



无链条 自行车

适用于自行车的串联式混合动力驱动

迄今为止，几乎所有踏板电动自行车都混合动力驱动，以及踏板和驱动轮之间的机械连接。串联式混合动力驱动消除了这种需要大量维护的动力耦合，但会让骑行者在骑车时感觉非常不自然。IAI GmbH 生产的串联式混合动力 EE-SpeedBike 克服了这项不足。正是凭借使用 dSPACE 工具制定的智能控制策略，才能提供高度可靠的骑车体验。



德 国和欧洲的踏板电动自行车市场正在蓬勃发展，年增长率接近 10%。如今的中间价位踏板电动自行车不仅具有链传动或皮带传动。它们还在踏板附近配备中间驱动电机或者后轮毂电机。这些传动概念通常称为并联式混合动力驱动。

串联式混合动力驱动

40 多年来，工程师们一直致力于自行车的串联式混合动力驱动研究。最初的想法可追溯到 Augustus Kinzel，这位美国人于 1975 年获得此概念的首项专利。当时，此概念假设踏板直接连接到发电机。骑行者的踏板能量生成电能，经过电缆流到前轮电机。此设计没有踏板和后轮之间的传统机械耦合。之后数年推出了许多款采用串联式混合动力驱动的各种自行车型号，但是出于各种原因，如骑车期间的不自然感觉和踏板缺少反扭矩等，它们均未达到市场成熟度。

通往未来之路

Institut für Automatisierung und Informatik GmbH (自动化和计算机科学研究所, IAI) 有关串联式混合动力驱动的前几项研究的最初动力来自与自行车制造商的讨论。在这次讨论期间，并联式混合动力传动踏板电动自行车的磨损和维护，特别是链条和变速器方面，被视为不利的故障。这些研究主要包含分析各种传统自行车的性能。开发目标是设计串联式混合动力驱动自行车作为评估型号，至少提供与采用并联式混合动力驱动的踏板电动自行车相同的性能，并且保持与传统自行车相同的踏板感觉。作为工业研究协会联合会 (AiF) 提供

资金支持的一个项目的一部分，同步驱动通过使用相应的测量和控制技术以及电力电子技术，基于基本行驶性能开发，并且首次在一辆改装过的商业自行车上进行测试。电机和发电机需要的扭矩与市场上提供的辅助驱动存在很大不同。在串联式混合动力驱动中，驱动电机必须能够转换自行车需要的所有行驶功率。相比而言，发电机必须能够根据链驱动生成足够的反扭矩，以便向骑行者提供适合特定骑行的触觉反馈。第一代驱动没有完全满足这些要求，因为所需扭矩和小尺寸之间的目标冲突只能用优化变速箱来解决。然而，此第一款型号的应用却证明了可以通过软件仿真特定控制算法来模拟链驱动。

X-PESA 概念

在功能证明之后，通过集成行星齿轮减小了传动系统尺寸，增加扭矩，而且概念安装在自定义框架中。后续功能型号 X-PESA 设计为 25 km/h 踏板电动自行车，测量表明最高可达到当前市场上提供的并联式混合动力驱动踏板电动自行车的性能。但是，在早期开发阶段，发电机显然太大、太重，无法使用单级行星齿轮实现所需扭矩。

新一代

Saxony-Anhalt 州作为州计划 ELISA (电力移动性和轻型工程) 一部分的资金支持使得驱动再造工程得以恢复。发电机现在配备有两级行星齿轮，以总重量 2.9 kg 提供最大扭矩 180 Nm，因此重量为 100 kg 的骑行者将感觉到反扭矩足够，甚至在更加激进的骑车中也有此感觉。驱动电机使用后链轮的安裝空间，可达到 120 Nm 的峰值扭矩并且可临时生成

>>

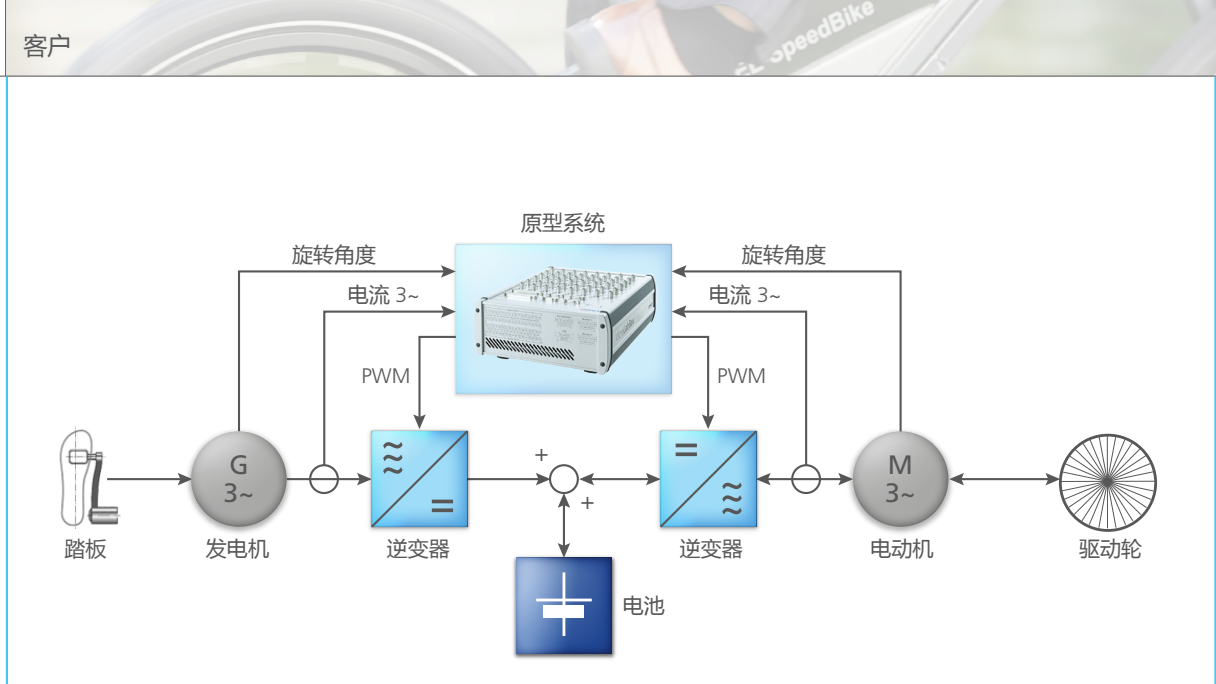


图 1：使用 dSPACE MicroLabBox 作为原型系统的串联式混合动力驱动的功率流。

2 kW 的电力。凭借此性能，电机设计为可用于高达 45 km/h 的 S-Pedelec 类别，而且在限速 25 km/h 下可供所有类型的自行车（城市自行车、山地自行车、货物自行车、人力车等）使用。电机和发电机完全无需维护。尽管采用双能量转换，但此传动系统的效率和成本原则上可与并联式混合动力驱动比拟，因为消除了踏板和后轮之间的机械耦合以及机械电路。在功能方面，串联式混合动力传动在全球都是独家。

通过智能手机方便控制

驱动系统的核心是具备如下功能的 16 位微控制器：实时控制电机和发电机，执行监控任务，以及使用控制显示屏和通过蓝牙连接的智能手机处理通信。智能手机使用专门开发的应用程序显示所有骑车参数，如速度、电池电量和性能。此外，智能手机还设置各种工作模式。在手动切换模式中，控制显示屏操作虚拟 20 速齿轮，表示传统变速器。作为替代选项，串联式混合动力驱动具有连续自

动变速器，让骑行者可通过控制显示屏设置所需步率。电池支持的变量设置允许调整骑行者的电动“顺风”。凭借媒介支持，电池组可向 EE-SpeedBike 提供 80 km 范围，这还可延长到任何距离。如果骑行者在旅程期间生成的踏板电力比传动系统需要的多，额外电力将给电池充电。在 45 km/h 速度，电池组提供更大的传动电力时，范围仍为 45 km。作为通过电源插槽重新装载电池的替代方案，练习自行车模式允许在静止不动时给自行车的 850 Wh 电池充电。后轮制动期间，电机将以连续可控制回收模式工作，并且将动能转换回电能，这将在机械制动啮合之前和期间回馈电给电池。

图 2：通过蓝牙连接的智能手机的用户界面。



初始调试

驱动组件的调试和评估借助 DS1103 PPC 控制器板完成。原型系统的性能甚至允许对基于 MATLAB®/Simulink® 开发的 CPU 密集型控制算法进行实时测试。但最初未考虑运行时优化。DS1103 广泛的外围设备功能促使可在电机或发电机测试台架上执行全面的试运行。

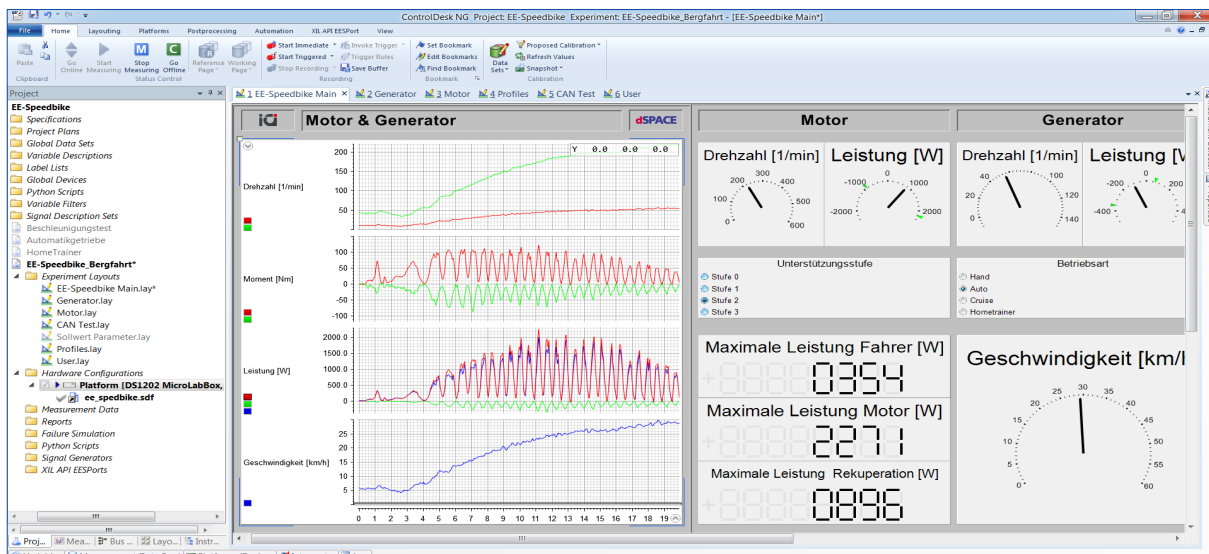


图 3：测试台架上仿真山地骑行期间电机和发电机的扭矩、转速和不同等级的功率。

“dSPACE MicroLabBox 的全面 I/O 功能向我们提供了在测试台架上测试新驱动概念的最大灵活性。”

Steffen Braune, Institut für Automatisierung und Informatik GmbH (IAI)

从 DS1103 到 MicroLabBox

最近, IAI 开始在测试台架上使用 MicroLabBox。凭借比 DS1103 更高的计算能力和扩展的外围设备,特别是多通道 PWM 信号生成, MicroLabBox 促使可在测试台上同时测试电机和发电机。这让研究人员可更好地了解两个驱动如何交互,因此可继续改善与发电机和电机扭矩生成相关的骑车感觉。RTI USB Flight Recorder Blockset 让 IAI 可采用高采样率记录较长时间的所有相关过程数据,并且使得执行分析更加轻松。ControlDesk 5.5 的扩展功能包括新变量浏览器以及将各个绘图机保存为新测量值的能力,可实现测试系列的快速高效实施和评估。

结论和展望

EE-SpeedBike 及其上一代型号 X-PESA 一起进行了数千公里的道路和测试台架测试,没有发现任何的明显问题。2015 年 12 月,此传动概念获得 Saxony-Anhalt 州 Hugo Junkers Award for Research and Development

的“应用研究最具创新性项目”类别第三名。下一个开发步骤是产业化当前型号,以便通过生产技术制造大量自行车。■

Steffen Braune 和 Knut Hahne, Institut für Automatisierung und Informatik GmbH (IAI)

Steffen Braune

Steffen Braune 是德国 Wernigerode Institut für Automatisierung und Informatik GmbH (IAI) 的机械电子项目主管



Knut Hahne

Knut Hahne 是德国 Wernigerode Institut für Automatisierung und Informatik GmbH (IAI) 的应用工程师

