

University of Groningen

## Multi-loop Hysteresis and Recursive Remnant Control

Vasquez Beltran, Marco Augusto

DOI:  
[10.33612/diss.215199709](https://doi.org/10.33612/diss.215199709)

**IMPORTANT NOTE: You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.**

*Document Version*  
Publisher's PDF, also known as Version of record

*Publication date:*  
2022

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

*Citation for published version (APA):*  
Vasquez Beltran, M. A. (2022). *Multi-loop Hysteresis and Recursive Remnant Control*. [Thesis fully internal (DIV), University of Groningen]. University of Groningen. <https://doi.org/10.33612/diss.215199709>

### Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

The publication may also be distributed here under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license. More information can be found on the University of Groningen website: <https://www.rug.nl/library/open-access/self-archiving-pure/taverne-amendment>.

### Take-down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.

---

## Samenvatting

Hysteresis is een niet-lineair fenomeen dat een quasi-statische afhankelijkheid tussen variabelen van een systeem beschrijft. Hoewel aanvankelijk ontdekt werd dat hysteresis de relatie tussen de magnetisatie en het magnetische veld van ijzer beïnvloedt, zijn daarnaast in de afgelopen decennia hysteresisverschijnselen waargenomen in verschillende klassen van systemen. Om deze reden heeft hysteresis de aandacht getrokken van wetenschappers in verschillende onderzoeksvelden en zijn de pogingen om het te beschrijven gericht op zogenaamde fenomenologische modellen. Deze modellen proberen het gedrag te beschrijven, onafhankelijk van de onderliggende fysieke processen.

Een bekend kenmerk van de systemen die hysteresis vertonen, zijn de lussen die optreden in de input-output-fasegrafiek wanneer de input periodiek is. In de literatuur kunnen we de karakterisering van de klasse van hysteresisgedrag bepalen op basis van de oriëntatie van deze lussen, d.w.z. met de klok mee of tegen de klok in. Er zijn echter ook complexe hysteresislussen waargenomen die een combinatie van sublussen met beide oriëntaties vertonen. Deze klasse van complex hysteresisgedrag wordt vlinderhysteresis genoemd en is waargenomen in bijvoorbeeld slimme polymeren, optische systemen en mechanische systemen. Ondanks de uitgebreide literatuur over de analyse van hysteresis, zijn de specifieke kenmerken die de huidige hysteresismodellen in staat zouden stellen om vlinderhysteresislussen te beschrijven, niet goed vastgesteld. In dit proefschrift onderzoeken we twee hysteresismodellen: de Preisach hysteresis-operator en de Duhem-hysteresis-operator. We karakteriseren de condities die nodig zijn voor het verschijnen van vlinderhysteresislussen in de corresponderende input-output faseplot onder toepassing van periodieke inputs.

We bestuderen voorbeelden van systemen die hysteretische elementen bevatten op basis van onze karakterisering. We analyseren bijvoorbeeld het klassieke probleem van een Lur'e-systeem waarvan de niet-lineariteit van de feedback een Preisach-vlinderoperator is, d.w.z. een klasse van Preisach-operators die vlinderlussen kan vertonen in zijn input-output faseplot. Verder, geïnspireerd door een nieuwe klasse van systemen waarvan het werkingsprincipe gebaseerd is op het gebruik van het geheugeneffect van hysteresis om een bepaalde outputconfiguratie vast te houden, introduceren we het zogenaamde restantcontroleprobleem. Een restant verwijst naar de remanentie in de uitgangswaarde van een hysteretisch systeem waarvan de ingangswaarde permanent op nul is gezet na variatie binnen een compact tijdsinterval. Het restantcontroleprobleem origineert uit het idee om het restant naar een referentiewaarde te drijven.

Bij fysieke systemen, zoals piezo-elektrische aandrijvingen, kan het op nul zetten van de

input nadat het restant zijn referentiewaarde heeft bereikt, het stroomverbruik en de energiedissipatie verminderen. We onderzoeken een recursief algoritme dat in staat is om de outputrestant van een Preisach-vlinderhysterese-operator en een klasse Duhem-hysterese-operatoren aan te sturen. Door een bepaalde configuratie aan te kunnen houden zonder de noodzaak van een constante input, is het mogelijk om de controlerende input in de tijd te multiplexen in systemen met meerdere actuatoren die hysteresis vertonen. Op basis van dit attribuut onderzoeken en stellen we ook een besturingsalgoritme voor voor een nieuw complex op hysteresis gebaseerd systeem genaamd de Hysteretic Deformable Mirror (HDM).