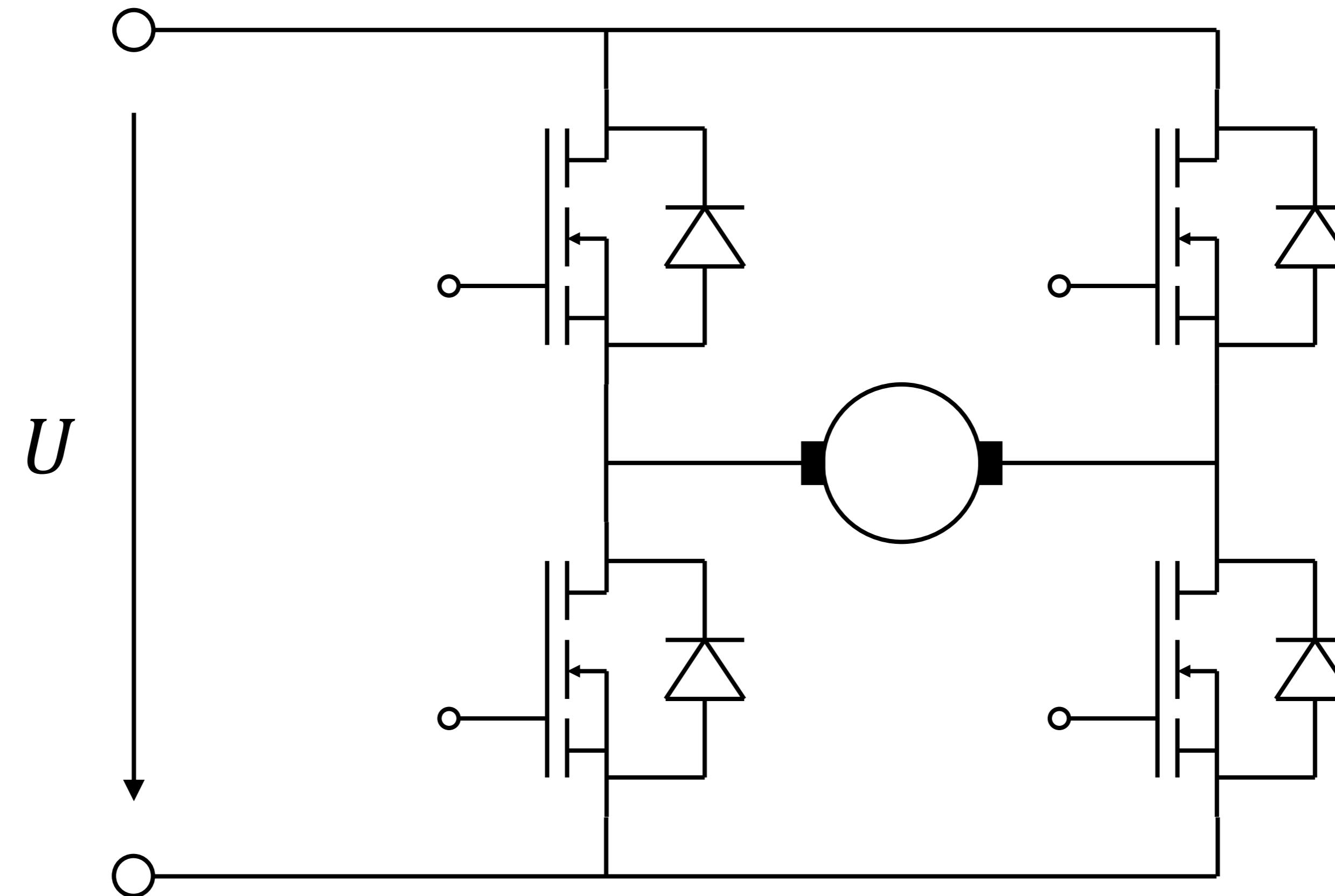
# Historique



# Implémentation: alimentation unipolaire



# Implémentation: pont en H



# Alimentation à tension variable

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

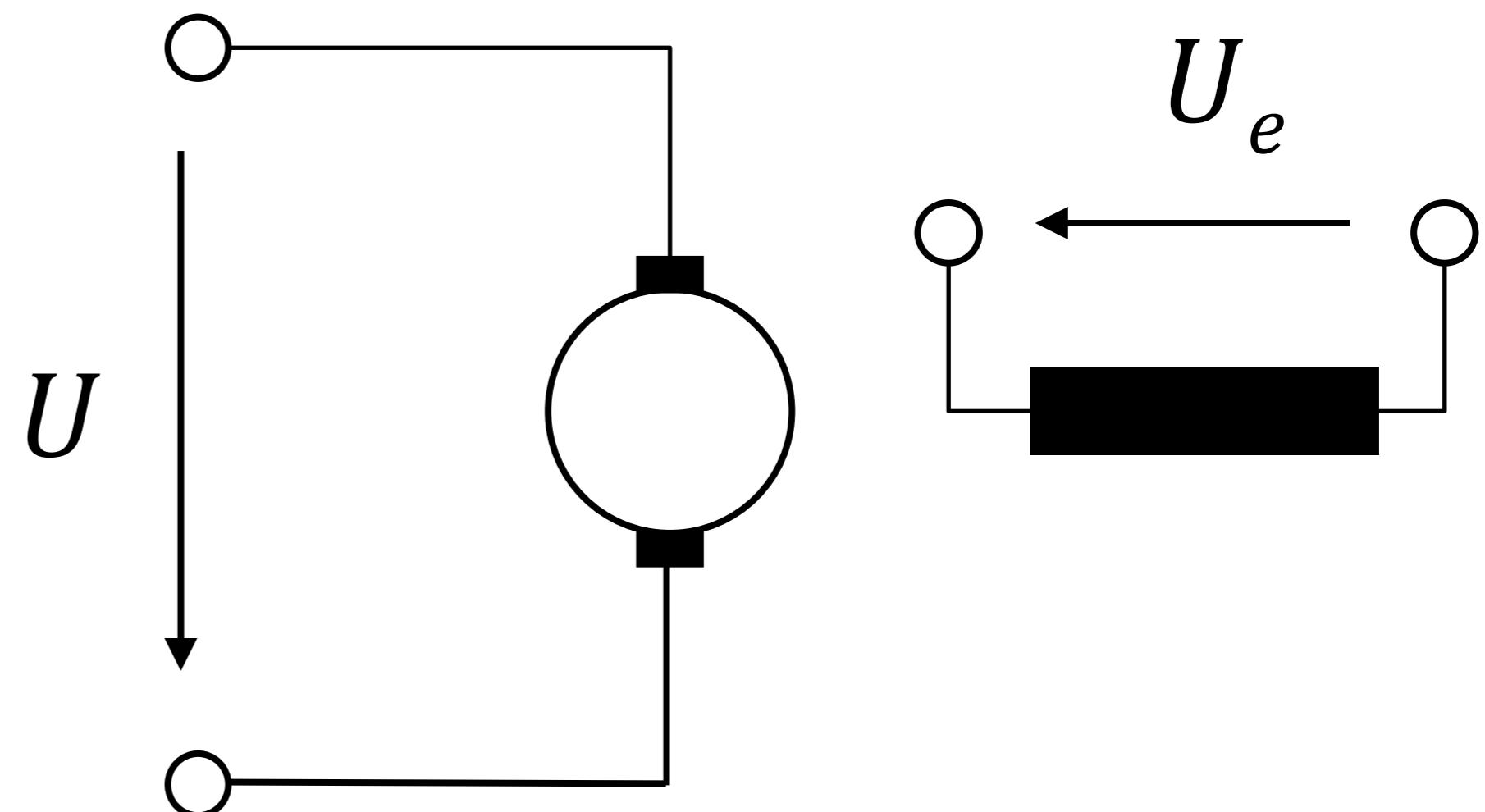
# Excitation bobine

- Aimant

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

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

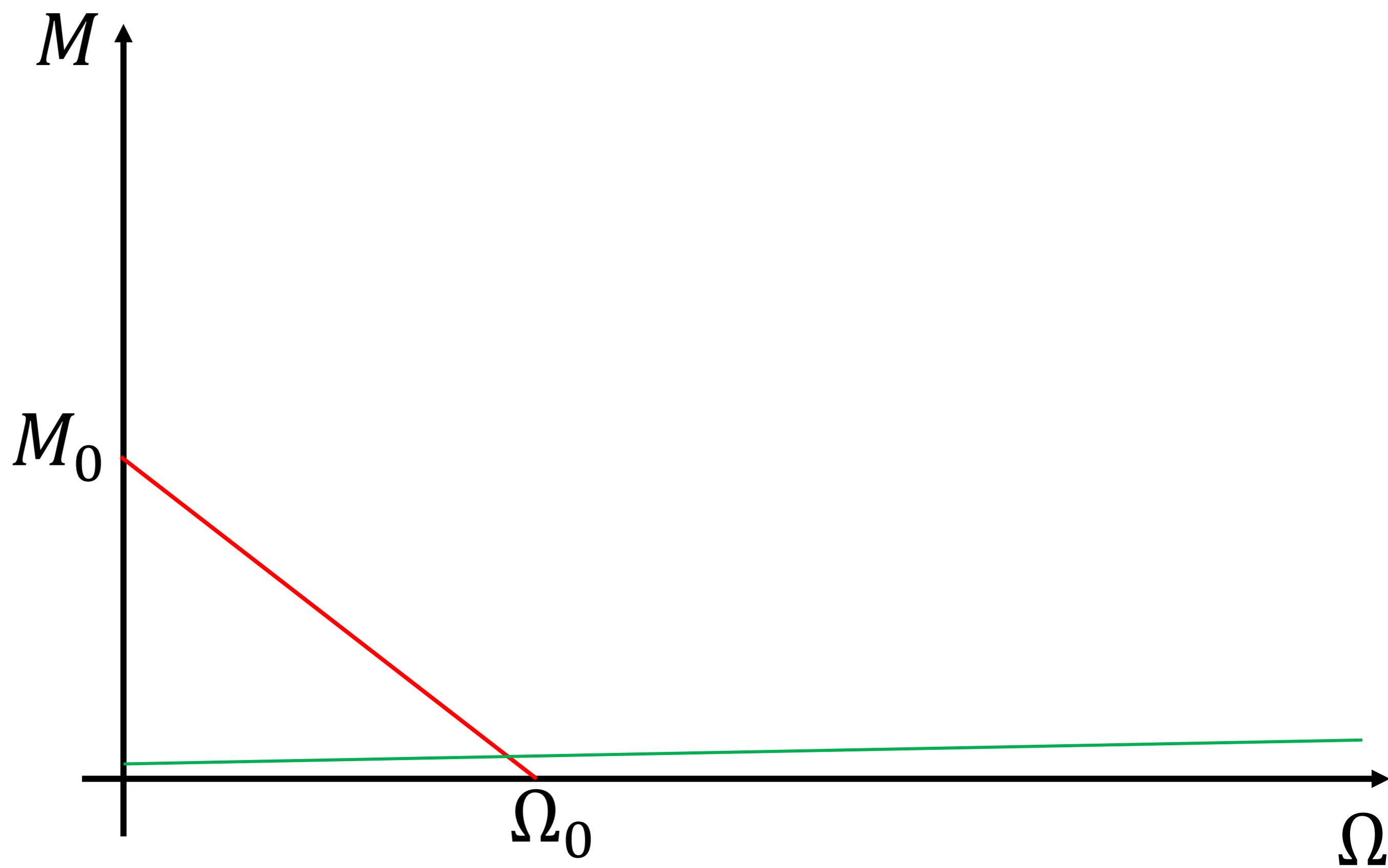
- Bobine



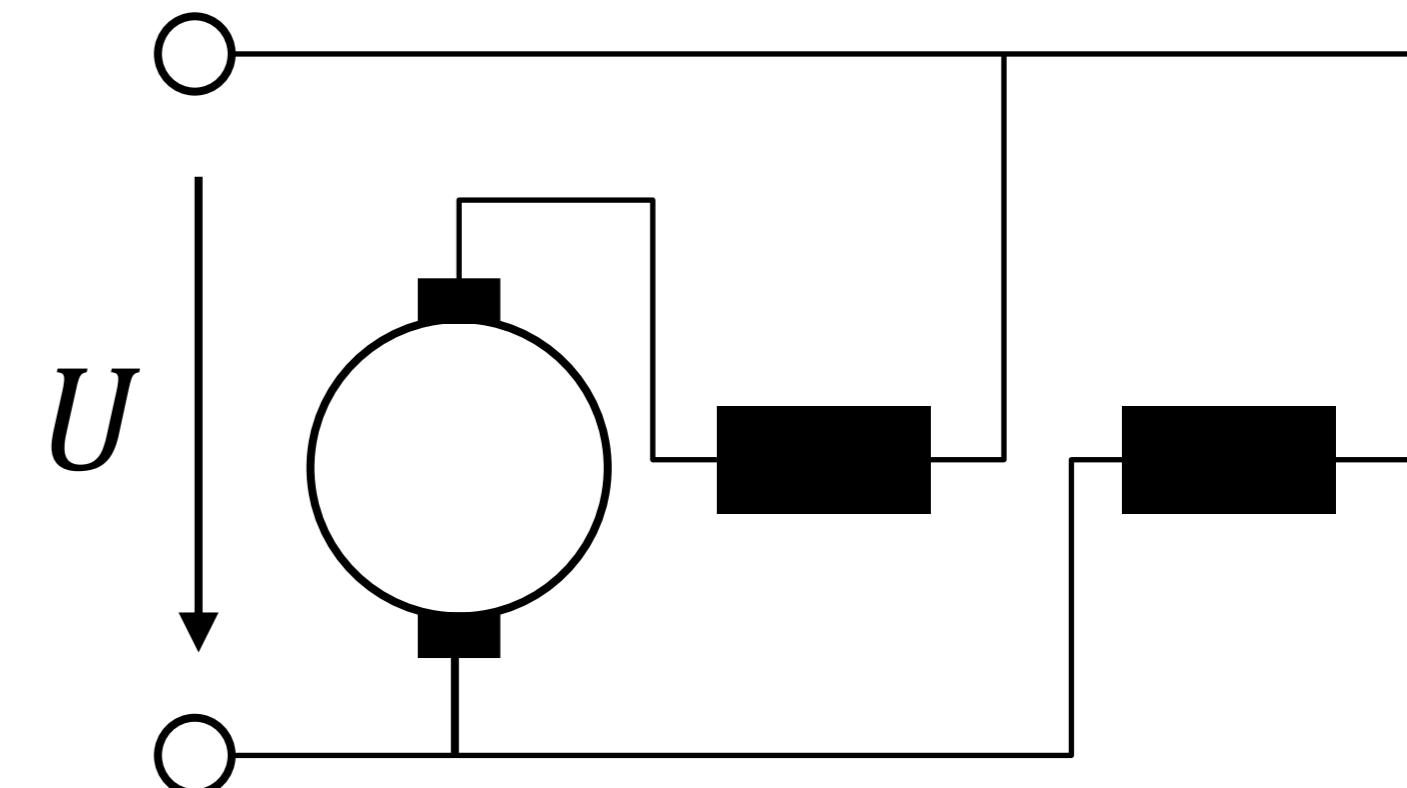
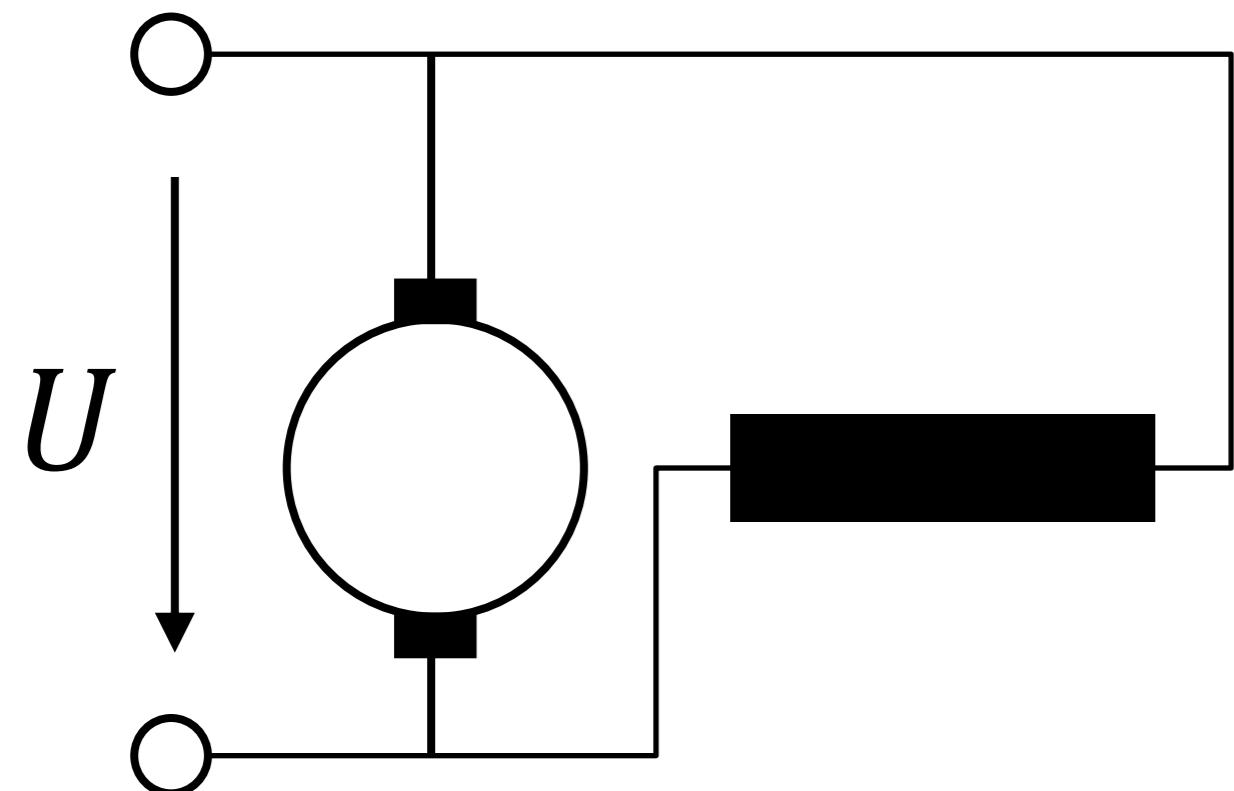
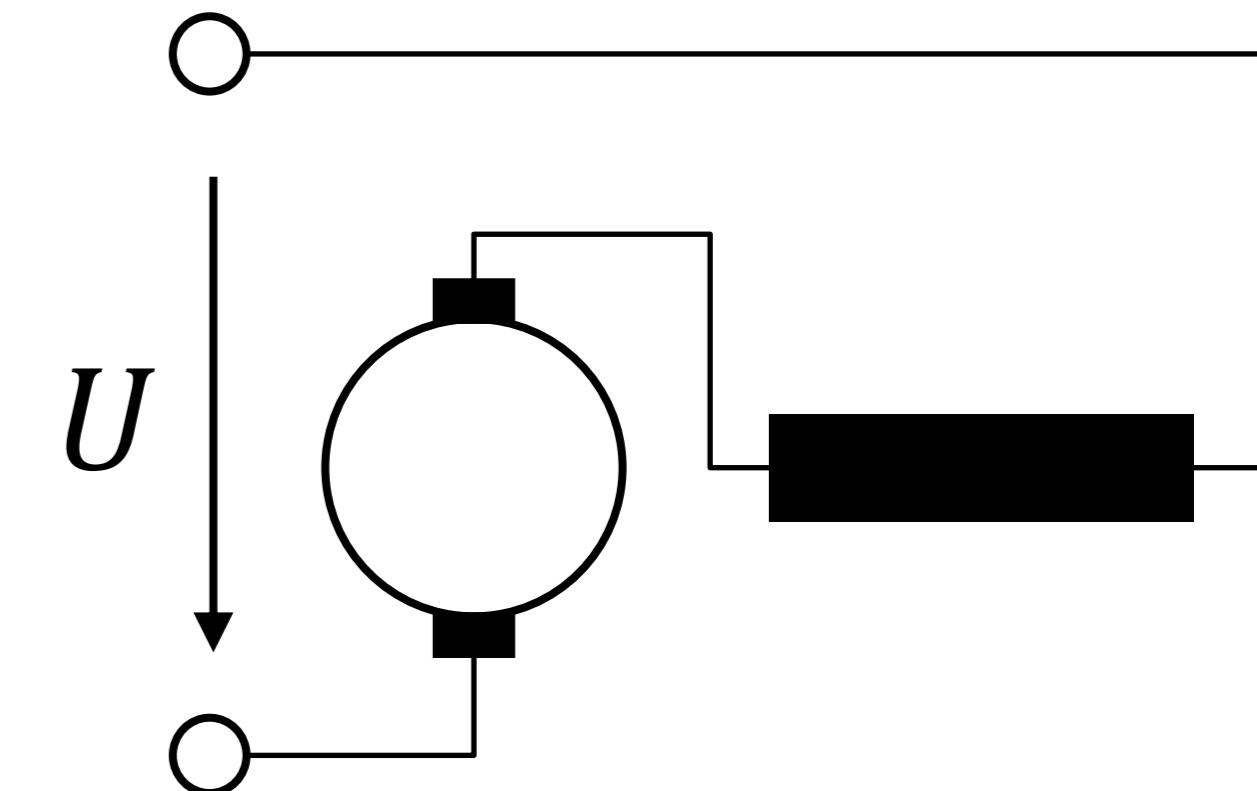
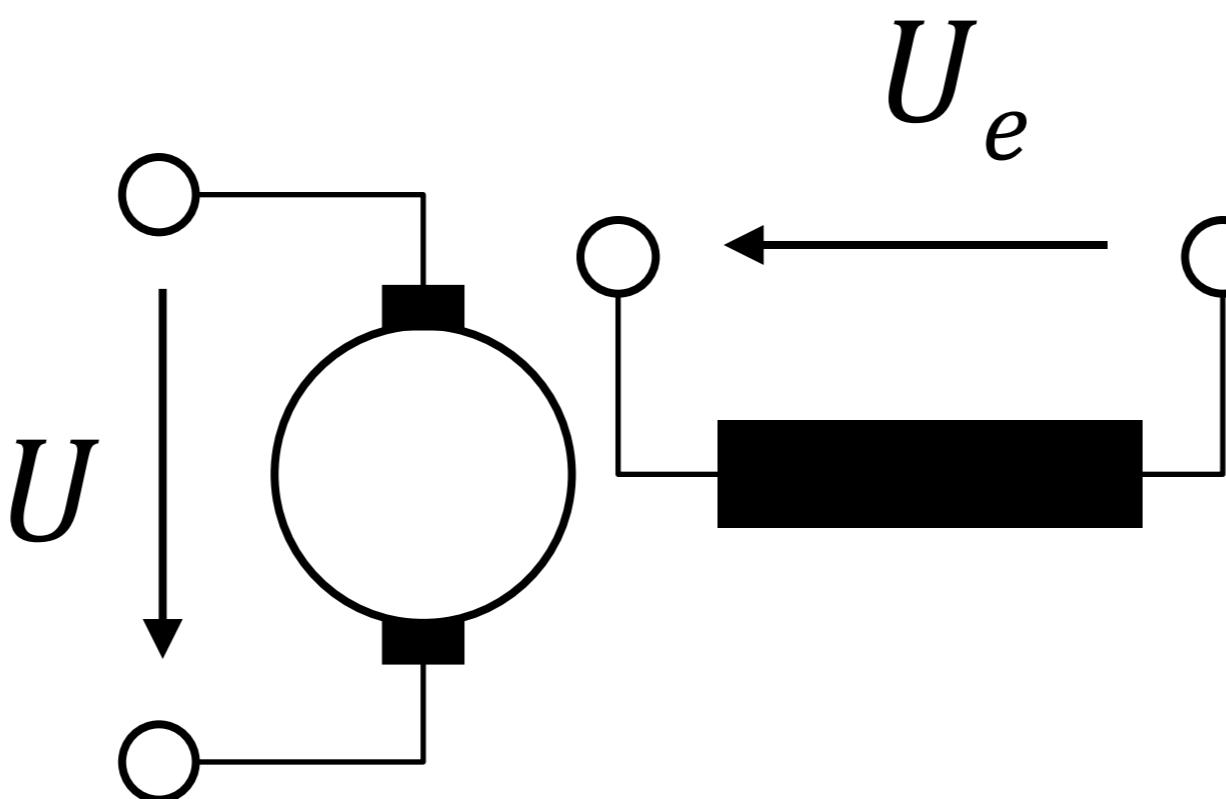
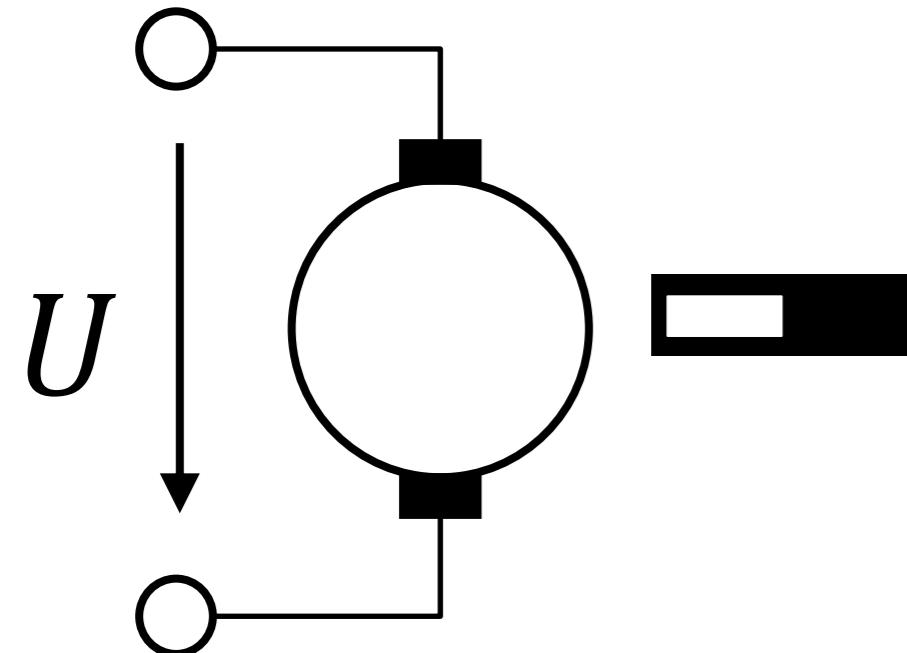
# Démo: excitation séparée

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

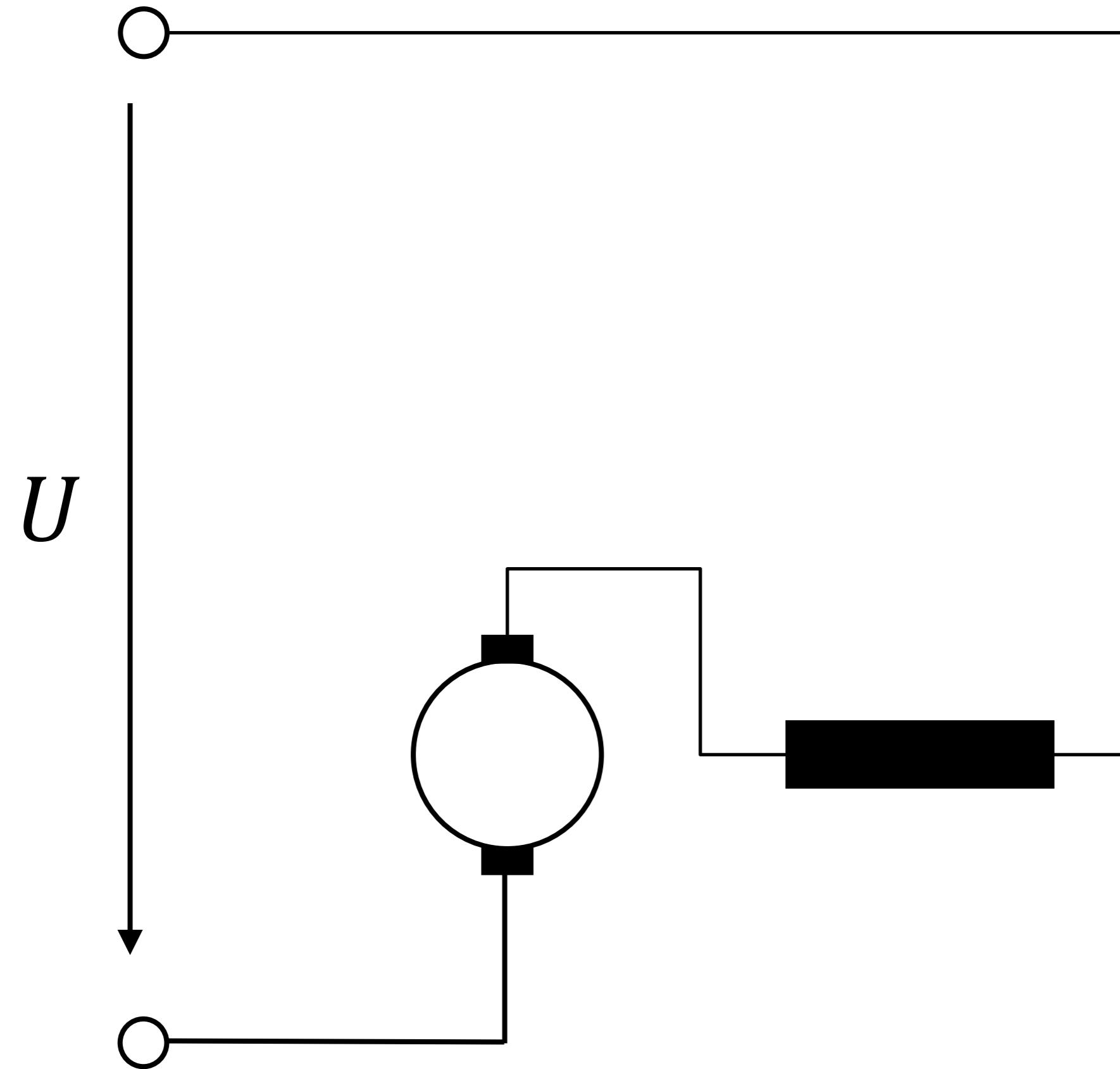
$$\Omega_0 = \frac{U}{k_u \hat{\phi}_e}$$



# Modes d'excitation



# Excitation série



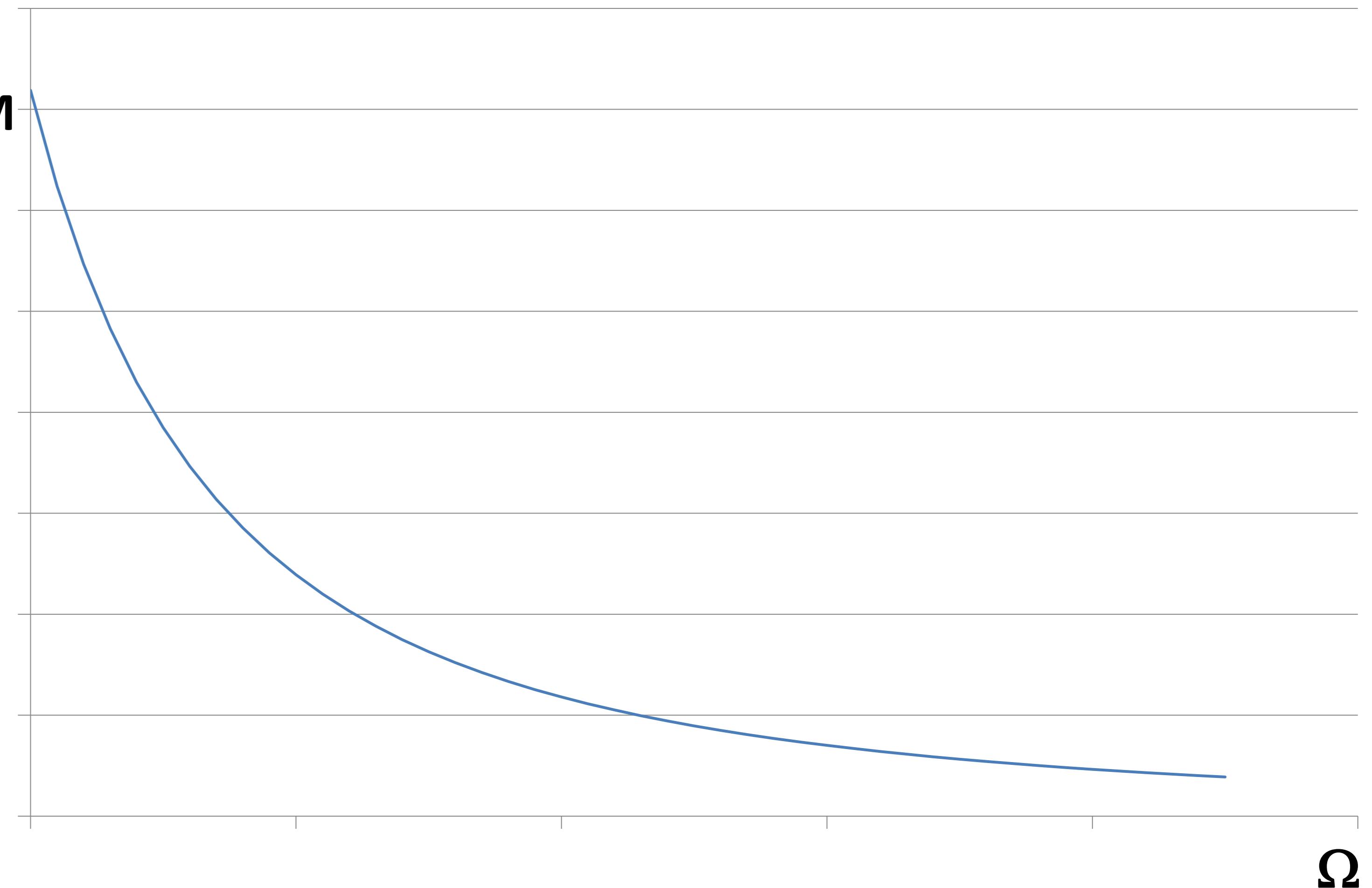
# Caractéristique de couple, emballage

$$M = k_u' I^2$$

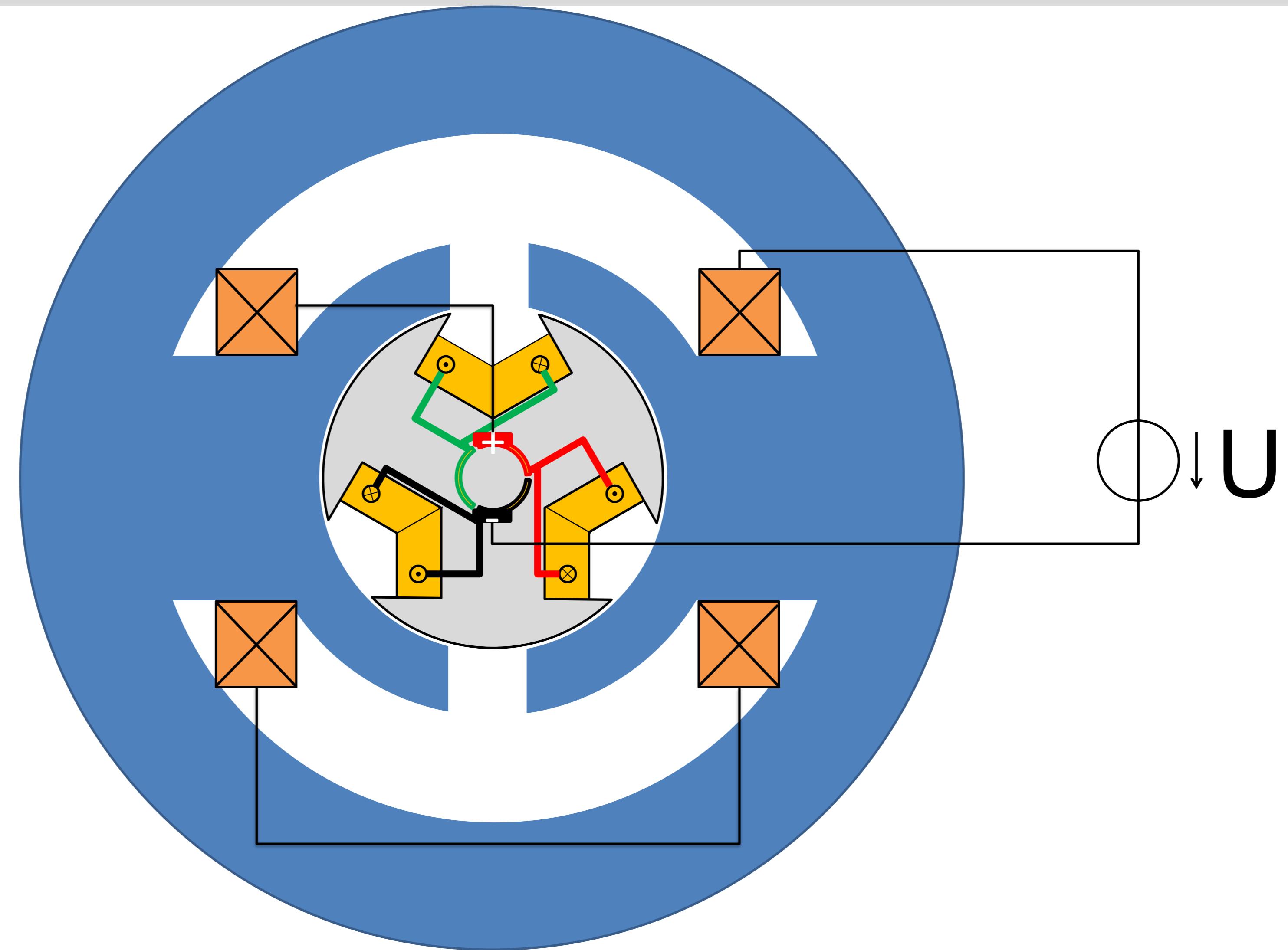
$$U = RI + k_u' I \Omega$$

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

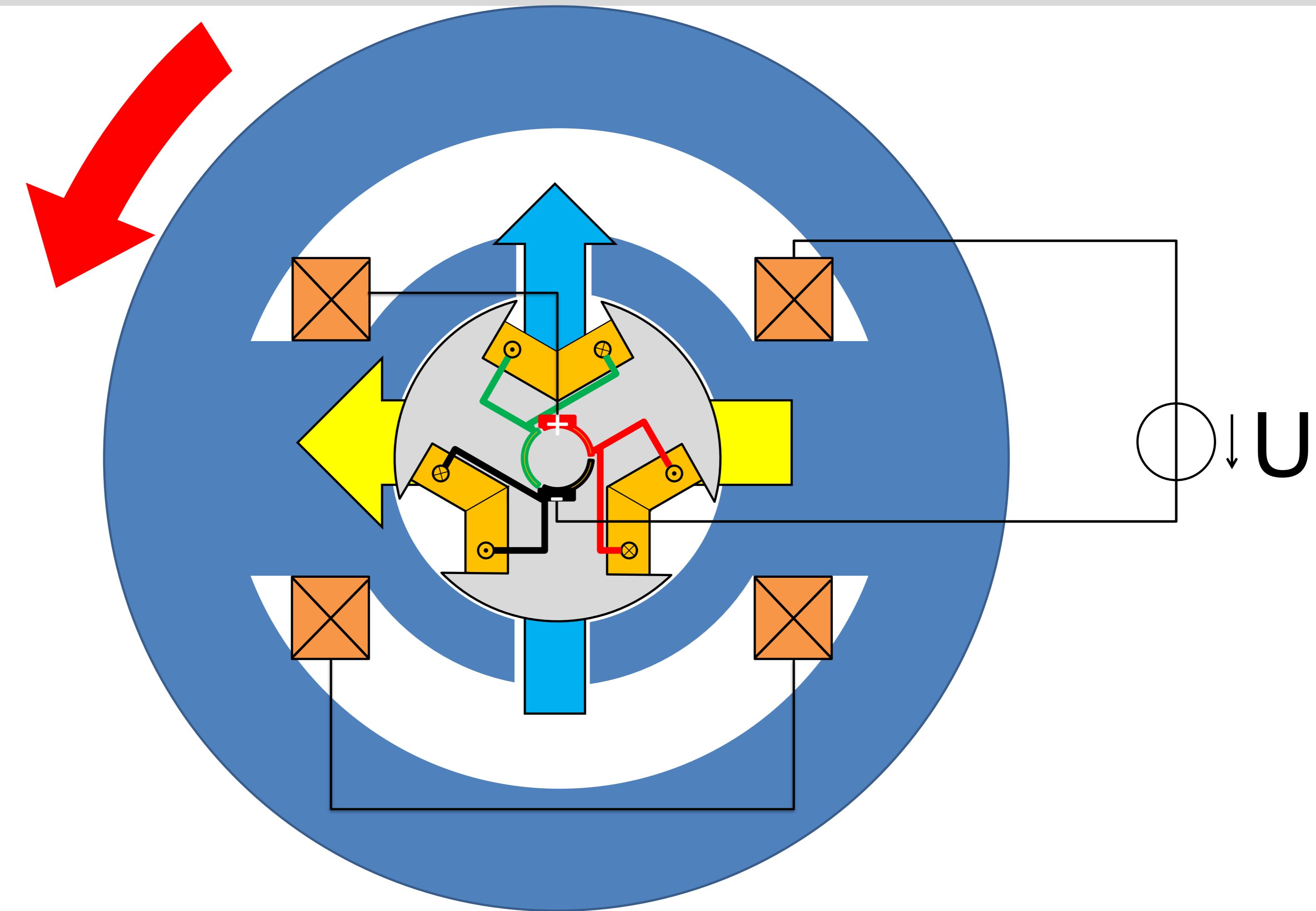
$$M = k_u' \frac{U^2}{(R + k_u' \Omega)^2}$$



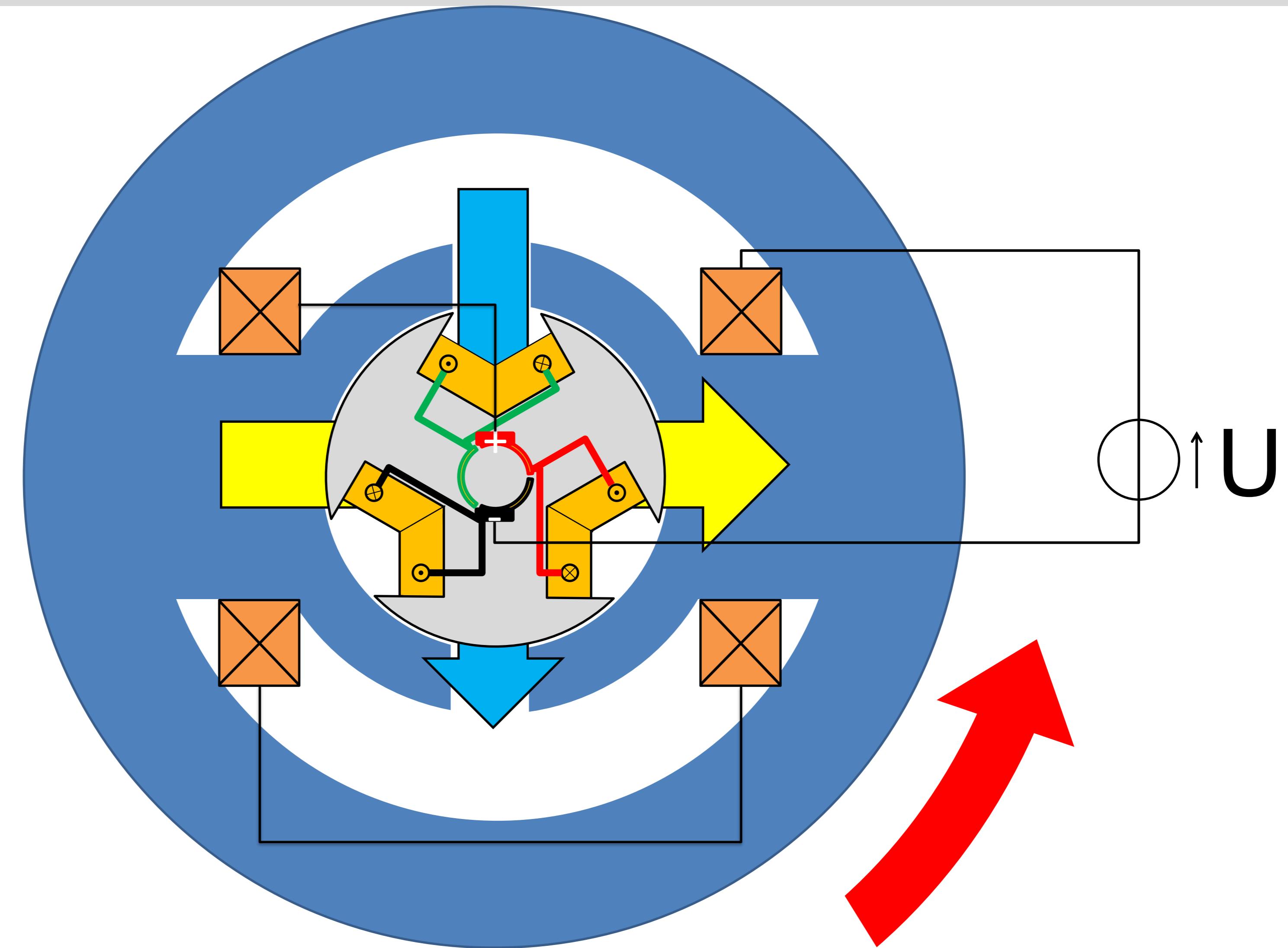
# Moteur à excitation série



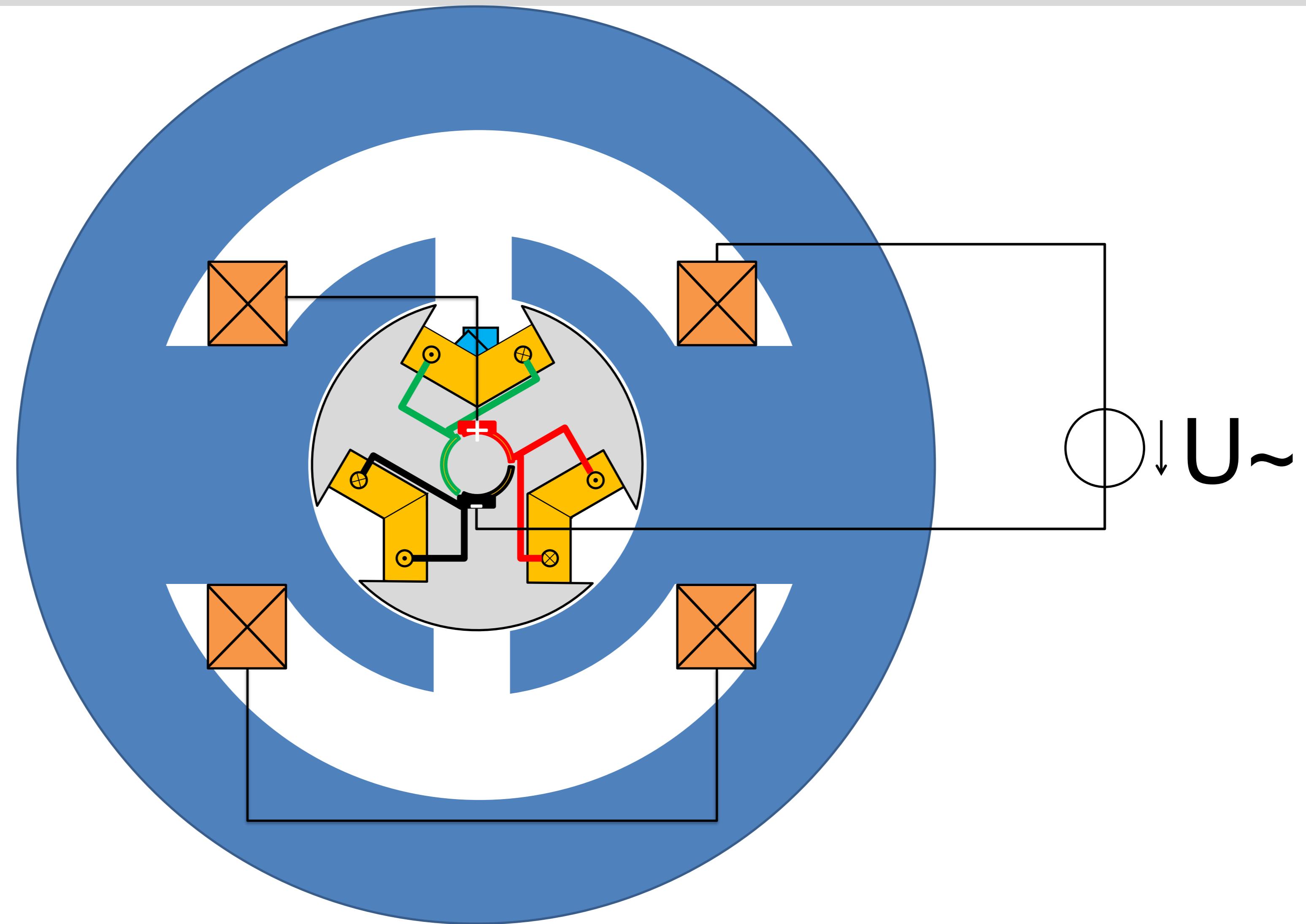
# Moteur à excitation série: tension positive



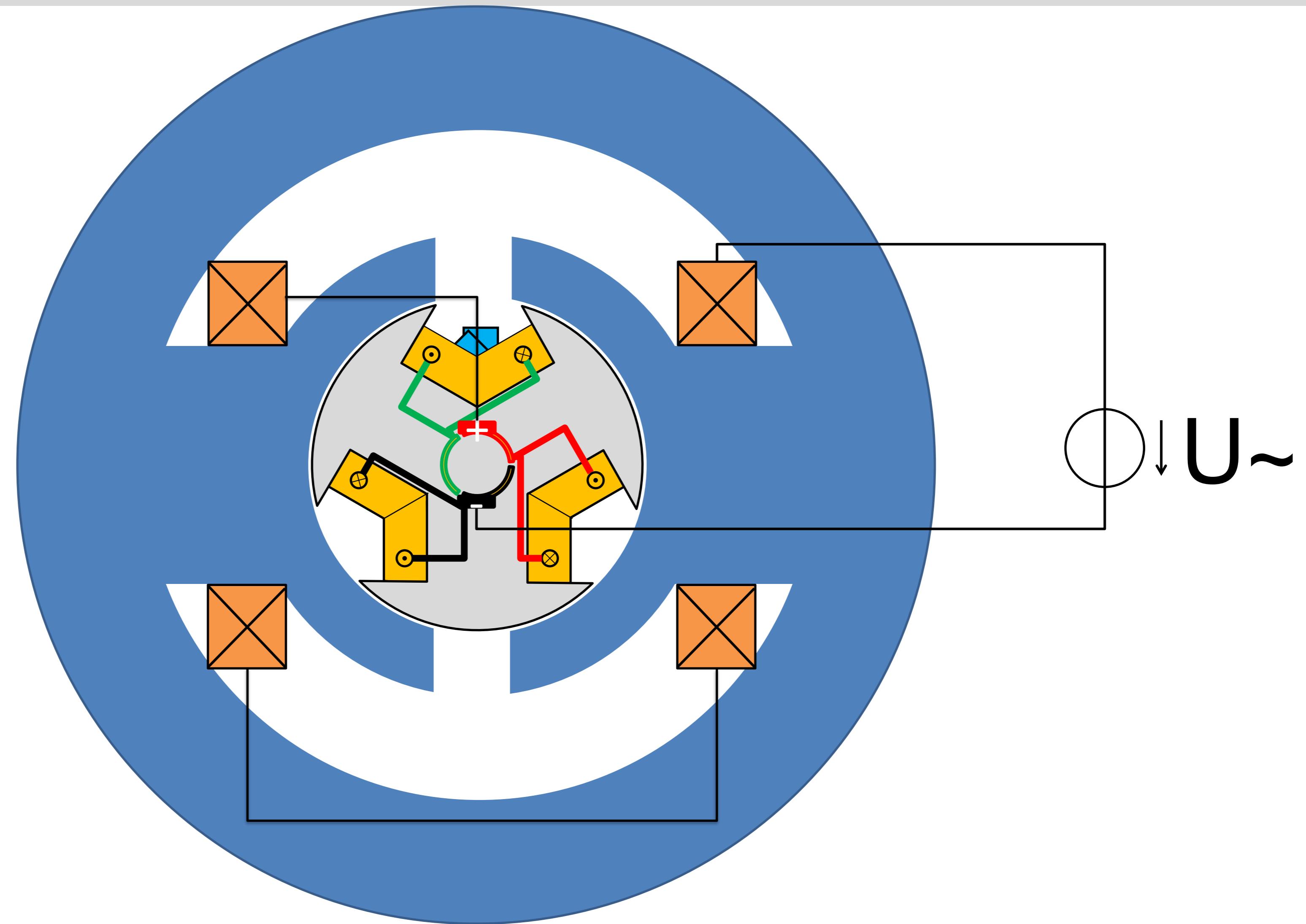
# Moteur à excitation série: tension négative



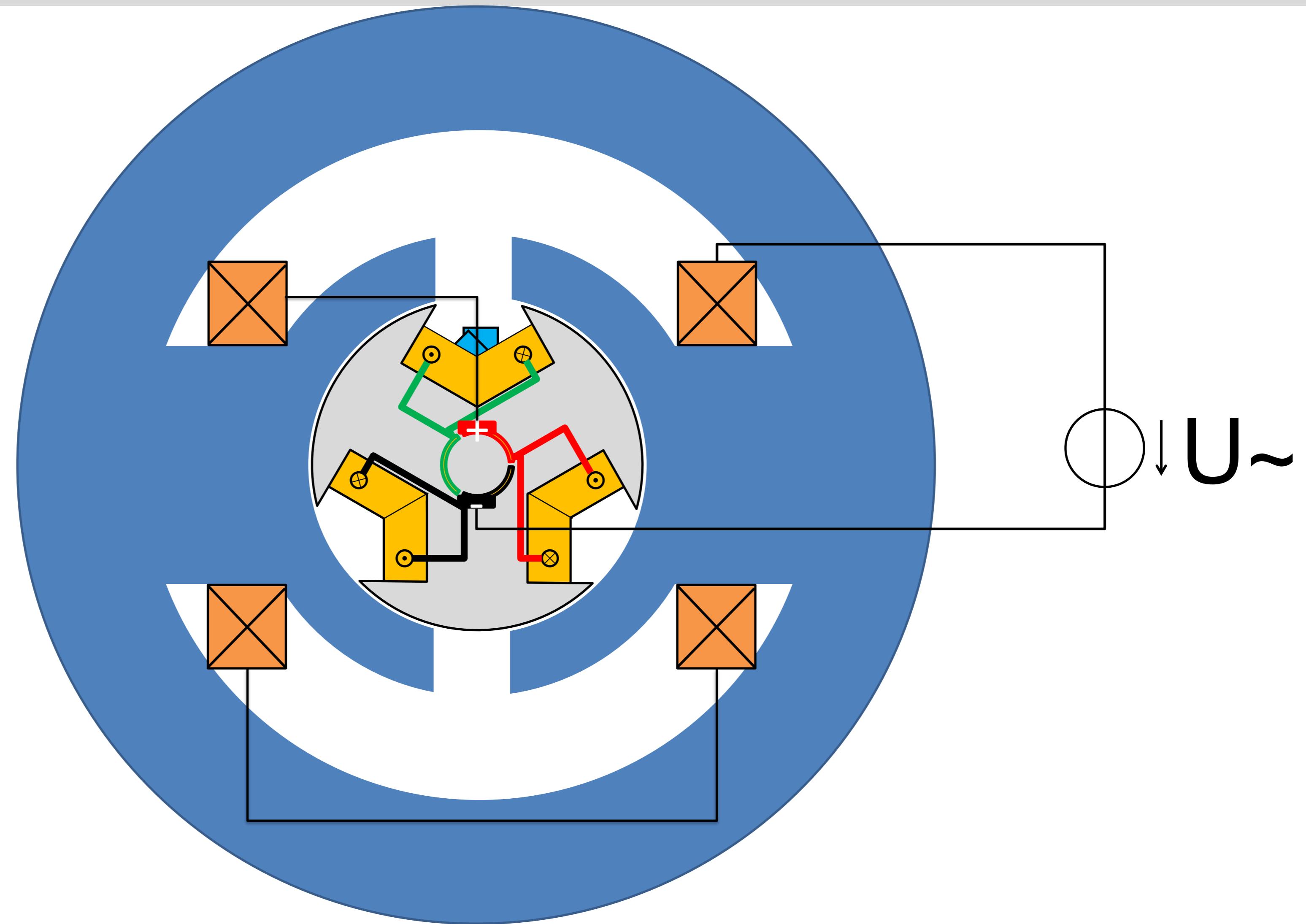
# Moteur universel



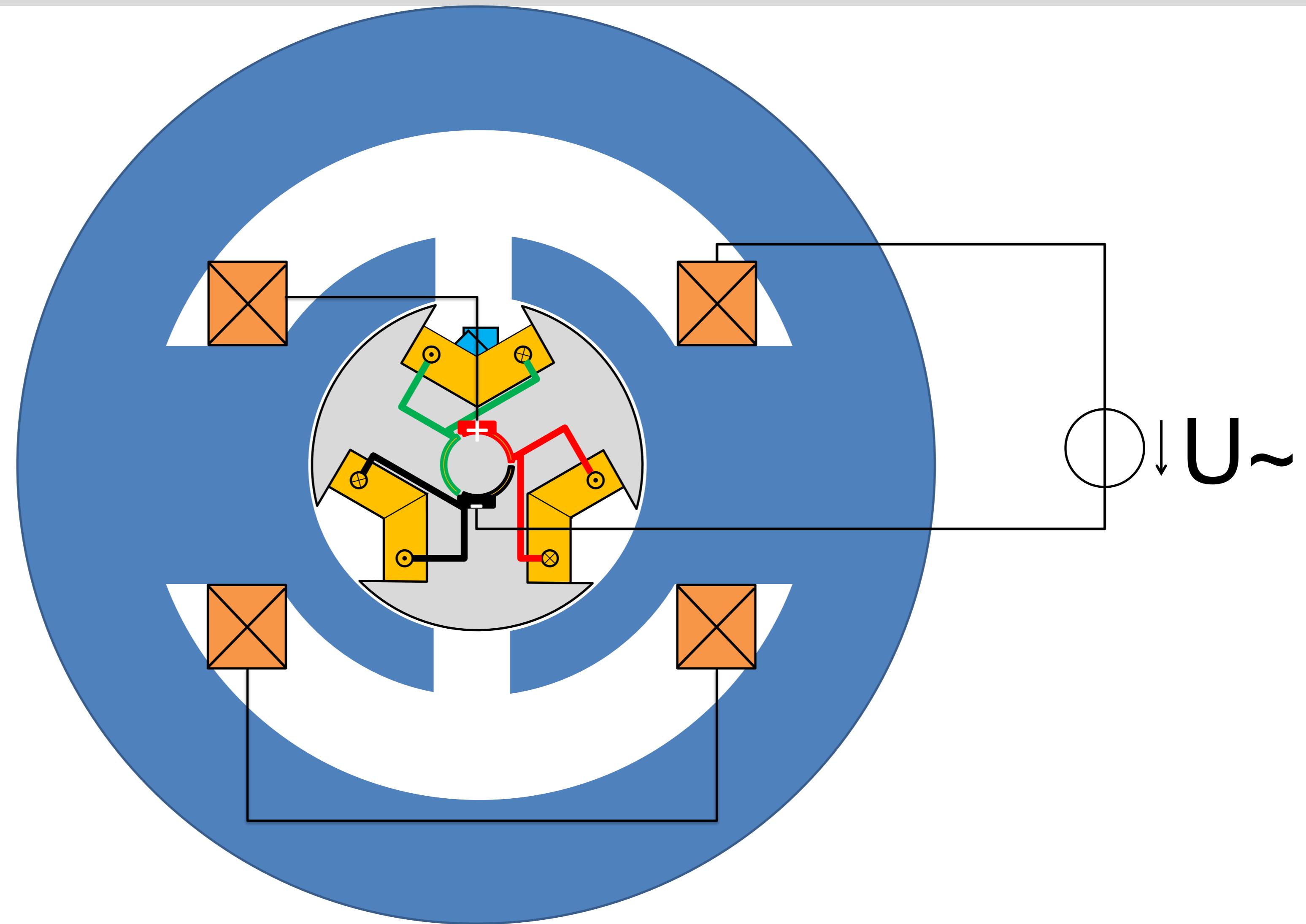
# Moteur universel



# 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)