



# Modular Energy Management

Cost-effective powertrain design and optimal energy consumption in any vehicles, e.g. electric, fuel-cell, hybrid

## Market Challenges

Electric, fuel-cell and hybrid powertrains with more sustainable fuels are gaining increasing attention in the automotive world from the perspective of reducing CO2 emissions. In state-of-the-art powertrains, multiple energy sources work together to increase the efficiency of the entire powertrain. Therefore, an Energy Management Strategy (EMS) is required to maximize this efficiency within powertrain constraints and emissions regulations.

Powertrain control calibration has traditionally been a cumbersome part of the vehicle development process, especially when it comes to wide product variations and product updates. TNO's unique automatic modularization approach has the potential to significantly reduce this development time and effort and standardize control implementation results.

## Energy Management System

TNO has developed a MODULAR energy management strategy embedded in the TNO MEM Tool, which for any vehicle configuration can generate a real-time EMS algorithm, for example the one from Figure 2. The EMS minimizes vehicles energy consumption by optimizing the power settings of powertrain components within their constraints.

## Modularization

The modular EMS is built from standardized powertrain modules part of the TNO MEM Tool library. Complexity is managed by the Equivalent Cost Minimization Strategy (ECMS) method and decomposing the optimization problem by using convex equations for each module. This allows the EMS to be easily adapted, even if the powertrain topology or component type (maximum power, torque, speed, etc.) is changed.

This MODULARITY feature plays a key role in reducing development time and costs when having multiple configurations or considering new powertrain topologies for various applications.

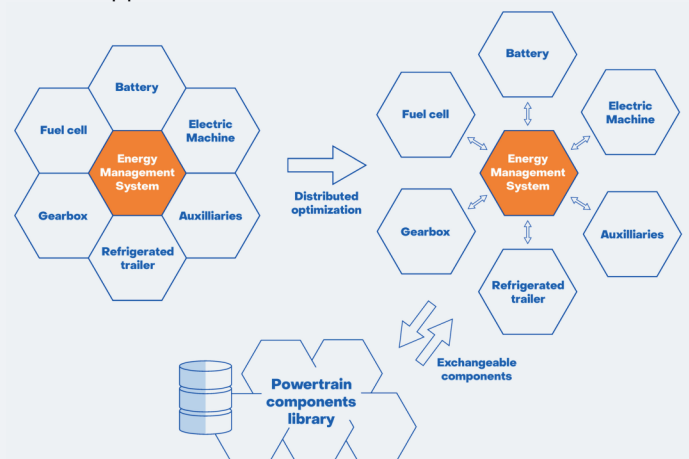


Figure 1: Converting one big optimization problem into smaller optimization problems to allow for complex configurations

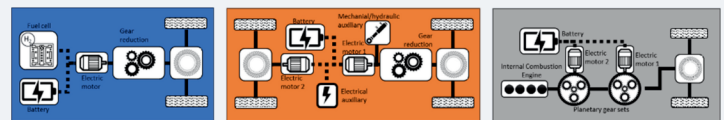


Figure 2: TNO generates energy management software algorithms for various topologies with one click.

## Automatic generation of EMS

The MEM Tool calls the MEM Fit Tool GUI to parameterize the MEM powertrain components available in the MEM Tool library. Each component requires data from industry standard measurement procedures and component specification sheets, so no need for dedicated test programs.

## Why TNO?

TNO is an international leading research & development institute in the field of efficient and sustainable powertrain systems that optimize overall system performance for both the on/off-road and maritime transport industry. At TNO, we combine proven expertise, innovative concepts, efficient development tools and world class test facilities.

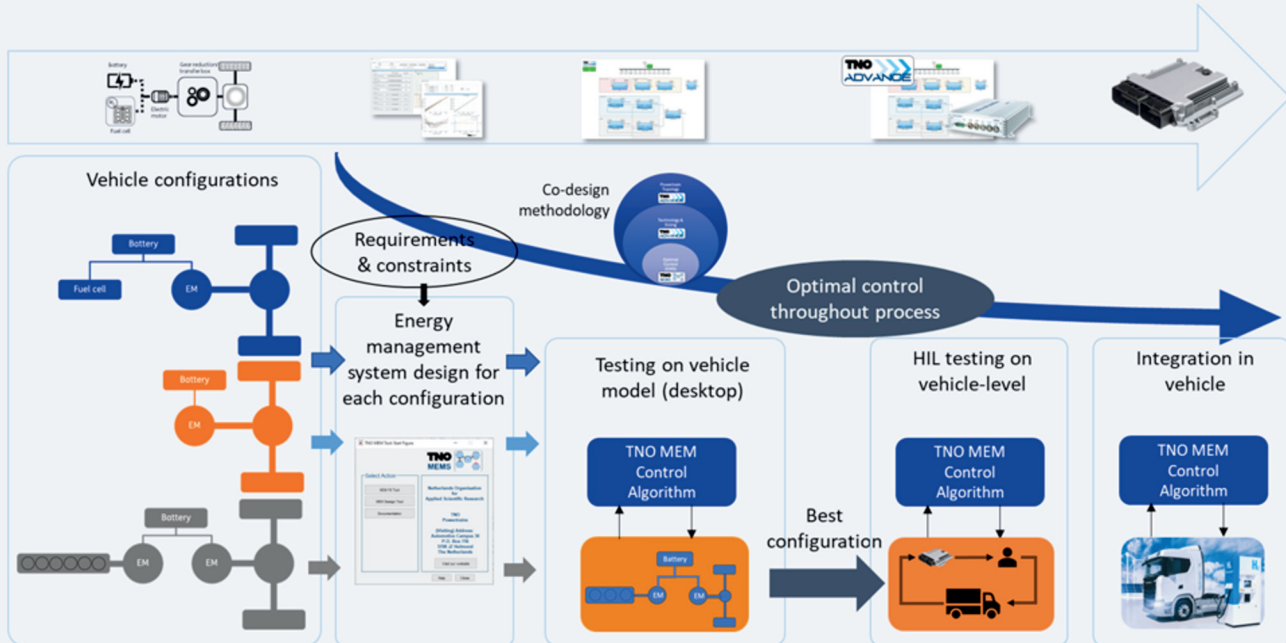


Figure 3: TNO MEM algorithm used throughout the development process.

Using the other GUI of the MEM Tool, e.g. the MEM Design Tool supports the user to automatically generate an EMS algorithm after definition of the powertrain topology and component selection. The output of the MEM Tool is a MATLAB Simulink EMS algorithm, which can directly be embedded in the specified powertrain. This generated EMS requires commonly available signals such as component rotation speed, power demand from drivers, power demand from auxiliaries and battery state of charge. The generated EMS can be calibrated to maximize energy efficiency for customer-specific driving missions.

## Benefits

The main benefits of TNO's MEMS are: - The MEM control algorithm optimizes energy consumption and is unique due to its modular framework, featuring MATLAB tools to automatically generate an EMS. - The MEM EMS algorithm is an open adaptable architecture, making it an excellent foundation for in-house adoption. - The MEM Tool is MATLAB Simulink based and compatible with recent versions (e.g. R2021B and above). - Modularization of the MEM Tool reduces development time and costs for controlling complex sustainable powertrains. - Leverage the modularity of the MEM Tool and EMS algorithm to add customer-specific subsystems – The MEM algorithm enable quick and unbiased comparisons of different sustainable powertrain configurations. In conjunction with TNO's ADVANCE modular simulation environment, fast and efficient system performance evaluations can be conducted.

## TNO ADVANCE with Powertrain Suite library

Verification and validation of the generated EMS algorithms can be done using customers plant models or with TNO's modular simulation environment called TNO ADVANCE with the Powertrain suite library containing components like engine, electric machine, fuel-cell, battery, etc.

It allows the customer to quickly set-up a plant model in MATLAB/Simulink, run various simulation scenario's and perform data analytics to evaluate the system/control performance.

## Track record

The modular EMS has been created from scratch since 2014 and is being further developed in the European H2020 project. It has been used in applications such as multimodal hybrid buses, distributed hybrid trucks, fuel cell vehicles, construction machinery, and EMS has been tested on a virtual truck simulation platform.

Over time, the TNO MEM Tool has evolved and several non-road and heavy-duty customers adopted it into their development process and/or embedded the MEM algorithm into their control platform.

## TNO proposal

Please contact us for additional information, and start the dialogue about the TNO MEM Tool adoption into your organization.

### Unit Mobility & Built Environment

Sr. Business Developer

Jan-Willem Sangers

[jan-willem.sangers@tno.nl](mailto:jan-willem.sangers@tno.nl)

+31 (0)6 4696 6129





# Modular Energy Management

Cost-effective powertrain design and optimal energy consumption in any vehicles, e.g. electric, fuel-cell, hybrid

## 市場の課題

自動車業界では、CO2排出量削減の観点から、より持続可能な燃料を用いた電気自動車、燃料電池車、ハイブリッド車のパワートレインが注目を集めています。最先端のパワートレインでは、複数のエネルギー源が連携してパワートレイン全体の効率を高めます。そのため、パワートレインの制約や排出ガス規制の中でこの効率を最大化するためのエネルギー管理戦略（EMS）が求められています。パワートレイン制御の適合は、特に製品バリエーションや製品アップデートの幅が広い場合、従来は車両開発プロセスの中で煩雑な作業となっていました。TNO独自の自動モジュール化アプローチは、この開発時間と労力を大幅に削減し、制御実装結果を標準化する可能性を秘めています。

## エネルギー管理システム

TNOは、TNO MEMツールに組み込まれたモジュールエネルギー管理戦略を開発しました。このツールは、どのような車両構成に対しても、例えば図2のようなリアルタイム最適化アルゴリズムを生成することができます。エネルギー管理システムは、パワートレイン・コンポーネントの出力設定を制約の範囲内で最適化することにより、車両のエネルギー消費を最小化します。

## モジュール化

モジュール化されたEMSは、TNO MEM Toolライブラリに含まれる標準化されたパワートレイン・モジュールから構築されます。複雑さは、等価コスト最小化戦略（ECMS）法と、各モジュールのコンベックス方程式を使用した最適化問題の分解によって管理されます。これにより、パワートレインのトポロジーやコンポーネントのタイプ（最大出力、トルク、速度など）が変更された場合でも、EMSを容易に適合させることができます。

このおジュール化機能は、複数のコンフィギュレーションを持つ場合や、様々なアプリケーション向けに新しいパワートレイントポロジーを検討する場合に、開発時間とコストを削減する上で重要な役割を果たします。

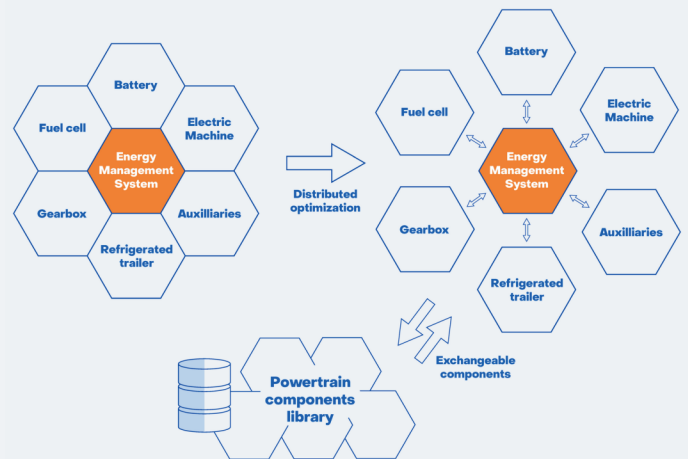


図1: 1つの大きな最適化問題を小さな最適化問題に変換し、複雑な構成を可能にする

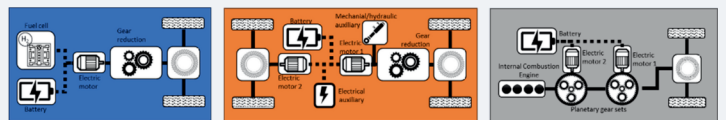


図2: TNOはワンクリックで様々なトポロジーのエネルギー管理ソフトウェア・アルゴリズムを生成する。

## EMSの自動生成

MEMツールは、MEMフィットツールGUIを呼び出して、MEMツールライブラリで利用可能なMEMパワートレイン部品をパラメータ化します。各コンポーネントは、業界標準の測定手順とコンポーネント仕様書のデータを必要とするため、専用のテストプログラムは必要ありません。

## なぜTNOなのか？

TNOは、効率的で持続可能なパワートレイン・システムの分野で国際的な研究開発機関であり、陸上輸送（オンロード／オフロード）と海上輸送の両方で、システム全体の性能を最適化します。TNOでは、実績のある専門知識、革新的なコンセプト、効率的な開発ツール、世界クラスの試験施設を兼ね備えています。

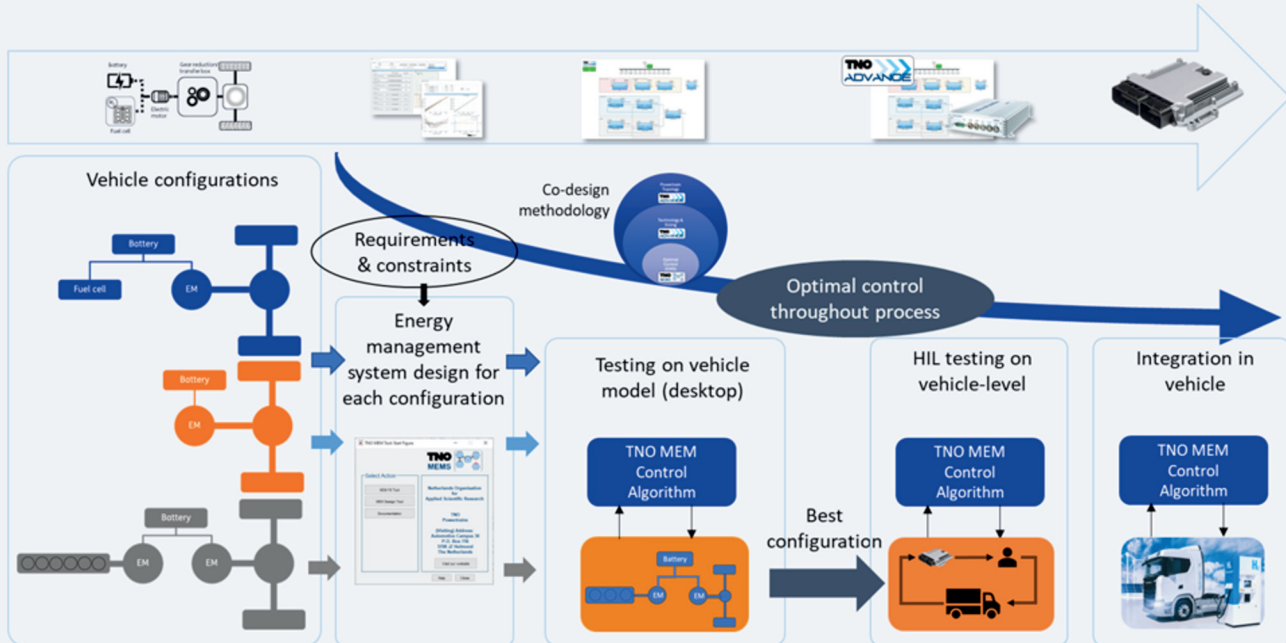


図3: 開発プロセスを通じて使用されたTNO MEMアルゴリズム。

MEMツールの他のGUI、例えばMEM設計ツールを使用すると、パワートレインコンポーネントの定義とコンポーネントの選択後にEMSアルゴリズムを自動生成することができます。MEMツールの出力はMATLAB SimulinkのEMSアルゴリズムで、指定したパワートレインに直接組み込むことができます。

この生成されたEMSは、コンポーネントの回転速度、ドライバからの電力需要、補機からの電力需要、バッテリーの充電状態など、一般的に利用可能な信号を必要とします。

生成されたEMSは、顧客固有の運転ミッションに対してエネルギー効率を最大化するように校正することができます。

## TNOのMEMSの主な利点は以下の通りです

- MEM制御アルゴリズムは、エネルギー消費を最適化し、EMSを自動的に生成するMATLABツールを備えたモジュラーフレームワークによりユニークなものとなっている。
- MEM EMSアルゴリズムは、適応可能なオープン・アーキテクチャであるため、社内採用するための優れた基盤となっています。
- MEMツールはMATLAB Simulinkベースで、最近のバージョン（R2021B以上など）と互換性があります。
- MEMツールのモジュール化により、複雑なサステナブル・パワートレインを制御するための開発時間とコストが削減されます。
- MEMツールとEMSアルゴリズムのモジュール化を活用し、顧客固有のサブシステムを追加
- MEMアルゴリズムにより、さまざまなサステナブル・パワートレイン・コンフィギュレーションの迅速で偏りのない比較が可能になります。TNOのADVANCEモジュール式シミュレーション環境と組み合わせることで、迅速かつ効率的なシステム性能評価を実施できます。

## TNO ADVANCEwith パワートレイン・ライブラリ

生成されたEMSアルゴリズムの検証と妥当性確認は、お客様のプラントモデルを使用するか、エンジン、電気機械、燃料電池、バッテリーなどのコンポーネントを含むパワートレイン・ライブラリを備えたTNO ADVANCEと呼ばれるTNOのモジュール式シミュレーション環境を使用して行うことができます。

これにより、お客様はMATLAB/Simulinkでプラントモデルを素早くセットアップし、様々なシミュレーションシナリオを実行し、システム/制御性能を評価するためのデータ解析を実行することができます。

## 実績

モジュール式EMSは2014年からゼロから作成され、欧州H2020プロジェクトでさらに開発が進められています。マルチモーダルハイブリッドバス、分散型ハイブリッドトラック、燃料電池車、建設機械などのアプリケーションで使用されており、EMSは仮想トラックシミュレーションプラットフォームでテストされています。

時間の経過とともに、TNO MEMツールは進化し、いくつかのノンロードおよびヘビーデューティの顧客が開発プロセスに採用したり、制御プラットフォームにMEMアルゴリズムを組み込んだりしています。

## TNOの提案

TNO MEMツールの組織への導入について、さらに詳しい情報やご相談については、当社までお問い合わせください。

Unit Mobility & Built Environment

Sr. Business Developer

Jan-Willem Sangers

[jan-willem.sangers@tno.nl](mailto:jan-willem.sangers@tno.nl)

+31 (0)6 4696 6129