

# BOOST-II: Simulation Symbolique de Stratégies de Contrôle de Convertisseurs Multi-niveaux

Journée de l'Institut Farman

G. Feld   L. Fribourg   S. Lefebvre   B. Revol   R. Soulat

26 novembre 2013

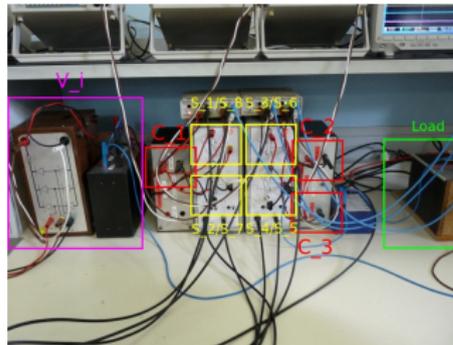
# Le projet BOOST-II

## Collaboration entre deux laboratoires

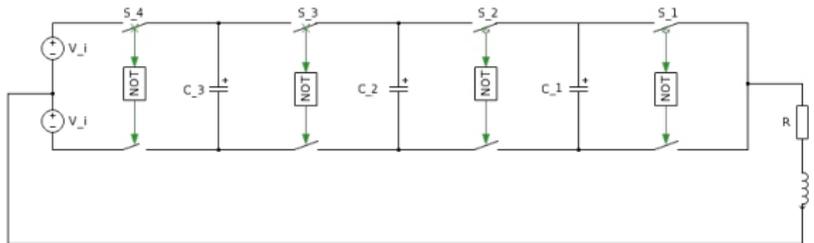
- LSV (Laboratoire Spécification et Vérification)
  - Laurent Fribourg
  - Romain Soulat
- SATIE (Systèmes et Applications des Technologies de l'Information et de l'Énergie)
  - Gilles Feld
  - Denis Labrousse
  - Stéphane Lefebvre
  - Bertrand Revol

# Cadre

- Un système réel développé par le SATIE

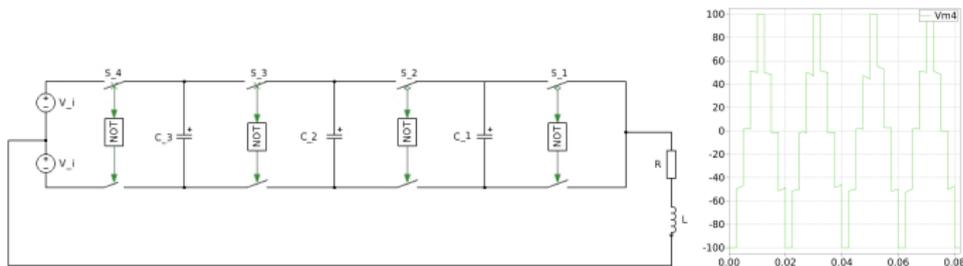


- Son modèle électrique



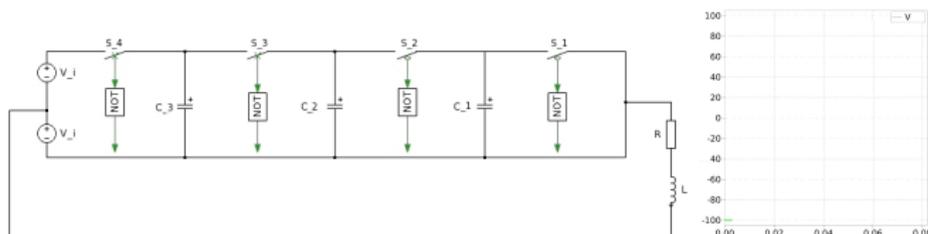
# But

- À partir d'une source de tension constante, synthétiser, en sortie, une tension quasi-sinusoïdale, en jouant sur la position des interrupteurs



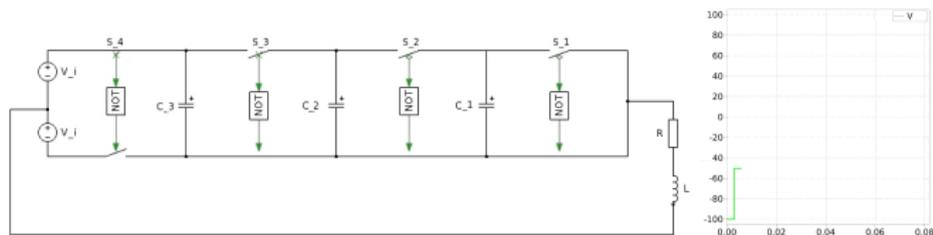
# But

- À partir d'une source de tension constante, synthétiser, en sortie, une tension quasi-sinusoïdale, en jouant sur la position des interrupteurs



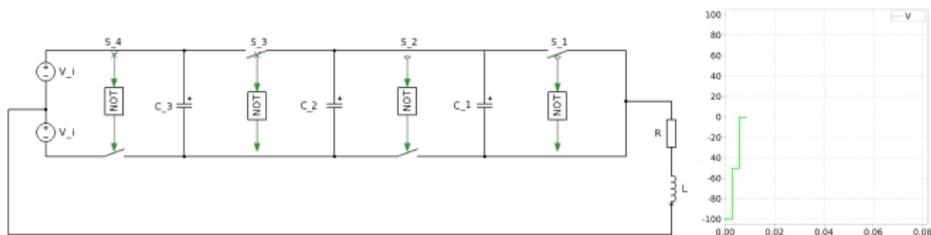
# But

- À partir d'une source de tension constante, synthétiser, en sortie, une tension quasi-sinusoïdale, en jouant sur la position des interrupteurs



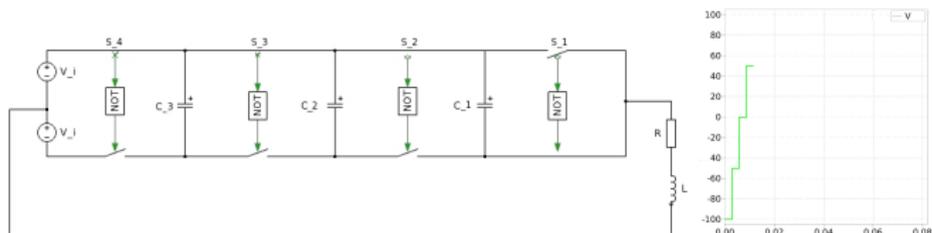
# But

- À partir d'une source de tension constante, synthétiser, en sortie, une tension quasi-sinusoïdale, en jouant sur la position des interrupteurs



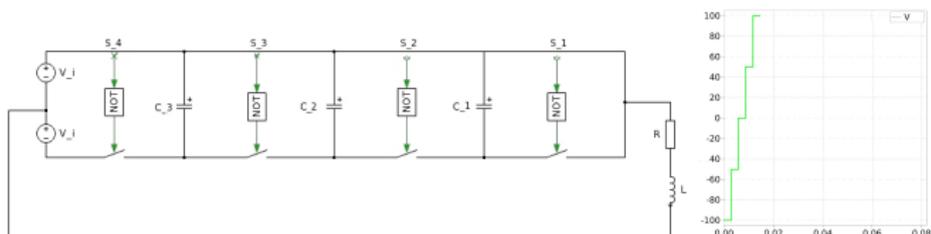
# But

- À partir d'une source de tension constante, synthétiser, en sortie, une tension quasi-sinusoïdale, en jouant sur la position des interrupteurs



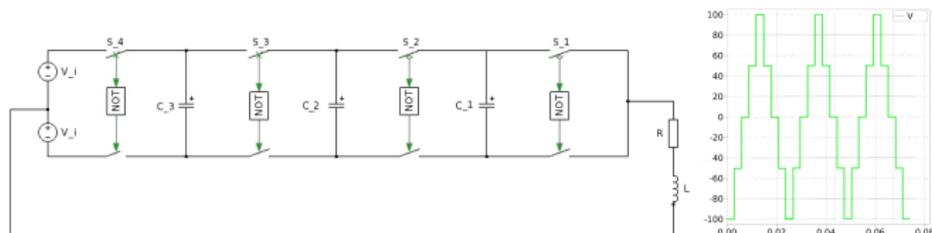
# But

- À partir d'une source de tension constante, synthétiser, en sortie, une tension quasi-sinusoïdale, en jouant sur la position des interrupteurs



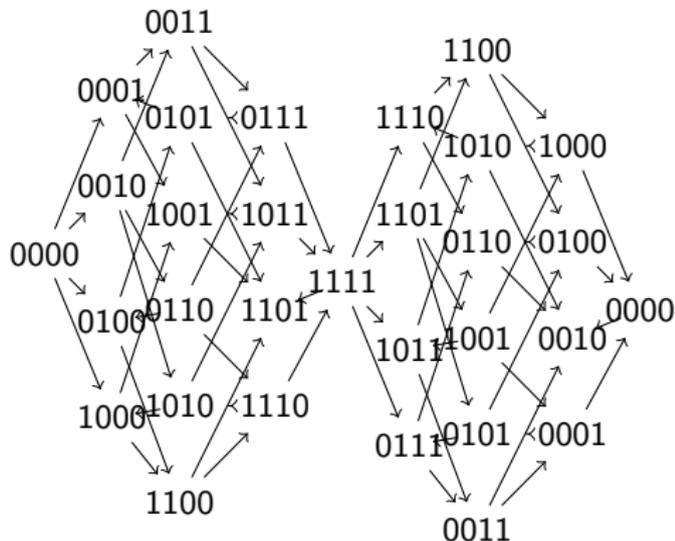
# But

- À partir d'une source de tension constante, synthétiser, en sortie, une tension quasi-sinusoïdale, en jouant sur la position des interrupteurs



# But

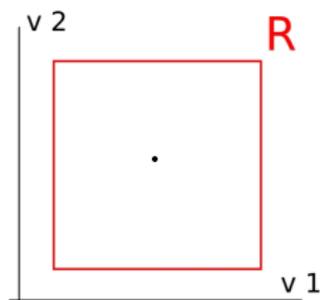
- Calculer une stratégie de contrôle qui :
  - Garantit la sortie quasi-sinusoidale



- Maintient les tensions des condensateurs autour d'une valeur optimale

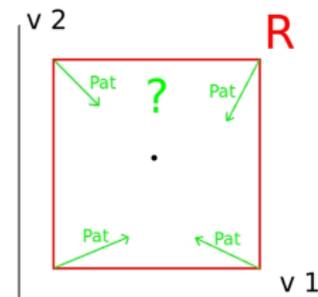
# Méthodologie

- Définition d'une zone  $R$  de bon fonctionnement du système



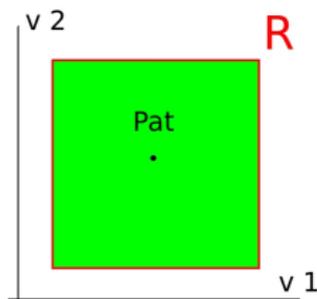
# Méthodologie

- Définition d'une zone  $R$  de bon fonctionnement du système
- Recherche d'un chemin qui assure le retour dans  $R$



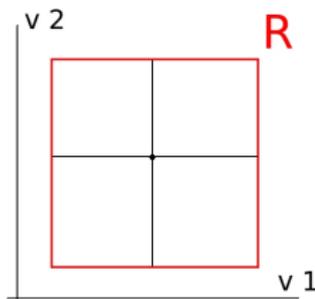
# Méthodologie

- Définition d'une zone  $R$  de bon fonctionnement du système
- Recherche d'un chemin qui assure le retour dans  $R$
- Si il en existe un, la stratégie de contrôle pour cette partie de l'espace est trouvée



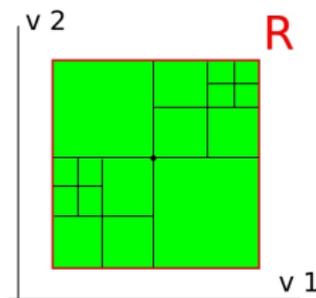
# Méthodologie

- Définition d'une zone  $R$  de bon fonctionnement du système
- Recherche d'un chemin qui assure le retour dans  $R$
- Si il en existe un, la stratégie de contrôle pour cette partie de l'espace est trouvée
- Sinon, on partitionne la zone



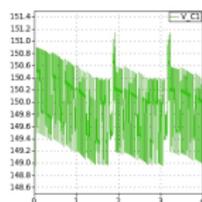
# Méthodologie

- Définition d'une zone  $R$  de bon fonctionnement du système
- Recherche d'un chemin qui assure le retour dans  $R$
- Si il en existe un, la stratégie de contrôle pour cette partie de l'espace est trouvée
- Sinon, on partitionne la zone

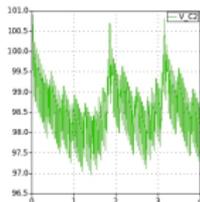


# Application au convertisseur multi-niveaux

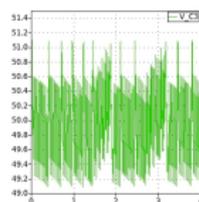
- Simulation de la stratégie de contrôle



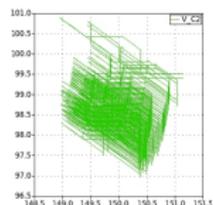
(a) Voltage  
 $v_{C1} = f(t)$



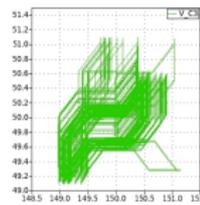
(b) Voltage  
 $v_{C2} = f(t)$



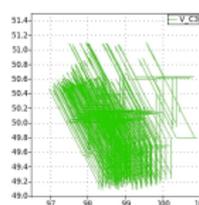
(c) Voltage  
 $v_{C3} = f(t)$



(d) Plane  
 $v_{C2} = f(v_{C1})$



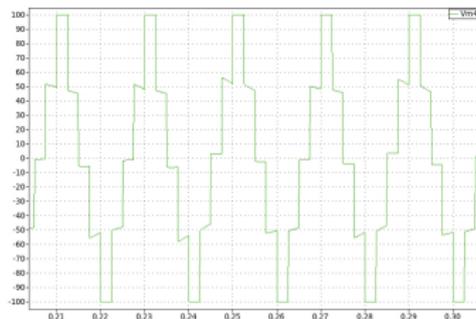
(e) Plane  
 $v_{C3} = f(v_{C1})$



(f) Plane  
 $v_{C3} = f(v_{C2})$

# Application au convertisseur multi-niveaux

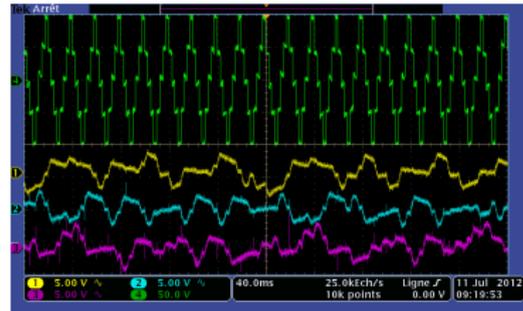
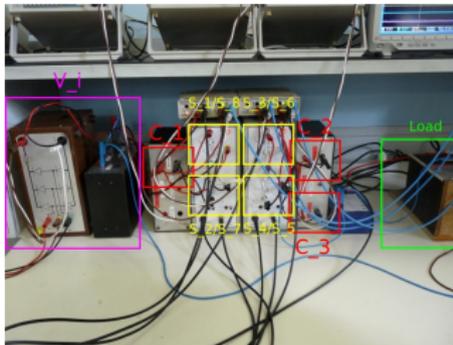
- Simulation de la stratégie de contrôle



(g) Output voltage  $v_o$

# Validation expérimentale

- Montage réalisé par le laboratoire SATIE



# Conclusion et travaux futurs

- Conclusion

- Une méthode pour la synthèse de stratégies de commandes générale
  - Dynamiques linéaires
  - Dynamiques linéaires bruitées
  - Dynamiques non linéaires
- Des résultats expérimentaux concluants
- 4 publications en conférences internationale
  - *Use of a full wave correct-by-design command to control a multilevel modular converter. EPE'13*
  - *Stability Controllers for Sampled Switched Systems. RP'13*
  - *Constructing Attractors of Nonlinear Dynamical Systems by State Space Decomposition. FSFMA'13*
  - *Limit Cycles of Controlled Switched Systems : Existence, Stability, Sensitivity. NCMIP'13*
- 1 livre
  - *Control of Switching Systems by Invariance Analysis : Application to Power Electronics. Wiley ISTE*

# Conclusion et travaux futurs

- Travaux futurs
  - Extension aux systèmes gouvernés par des EDP
  - Extension aux systèmes autonomes