

3 ANNÉE EEEA OPTION PN

Rapport Bureau d'étude : modélisation des phénomènes couplés

Étudiants :

Arabej MOUHCIN

Yacoubi MOHAMED REDA

Enseignants :

Huguet THOMAS

31 décembre 2022

Table des matières

1	Introduction	2
2	Critères à optimiser et contraintes du problème	3
3	Otimisation à l'aide de la boîte à outils fmincon	4
4	Optimisation des pertes Joules P_j	4
4.1	Optimisation avec un point départ fixé au milieu	4
4.2	Optimisation avec des points de départ aléatoires	5
4.3	Comparaison des algorithmes utilisés	5
5	Optimisation du volume de la machine V	6
6	Conclusion	6

1 Introduction

Dans ce bureau d'étude on s'intéresse à l'optimisation d'une machine asynchrone à l'aide de la boîte à outils fmincon offerte par MATLAB en testant différents algorithmes ('sqp', 'active-set', 'point-intérieur') et de comparer les résultats obtenus. Il s'agit alors de l'optimisation multicritères sous contraintes puisque on cherche à optimiser des fonctions qui dépendent d'un vecteur de paramètres et qui doivent respecter des bornes bien déterminés.

Grandeur	Description	Valeur
a en (m)	diamètre d'alésage	[0.01 , 0.5]
p	nombre de paires de pôles	[1 , 4]
e en (m)	entrefer	[0.001 , 0.005]
g	glissement	[0.11 , 0.22]
n_{cs}	nombre de conducteur statorique par encoche	[10 , 50]
N_{epp}	nombre d'encoche statorique par pôle et par phase	[1 , 5]
β_{enc_s}	taux de remplissage des encoches statoriques	[0.1 , 0.8]
c_{rs} en (m)	largeur des culasses rotorique et statorique	[0.1 , 0.3]
l_{enc_r} en (m)	largeur des conducteurs rotoriques	[0.1 , 0.3]
β_{enc_r} en (m)	taux de remplissage des encoches rotoriques	[0.1 , 0.4]
I_s	courant statorique	[100 , 10^4]

TABLE 1 – Les paramètres à optimiser avec leurs bornes inf et sup

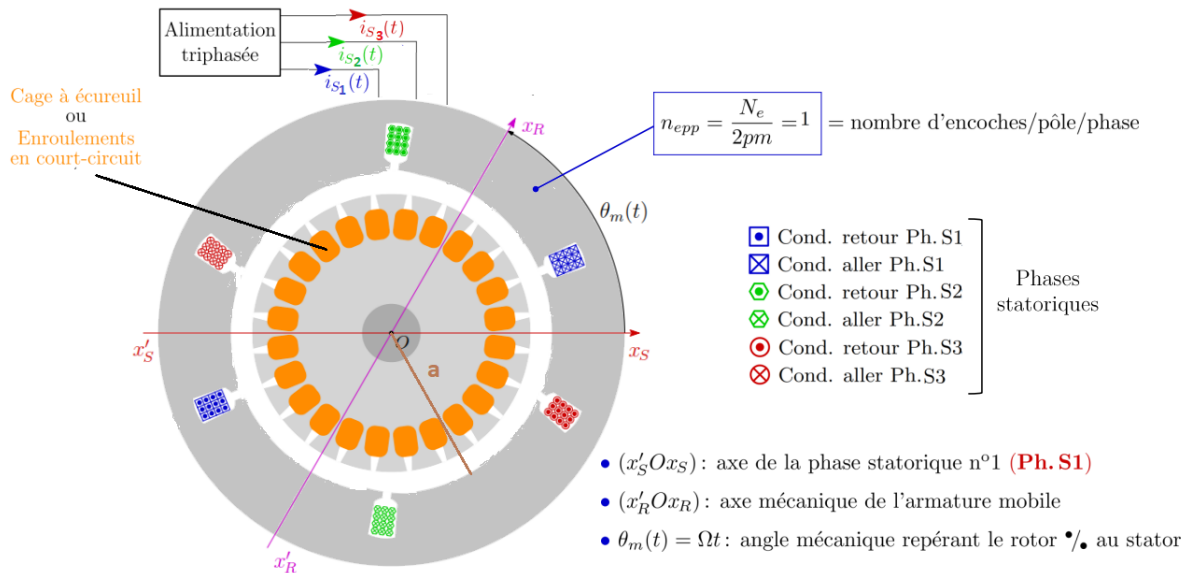


FIGURE 1 – Schéma simplifié de la machine étudiée

2 Critères à optimiser et contraintes du problème

Nous commençons tout d'abord par poser le problème d'optimisation des pertes joules sous la forme :

$$P_j = P_{j\,rotor} + P_{j\,stator}$$

$$P_{j\,rotor} = \frac{\rho_c}{l_{cond}} \pi r_R h K_{Rf}^2$$

$$P_{j\,stator} = \frac{m}{2} R_s I_s^2$$

En prenant en compte les équations des contraintes, on peut alors définir le problème d'optimisation avec contraintes suivant :

$$(P_1) : \begin{cases} \min_{x \in \mathbb{R}^{11}} P_j(a, p, e, g, n_{cs}, N_{ep}, \beta_{enc_s}, C_{rs}, l_{enc_r}, \beta_{enc_r}, I_s) \\ V_s - V_{smax} \leq 0 \\ B - B_{sat} \leq 0 \\ K_{sf} - K_{sfmax} \leq 0 \\ C - C_{cible} = 0 \end{cases}$$

Avec : $V_{smax} = \frac{400}{\sqrt{3}} V$; $B_{sat} = 1.5T$; $K_{sfmax} = 50.10^3 (\text{A/m})$

Nous allons après réaliser l'optimisation du volume de la machine V qui est définit dans le modèle par l'équation :

$$V = \pi(a + l_{enc} + c_{rs})^2 h$$

En prenant en compte les mêmes équations de contraintes définies précédemment, on définit alors le problème d'optimisation avec contraintes suivant :

$$(P_2) : \begin{cases} \min_{x \in \mathbb{R}^{11}} V(a, p, e, g, n_{cs}, N_{ep}, \beta_{enc_s}, C_{rs}, l_{enc_r}, \beta_{enc_r}, I_s) \\ V_s - V_{smax} \leq 0 \\ B - B_{sat} \leq 0 \\ K_{sf} - K_{sfmax} \leq 0 \\ C - C_{cible} = 0 \end{cases}$$

3 Optimisation à l'aide de la boîte à outils fmincon

La fonction fmincon de matlab propose plusieurs algorithmes d'optimisation, on va essayer certains d'entre eux pour optimiser les pertes joules et le volume de notre machine, afin de comparer leurs performances en ce qui concerne la valeur optimale, le temps d'exécution et le respect de la condition de nullité des contraintes imposées.

4 Optimisation des pertes Joules P_j

On commence par l'optimisation des pertes joules P_j à l'aide de fmincon en utilisant différents algorithmes, fmincon offre plusieurs algorithmes pour la recherche de minima/maxima d'une fonction et dont le processus de recherche diffère l'un de l'autre, parmi les algorithmes qui supportent les contraintes imposées on trouve : 'sqp', 'active-set', 'point-intérieur'.

Remarque : la recherche d'un minimum local d'une fonction pour un algorithme s'affecte par le choix du point de départ pour l'algorithme par ce qu'il s'agit de l'optimisation locale.

4.1 Optimisation avec un point départ fixé au milieu

Var1	Inf	Solution	Sup	CI
{ 'a' }	0.01	0.01902	0.5	0.255
{ 'p' }	1	1	4	2.5
{ 'e' }	0.001	0.0020498	0.005	0.003
{ 'g' }	0.11	0.11	0.22	0.165
{ 'n_cs' }	10	10	50	30
{ 'n_epp' }	1	1	5	3
{ 'beta_enc' }	0.1	0.3	0.3	0.2
{ 'c_rs' }	0.1	0.2	0.3	0.2
{ 'l_enc_r' }	0.1	0.3	0.3	0.2
{ 'beta_enc_r' }	0.1	0.4	0.4	0.25
{ 'Is' }	100	100	10000	5050
{ 'f_objectif' }	0	36.418	0	0
{ 'P_joule' }	0	36.418	0	0

FIGURE 2 – optimisation de P_j avec le point départ au milieu

```
tend_active_set =
    0.0212

ineg =
    -0.9985    -0.0001         0

eg =
    1.2246e-16

Essai 20 : flag entiers = 4
```

FIGURE 3 – contraintes et temps 'active-set'

```
tend_point_interieur =  
  
    0.1945  
  
ineg =  
  
    -0.9986    -0.0015    -0.2319  
  
eg =  
  
    -7.6571e-16  
  
Essai 20 : flag entiers = 2
```

FIGURE 4 – contraintes et temps
'point-interieur'

```
tend_sqp =  
  
    0.0360  
  
ineg =  
  
    -0.9985    0.0000    0  
  
eg =  
  
    1.2246e-16  
  
Essai 20 : flag entiers = 1
```

FIGURE 5 – contraintes et temps
'point-interieur'

4.2 Optimisation avec des points de départ aléatoires

Var1	Inf	Solution						Sup	CI				
{'a' }	0.01	0.01902	0.01902	0.019021	0.01902	0.01902	0.01902	0.5	0.25992	0.263	0.077825	0.48633	0.4579
{'p' }	1	1	1	1	1	1	1	4	1.3657	1.0072	1.0165	2.2348	2.0834
{'e' }	0.001	0.0020497	0.0020518	0.0020516	0.0020497	0.0020511	0.005	0.001623	0.003224	0.0039541	0.0012049	0.0046442	
{'g' }	0.11	0.11	0.11	0.12576	0.11	0.11	0.22	0.15501	0.17113	0.19919	0.14468	0.1231	
{'n_cs' }	10	10	10	10	10	10	50	37.746	12.949	32.589	22.59	11.393	
{'n_epp' }	1	1	1	1	1	1	5	4.1231	2.5876	1.2227	2.9709	4.618	
{'beta_enc' }	0.1	0.3	0.3	0.29976	0.3	0.3	0.3	0.22727	0.25444	0.16462	0.11113	0.28615	
{'c_rs' }	0.1	0.2001	0.19999	0.2	0.18257	0.17956	0.3	0.21636	0.21451	0.28672	0.119	0.218	
{'l_enc_r' }	0.1	0.3	0.3	0.29997	0.3	0.3	0.3	0.29495	0.18061	0.27055	0.14782	0.11129	
{'beta_enc_r' }	0.1	0.4	0.4	0.39996	0.4	0.4	0.4	0.25889	0.257	0.30603	0.33473	0.36465	
{'Is' }	100	100	100	100	100	100	10000	2954.9	3985.6	1755.7	8701.4	8510.2	
{'f_objectif' }	0	36.418	36.418	36.42	36.418	36.418	0	0	0	0	0	0	0
{'P_joule' }	0	36.418	36.418	36.42	36.418	36.418	0	0	0	0	0	0	0

FIGURE 6 – optimisation de Pj avec un
point départ aléatoire

nous observons alors que le choix du point de départ aléatoire affecte beaucoup le résultat vu que nous avons obtenu pour la même valeur du Pj plusieurs solutions, ce résultat est bien cohérent avec le caractère 'locale' de l'optimisation que propose la fonction fmincon de Matlab.

4.3 Comparaison des algorithmes utilisés

Pour comparer les trois algorithmes, on les compare pour 3 critères; le temps d'exécution, la valeur minimale, le respect des contraintes, on constate alors que l'algorithme 'active-set' est le plus rapide avec un respect de la condition de nullité des contraintes imposées pour les trois algorithmes et la même valeur minimale pour Pj, nous avons constaté que la première contrainte d'inégalité était non nulle et pour résoudre ce problème nous avons normalisé l'équation de la contrainte.

5 Optimisation du volume de la machine V

Var1	Inf	Solution	Sup	CI	Var1	Inf	Solution	Sup	CI
{'a' }	0.01	0.025797	0.5	0.255	{'a' }	0.01	0.038543	0.5	0.255
{'p' }	1	1.0874	4	2.5	{'p' }	1	1	4	2.5
{'e' }	0.001	0.0037157	0.005	0.003	{'e' }	0.001	0.005	0.005	0.003
{'g' }	0.11	0.16531	0.22	0.165	{'g' }	0.11	0.11	0.22	0.165
{'n_cs' }	10	10.438	50	30	{'n_cs' }	10	10	50	30
{'n_epp' }	1	1	5	3	{'n_epp' }	1	1	5	3
{'beta_enc' }	0.1	0.25888	0.3	0.2	{'beta_enc' }	0.1	0.3	0.3	0.2
{'c_rs' }	0.1	0.10851	0.3	0.2	{'c_rs' }	0.1	0.1	0.3	0.2
{'l_enc_r' }	0.1	0.20106	0.3	0.2	{'l_enc_r' }	0.1	0.1	0.3	0.2
{'beta_enc_r' }	0.1	0.24909	0.4	0.25	{'beta_enc_r' }	0.1	0.1	0.4	0.25
{'Is' }	100	105.47	10000	5050	{'Is' }	100	202.64	10000	5050
{'f_objectif' }	0	0.0097357	0	0	{'f_objectif' }	0	0.015959	0	0
{'Volume' }	0	0.0097357	0	0	{'Volume' }	0	0.015959	0	0

FIGURE 7 – optimisation du volume de la machine avec 'point-interieur'

FIGURE 8 – optimisation du volume de la machine avec 'sqp'

```
tend_sqp =
    0.0273

ineg =
    -0.9863    -0.2779     0.0000

eg =
    1.2246e-16

Essai 20 : flag entiers = 2
```

FIGURE 9 – contraintes et temps pour le volume

nous constatons que l'algorithme 'point-interieur' est mieux que l'algorithme 'sqp' en ce qui concerne la valeur minimale du volume avec un temps d'exécution pareil pour les deux algorithmes, l'algorithme 'active-set' rencontre des problèmes dans le calcul de la matrice hessienne, avec un respect de la nullité des contraintes pour les deux algorithmes.

6 Conclusion

la fonction fmincon s'appuie sur l'optimisation locale pour le processus de recherche de l'optimum pour les différents algorithmes proposés, or les algorithmes d'optimisation locale s'affectent par le choix du point de départ, On peut conclure qu'une méthode métaheuristique pour une optimisation multicritère est la meilleure approche pour l'optimisation de la machine asynchrone étudiée pour s'assurer de l'optimum, trouvé.