

ANC-Systeme als Serienanwendung

Organisatorische und technische Lösungen im Tuningprozess

Andreas Schilp¹, Ludwig Uhlmann²

¹ AZL – Technology Center GmbH, 85101 Lenting, E-Mail: Schilp@akustikzentrum.de

² AZL – Technology Center GmbH, 85101 Lenting, E-Mail: Uhlmann@akustikzentrum.de

Einleitung

Der Serieneinsatz von ANC-Systemen findet zunehmend Verbreitung in der Automobilindustrie. Dies gilt insbesondere für Fahrzeugentwicklungen mit Zylinderabschaltung und Hybridtechnik.

Basis des nachfolgend beschriebenen Tuningprozesses ist ein Feedforward-Least Mean Square-Algorithmus zur Auslöschung einzelner Motorordnungen. Dieser wurde hinsichtlich der Stabilitätsrandbedingungen, -anforderungen und optimalen Regelparameter in der bekannten Literatur bereits umfassend beschrieben und wird daher an dieser Stelle nicht mehr näher ausgeführt. [1]

Die eigentliche Herausforderung im Tuning und damit in der finalen Abstimmung des Systems für den Serieneinsatz besteht darin, in kurzer Zeit optimale Parametersets für eine Vielzahl von Ausstattungs- und gegebenenfalls Triebstrangvarianten zu finden. Dies wird weniger durch technologische Grenzen als durch organisatorische Herausforderungen begrenzt, wie z.B. die eingeschränkte zeitliche Verfügbarkeit von erprobungswürdigen Prototypen in geeigneten Ausstattungsvarianten. Daher sind auch ein umfangreiches Zeit- und Ressourcenmanagement sowie eine lückenlose, durchgängige und abgestimmte Dokumentation Voraussetzung für den Erfolg.

Der wesentliche Tuningprozess lässt sich aus folgenden aufeinanderfolgenden Arbeitsschritten zusammensetzen: Messung von Sekundärstrecken, Ableitung von Stabilitätsparametern, Erstausslegung des Systems auf einem Akustik-Rollenprüfstand, Tuningverfeinerung und Absicherung auf dem Testgelände und Straße, Grenzwertfestlegungen der Ausspielpegel und Festlegung von End-of-Line-Parametern für die Überprüfung in der Serienfertigung.

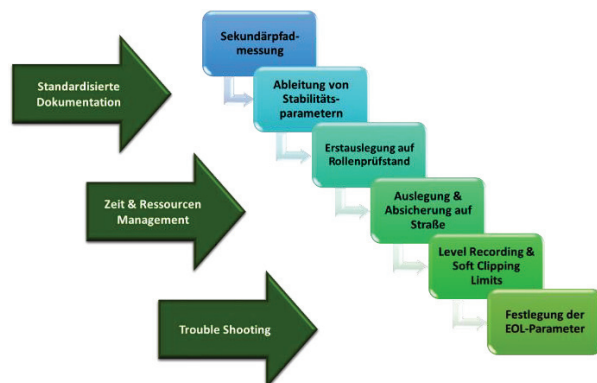


Abbildung 1: Der zugrunde liegende ANC-Tuningprozess in einer schematischen Darstellung.

Sekundärpfadmessungen

Aus Effizienzgründen und unter logistischen Aspekten kann nicht für jedes produzierte Fahrzeug ein individuelles Tuning erstellt werden. Deshalb werden für bestimmte Motorisierungsvariante in Kombination mit der jeweiligen Karosserieform allgemeingültige Tuningdatensätze abgestimmt. Der jeweilige Tuningdatensatz muss im Gegenzug alle zu erwartenden Streuungen über die in dieser Motor-/Aufbauvariante enthaltenen Ausstattungsvarianten abfangen – bei möglichst gleicher Stabilität und Performance.

Pro Variante entsteht darüber hinaus durch verschiedene denkbare „Use Cases“ eine weitere Varianz in den Sekundärstrecken. Denkbar sind hier die Berücksichtigung der Personenanzahl im Fahrzeuginnenraum, verschiedene Fensteröffnungsgrade, Kofferaumbeladungen, mögliche Sitzverstellungen et. al. Aus der Kombinatorik der verfügbaren Ausstattungsvarianten und „Use Cases“ entsteht eine Variantenanzahl für die Sekundärstrecken in der Dimension 10^6 bis 10^7 . Dies ist versuchstechnisch, zeitlich sowie organisatorisch nicht handhabbar.

Auf Basis der genannten Varianz sind bereits in einer frühen Phase des Tuningprozesses ausgewählte Sekundärstreckenvarianten festzulegen, in denen alle verfügbaren Fahrzeuge gemessen werden. Typischerweise hat sich ein Set von bis zu ca. 40 Varianten pro Fahrzeug als ausreichend erwiesen.

Mit der Bestimmung der Sekundärpfade über diese festgelegten Varianten hinweg wird ein wesentlicher Grundstein für die Stabilität und Performance des ANC-Systems gelegt. Die Messung der Sekundärpfade sollte daher unter reproduzierbaren Randbedingungen in einem gesamtfahrzeugfähigen Freifeldraum und unter Zuhilfenahme standardisierter Hilfsmittel stattfinden.

Ableitung von Stabilitätsparametern

Aus den gemessenen Sekundärstrecken müssen im nächsten Schritt des Tuningprozesses die Stabilitätsparameter abgeleitet werden.

Ein Teil der Varianz über den Temperatureinfluss auf den akustischen Teil der Sekundärstrecken lässt sich in diesem Schritt mittels Modellbildung bereits in der Software abfangen und muss daher nicht eigens gemessen werden. Die passende Wahl der dafür vorgesehenen Hilfsgröße ist allerdings in der Ableitung der Stabilität zu berücksichtigen.

Ein weiterer Einflussfaktor für die Varianz der Sekundärstrecken, der in die Auswahl der Stabilitäts- und Performanceparameter eingeht, ist die zulässige Anzahl von

Mikrofonen, die im Betrieb ganz oder teilweise ausfallen können, ohne zu einem Abschalten des Systems zu führen. Dies muss auf die jeweiligen Tuningziele und Kundenvorgaben abgestimmt sein. Es hat sich gezeigt, dass zumindest die Abschaltung eines Mikrofons berücksichtigt werden sollte.

Im Entwicklungsprozess entsteht darüber hinaus die Herausforderung, dass einzelne Ausstattungsvarianten gar nicht oder erst mit großem Zeitversatz verfügbar sind. Das Tuning ist damit unter gewissen Unsicherheiten an einer begrenzt verfügbaren Zahl von Fahrzeugen und Ausstattungen zu erstellen. Was wiederum in der Ableitung der Stabilität aus den Sekundärstrecken berücksichtigt werden muss.

Erstauslegung Tuning auf Rollenprüfstand

Durch erweiterte Regelungsmöglichkeiten an aktuellen Rollenprüfständen (siehe qControl Akustikzentrum GmbH) ist heute eine direkte Interaktion der Prüfstandssteuerung mit Fahrzeugbussignalen und externen Sensordaten möglich. Dadurch können sehr genau reproduzierbare Teillasten, Lastschnitte und Drehmomentrampen gemessen werden, die in kürzester Zeit eine Erstauslegung der offenen Tuningparameter unter reproduzierbaren Prüfstandsbedingungen möglich machen.

Ziel der genannten Erstauslegung ist dabei, die wesentlichen Ordnungsinhalte und Charakteristika des Schallfeldes im Fahrzeuginnenraum bei den verschiedenen – für das Tuning relevanten – Betriebsarten (z.B. Vollmotor-Halbmotorbetrieb, Vollast-Teillast, Zug-Schub) zu analysieren. Auf dieser Basis erfolgt wiederum eine primäre Festlegung der auszulöschenden Ordnungen, deren Drehzahlgrenzen und der zugehörigen Konvergenzgrößen.

Durch die Wahl der Konvergenz lässt sich in Grenzen abstimmen welche Regelungsgeschwindigkeit, Breite der Regelung im Frequenzbereich und maximal erreichbare Abschwächung in einem Ordnungsband zu erreichen sind.

Einzelne Ordnungen lassen sich wiederum in unterschiedliche Drehzahlbereiche mit verschiedenen Konvergenzen aufteilen. Dies ist vor allem in der Unterscheidung zwischen Motorhochlauf und Leerlauf von großer Relevanz für das System.

Bei Verwendung geeigneter Rollenprüfstände mit entsprechender Regelungsmöglichkeit kann bereits ein wesentlicher Anteil des Tunings auf dem Prüfstand während der Erstauslegung erfolgen.

Auslegung und Absicherung auf Straße

Aus Gründen der Fahrzeug-Systemarchitektur stehen für den Algorithmus – der in den verschiedenen Audiosystemvarianten zu integrieren ist – in der vorliegenden Form ausschließlich das Drehzahlsignal und Fenster- sowie Dachöffnungsgrade als Eingangsdaten zur Verfügung. Weitere denkbare Parametrisierungen wie die Möglichkeit

zur Online-Überprüfung der Sekundärstrecken, Last-, Gangstufen-, Fahrmodusinformationen, etc. sind in der verwendeten Software aktuell nicht vorgesehen. Die Abstimmung der Fenster- und Dachöffnungsgrade muss unter realen Fahrbedingungen erfolgen (Windeinfluss) und kann daher nicht auf dem Rollenprüfstand stattfinden.

Darüber hinaus muss auch die Konvergenz, welche einen maßgeblichen Einfluss auf die Stabilität des Systems hat, einem weiteren Feintuning auf der Straße unterzogen werden. Es gilt dabei die Konvergenzen so klein wie möglich und so groß wie nötig zu wählen. Hierzu sind zumeist einige Iterationsschleifen nötig, welche im Normalfall nur realitätsnah und sicher unter den Bedingungen auf einem Prüfgelände erfahren werden können.

Je nach Flexibilität des ANC-Systems ist es in diesem Arbeitsschritt ebenfalls sinnvoll, mögliche Gewichtungsunterschiede in der Regelung zwischen einzelnen Sitzplätzen festzulegen. Neben den messbaren Abschwächungen einzelner Motorordnungen steht dabei der subjektive Eindruck des Fahrzeuginnengeräusches im Vordergrund und bedarf intensiver Abstimmung mit der Kundenerwartung (z.B. dem OEM).

Die anschließende Absicherung des so ermittelten Feintunings auf verschiedenen Straßenbelägen und im realen Fahrbetrieb inklusive detaillierter Betrachtung von Lastwechseln ist ebenso nur in der Straßenerprobung sinnvoll möglich. Idealerweise steht auch hierfür ein Prüfgelände mit Zugang zu verschiedensten Straßenprofilen zur Verfügung.

Die Provokation des Systems in unterschiedlichsten Last- und Lastwechselzyklen sowie das Abprüfen der Stabilität gegenüber weiteren tonalen Komponenten im realen Straßenbetrieb sowie gegen Windgeräusch ist der wesentliche Fokus dieses Arbeitsschrittes. Selbstverständlich sollten ebenfalls die kritischsten Varianten der Sekundärstreckenmessungen (siehe oben) bei der Straßenabsicherung mit berücksichtigt werden.

Level Recording und Soft Clipping Limits

Nach erfolgreicher Auslegung und Absicherung einer Tuningvariante in den beiden vorhergehenden Prozessschritten erfolgt eine Abnahme des Tunings mit den verantwortlichen Vertretern des Kunden. Hierbei kann es im Anschluss zu einer nochmaligen Iterationsschleife kommen um spezifischen Kundenwünschen Rechnung zu tragen.

Ist das Tuning final abgenommen wird mit allen zur Verfügung stehenden Fahrzeugen ein fest definierter Regelbetrieb auf ausgewählten öffentlichen Straßen und Streckenabschnitten im Prüfgelände durchfahren. Dieser beinhaltet unter anderem alle Gänge im gesamten Drehzahlband, Steigungen und definierte Lastfälle, sowie typische „Use Cases“. Während diesem Betrieb werden alle Ausspiel-Level der Lautsprecher aufgezeichnet. Es ist hierbei unbedingt darauf zu achten, keine Störkomponenten, welche das System unbeabsichtigt anregen, mit aufzunehmen. Die jeweiligen Verantwortlichen müssen dazu wiederholt die aufgezeichneten Daten zwischenprüfen und parallel eine

subjektive Beurteilung durchführen, um Fehler auszuschließen. Dies setzt sowohl ein tiefes akustisches Verständnis im Gesamtfahrzeug als auch einen geübten Umgang mit dem ANC-System voraus.

Aus den so ermittelten „Level Recording“ kann anschließend das „Soft Clipping Limit“, d.h. der maximale Pegel des Zuspielens der einzelnen Lautsprecher, in den verschiedenen Ordnungen abgeleitet werden. Wie die Limits auf Basis der gemessenen Kurven genau gesetzt werden, hängt stark von den entsprechenden Anforderungen des Serientunings ab. Allgemein kann gesagt werden, dass die Grenzkurve zumeist ca. 3-6 dB oberhalb der gemessenen Kurvenschar angelegt wird.

Festlegung End-of-Line-Parameter

Wie aus den vorangegangenen Prozessschritten ersichtlich, hat die Varianz der Sekundärstrecken maßgeblichen Einfluss auf die Stabilität und Performance des ANC Systems. Unter diesem Gesichtspunkt wäre es wünschenswert, für jedes Fahrzeug am Bandende eine Sekundärstreckenmessung durchzuführen. Dies ist allerdings aus logistischen Gründen (z.B. Taktzeit) und Gründen der Softwareintegration (z.B. vorgesehene Möglichkeit zur Online-Überwachung und zum Online-Update von Sekundärstrecken) in einigen Anwendungsfällen nicht möglich.

In jedem Fall sollten aber am Bandende Verbaufehler wie defekte, verpolt angeschlossene oder fehlverbaute Lautsprecher und Mikrofone detektiert werden. Dies muss in einem eng begrenzten Zeitfenster und meist in nicht optimaler akustischer Umgebung stattfinden. Ziel der Festlegung der End-of-Line-Parameter ist, für diese Überprüfung sinnvolle Grenzen und Toleranzbereiche z.B. an einzelnen gemessenen Frequenzstützstellen festzulegen, die am Bandende zuverlässig und innerhalb der Taktzeit abgeprüft werden können.

Literatur

- [1] Elliott, S. J.: Signal Processing for Active Control, Academic Press, London, 2001