



Institut für
Antriebssysteme und
Leistungselektronik



Leibniz
Universität
Hannover

Übersicht über die Programmlandschaft des IAL zur Berechnung von elektrischen Antriebssystemen



Maschinentyp	Synchronmaschinen			Induktionsmaschinen			
	El. erregt		Permanent- magneterregt	Reluktanz- maschine	3-phasig		1-phasig
Themenfeld	Schenkel- polläufer	Vollpol- läufer			Käfigläufer	Schleifringläufer	Käfigläufer
Stationäres Betriebsverhalten	<u>SPSYN</u>	<u>VPSYN</u>	<u>PMOK</u>		<u>ASYN</u>		<u>WAMOB</u>
	<u>SPOK</u>						
	<u>SPOK-FAST</u>						
Stoßkurzschluss- berechnung & transiente Vorgänge	<u>SYNDYN</u>				<u>SYNDYN</u>		
Geräusche	<u>ALFRED</u>				<u>ALFRED / FELDER</u>		
	<u>AGR</u>				<u>AGR</u>		
	<u>GMA</u>						
Betriebskennfelder	<u>SPSYN</u>		<u>PMOK</u>		<u>ASYN</u>		
	<u>SPOK</u>						
	<u>SPOK-FAST</u>						
Quasistationärer Anlauf	<u>SPASYN</u>	<u>VPASYN</u>			<u>ASASYN</u>		
Powertrain	<u>Powertrain Simulator</u>		<u>Powertrain Simulator</u>		<u>Powertrain Simulator</u>		
Pendelmomente	<u>ALFRED</u>		<u>PMOK</u>		<u>ALFRED</u>		
	<u>SPOK</u>						
	<u>SPOK-FAST</u>						
Sonstiges	<u>KAPE</u>				<u>WKE</u>		
	<u>USYM</u>				<u>USYM & UWELLE</u>		
	<u>BIEGE & TKDZ</u>						
	<u>SV 8 & WET & VOPI</u>						

AGR – Analytische Geräuschrechnung

- **Umfang und Art der Berechnungen**
 - Analytisch, stationär
 - Schwingungsamplituden am Blechpaketrückten
 - Abgestrahlter Schalldruckpegel
 - Eigenfrequenzen des Ständers
 - Geräuschkennfelder (IDEMA-Toolkette)
- **Anwendung für Maschinenart(en)**
 - Permanentmagneterregte Synchronmaschinen
 - Induktionsmaschinen
 - Elektrisch err. Synchronmaschinen
- **Eingabe**
 - Geometriedaten
 - Drehwellen des Luftspaltfelds (z.B. aus ALFRED, FELDER oder FEMAG)
- **Grenzen**
 - Nur Innenläufer (Außenläufer auf Wunsch ergänzbar)
 - Nur Radialflussmaschinen
 - Keine Berücksichtigung von der Ordnung $r = 1$



ALFRED – Analyse des Luftspaltfelds von fehlerfreien oder ramponierten elektrischen Drehfeldmaschinen

- **Umfang und Art der Berechnungen**
 - Analytisch, stationär, Exzentrizitäten, Stabbrüche im Käfig, Windungsschlüsse
 - Resultierendes Luftspaltfeld (Leitwertwellen, Strombelagswellen)
 - Induzierte Spannung in den Wicklungen
 - Luftspalt-Drehmoment
 - Verlustverteilung im Käfig
- **Anwendung für Maschinenart(en)**
 - Induktionsmaschinen
 - El. erregte Synchronmaschinen
- **Eingabe**
 - Geometriedaten
 - Wicklungsdaten
 - Bemessungsdaten (Magnetkreis)
 - Ständer und ggf. Erregerstrom
- **Grenzen**
 - Nur Innenläufer
 - Nur Radialflussmaschinen
 - Keine massiven Schenkelpol- oder Vollpolläufer
 - Keine permanentmagneterr. Synchronmaschinen
 - Grobe Berücksichtigung der Sättigung



ASASYN – Asynchroner Anlauf von Induktionsmaschinen

- **Umfang und Art der Berechnungen**
 - Analytische Berechnung des quasistationären Anlaufs von Induktionsmaschinen unter Berücksichtigung der Wicklungserwärmung
 - Drehmoment, Leistungsfaktor, Ströme und Übertemperaturen in Ständer- und Läuferwicklung in Abhängigkeit vom Schlupf
 - Anlaufzeit, Erwärmung des Läufer Eisens
 - Übertemperatur der Läuferwicklung bei festgebremsten Läufer
- **Anwendung für Maschinenart(en)**
 - Induktionsmaschinen (Käfig- und Schleifringläufer)
- **Eingabe/Voraussetzung**
 - Geometriedaten des Ständer- und Läuferaktivteils
 - Ergebnisse aus ASYN-Rechnung
 - Lineare oder quadratische Drehzahlabhängigkeit des von der Arbeitsmaschine aufgenommenen Lastmoments
 - Berücksichtigung eines Vorwiderstands bei Schleifringläufern
 - Manuelle Anpassung der Stromverdrängungsfaktoren im Kurzschlussring 

ASYN – Nachrechnung von Asynchronmaschinen

- **Umfang und Art der Berechnungen**
 - Analytische Berechnung von stationären Betriebspunkten
 - Einzelpunkt- und Kennfeldberechnungen
 - Symmetrische Mehrphasenwicklungen
 - Motor- und Generatorbetrieb
- **Anwendung für Maschinenart(en)**
 - Käfigläufer (Einfach- und Doppelnut)
 - Schleifringläufer
 - Doppeltgespeiste Asynchronmaschinen
- **Eingabe**
 - Geometrie-, Blech- und Wicklungsdaten
 - Bemessungsdaten
 - Stationärer Kurzschlussstrom
- **Grenzen**
 - Keine transienten Vorgänge
 - Nur Radialflussmaschinen
 - Keine thermische Vorausberechnung



BIEGE – Biegekritische Drehzahlen

- **Umfang und Art der Berechnungen**
 - Analytisch
 - Biegekritische Drehzahlen
- **Anwendung**
 - Alle Welle-Lager-Systeme
- **Eingabe**
 - Geometriedaten der Welle
 - Lagerdaten und –positionen
 - Punkt- und Flächenlasten
- **Grenzen**
 - Nur Innenläufer



FELDER – Berechnung der Oberwellen des Luftspaltfelds in Induktionsmaschinen mit Käfigläufern

- **Umfang und Art der Berechnungen**
 - Induktionsdrehwellen von Ganzloch- und Zweischicht-Bruchloch
 - Analytisch, stationär
 - Berücksichtigung von Nutung, Sättigung und Exzentrizitäten
 - Berücksichtigung von Stromüberschwingungen
 - Aufbereitung der Induktionsdrehwellen zur Weiterverwendung in AGR
- **Anwendung für Maschinenart(en)**
 - Induktionsmaschinen mit Käfigläufer
- **Eingabe**
 - Geometriedaten
 - Wicklungsdaten
 - Aktivteildaten
- **Grenzen**
 - Nur Innenläufer
 - Nur Radialflussmaschinen
 - Nur IM mit Käfigläufer



GMA – Geräuschmodalanalyse

- **Umfang und Art der Berechnungen**
 - Abgestrahlter Schalldruckpegel
 - Dominante Frequenzen
 - Ordnungen der Schwingungen
 - Auslenkungen an der Oberfläche entlang des Umfangs
- **Anwendung für Maschinen(arten)**
 - Permanentmagneterregte Synchronmaschinen
 - Induktionsmaschinen
 - Elektrisch erregte Synchronmaschinen
 - Synchrone Reluktanzmaschinen
- **Eingabe**
 - PLT-Datei aus *FEMAG-DC* (PMSM)
 - *FELDER* - Ausgabedatei (IM)
 - *ALFRED* - Ausgabedatei (ESM, IM)
 - Modalmatrix von *ANSYS*
 - Knotenpositionen von *ANSYS*
- **Grenzen**
 - Nur zylindrische Blechpakete



KAPE – Kennlinienberechnung für Außenpolerregemaschinen

- **Umfang und Art der Berechnungen**
 - Analytisch, stationär, symmetrischer Betrieb
 - Leerlauf, Magnetkreisrechnung
 - ESB-Elemente (abc und dq)
 - Teillast und Bemessungsbetrieb
 - Verluste des Diodengleichrichters
 - Kennlinie des erreichten Erregerstroms der Hauptmaschine in Abhängigkeit von der Erregung der Erregermaschine
- **Anwendung für Maschinen(arten)**
 - Außenpolerregemaschinen
- **Eingabe**
 - Geometriedaten
 - Wicklungsdaten
- **Voraussetzungen**
 - Polformkoeffizienten aus der Software *PolformIdent*
- **Grenzen**
 - Nur Radialflussmaschinen



SPASYN – Quasistationärer Anlauf von Schenkelpolsynchronmaschinen

- **Umfang und Art der Berechnungen**
 - Asynchroner Anlauf, quasistationär, analytisch, Hochlaufzeit
 - M-n-Kennlinie unter Berücksichtigung des Gorges-Sattels und der Stromverdrängung
 - Asynchrones Drehmoment, Pendelmomente doppelter Schlupffrequenz, Stab- und Ringstromverteilung
 - Wicklungs- und Dämpferstabtemperaturen
- **Anwendung für Maschinen(arten)**
 - Schenkelpolsynchronmaschinen mit Selbstanlauf
- **Eingabe**
 - Geometriedaten
 - Wicklungsdaten
 - ESB-Elemente (z.B. aus Ergebnissen einer SPSYN-Rechnung)
 - Thermische Leitfähigkeiten
 - Anlaufdaten: Gegenmoment, Abkühlzeit



SPOK – Berechnung von wirkungsgradoptimierten Kennfeldern für Schenkelpolsynchronmaschinen

- **Umfang und Art der Berechnungen**
 - Numerisch (FEM), stationär, symmetrischer Betrieb
 - Einzellastpunktberechnung, Kennfeldberechnung (wirkungsgradoptimiert)
 - Verlustberechnung
 - Flussverkettungen, Drehmoment, Induktivitäten, Klemmengrößen
- **Anwendung für Maschinen(arten)**
 - Schenkelpolsynchronmaschinen
- **Eingabe**
 - Maschinendaten
 - Wicklungsdaten
- **Voraussetzung**
 - *FEMAG-DC*
- **Grenzen**
 - Nur Radialflussmaschinen



SPOK-Fast – Schnelle Berechnung von optimierten Kennfeldern für Schenkelpol- und Vollpolsynchronmaschinen

- **Umfang und Art der Berechnungen**
 - Numerisch (FEM), stationär, symmetrischer Betrieb
 - Leerlaufkennlinie, Einzellastpunktberechnung, Kennfeldberechnung (z.B. wirkungsgradoptimiert)
 - Verlustberechnung, Flussverkettungen (FFT), Drehmoment (FFT), Induktivitäten, Klemmengrößen
 - Luftspaltfeld (FFT)
- **Anwendung für Maschinen(arten)**
 - Elektrisch err. Synchronmaschinen
- **Eingabe**
 - Maschinendaten
 - Wicklungsdaten
 - Materialdaten
- **Voraussetzung**
 - *Matlab*
 - *FEMAG-DC mit FESI*
- **Grenzen**
 - Nur Radialflussmaschinen



SPSYN – Nachrechnung von Schenkelpolsynchronmaschinen

- **Umfang und Art der Berechnungen**
 - Analytisch, stationär, symmetrischer Betrieb, Hauptwellenverhalten
 - Magnetkreisrechnung, Leerlauf- & Kurzschlusskennlinie
 - Bemessungspunkt, Teillastpunkte, Kippunkt: Verluste, Zeigerbildgrößen
 - ESB-Elemente und Zeitkonstanten (gesättigt und ungesättigt)
 - THD-Faktor (Leerlauf)
 - M-n-Kennfelder
- **Anwendung für Maschinen(arten)**
 - Schenkelpolsynchronmaschinen
- **Eingabe**
 - Geometriedaten
 - Wicklungsdaten
 - Bemessungsdaten
 - Betriebsgrenzen
- **Grenzen**
 - Nur Innenläufer



SYNDYN – Transiente Vorgänge in elektrisch erregten Synchronmaschinen und Induktionsmaschinen

- **Umfang und Art der Berechnungen**
 - Torsionskritische Drehzahlen
 - Transiente Vorgänge: Synchronisierung, Netzunterbrechung, 2- & 3-poliger Kurzschluss, Anlauf, Bremsen, Lastaufnahme und Lastabwurf
 - Hauptfeldsättigung berücksichtigt
 - Stromverdrängung im Käfig
 - Nachbildung des Wellenstrangs als Mehrkörpersystem (MKS) mit max. 19 Massen
- **Anwendung für Maschinenart(en)**
 - Elektrisch err. Synchronmaschinen
 - Induktionsmaschinen
- **Eingabe**
 - ESB-Elemente, Leerlaufkennlinie
 - Mechanische Daten als MKS
 - Anfangszustand
 - Netz/Umrichterspannung, Erregerspannung, Gegenmoment
- **Grenzen**
 - Hauptwellenverhalten,
 - Betrieb am starren Netz, keine Regler
 - Konstante ESB-Parameter innerhalb einer Rechnung



SV 8 – Stromverdrängung in Rechteckleitern

- **Umfang und Art der Berechnungen**
 - Analytisch, stationär
 - Stromverdrängung in und Streufaktoren von symmetrischen Ganz- und Bruchlochwicklungen
 - Spulen gleicher Weite und konzentrische Spulen
 - Rechteckleiter
- **Anwendung für Maschinen(arten)**
 - Alle Maschinenarten mit Formspulen
- **Eingabe**
 - Maschinendaten
 - Wicklungsdaten
 - Zonenplan
 - Leiterabmessungen
- **Grenzen**
 - Streuflussverlauf in luftspaltnahen Leitern wird grob angenähert



PMOK – Berechnung von wirkungsgradoptimierten Kennfeldern für permanentterregte Synchronmaschinen

- **Umfang und Art der Berechnungen**
 - Numerisch (FEM), stationär, symmetrischer Betrieb
 - Einzellastpunktberechnung, Kennfeldberechnung (η -optimiert, MMPA, FOR)
 - Flussverkettungen, Drehmoment, Induktivitäten, Klemmengrößen, Verluste
 - Kopplung mit Powertrain Simulator
- **Anwendung für Maschinen(arten)**
 - PM-Synchronmaschinen
- **Eingabe**
 - Geometriedaten
 - Autom. Modellaufbau
 - Oberflächenmagnete
 - vergrabene Magnetanordnungen
 - Maschinendaten
 - Wicklungsdaten
- **Voraussetzung**
 - *FEMAG-DC*
- **Grenzen**
 - Nur Radialflussmaschinen



PS – Powertrain-Simulator

- **Umfang und Art der Berechnungen**
 - Fahrzyklussimulation von Elektrofahrzeugen
 - Energieverbrauch
 - Temperaturverlauf der Motorkomponenten
 - Thermische Grenzkennlinien
 - Simulation der Leistungshalbleiter
 - Wahlweise Simulation mit Batteriesystem und Hochsetzsteller
 - Einzellastpunktberechnung
- **Anwendung für Maschinen(arten)**
 - Induktionsmaschinen
 - PM- und elektrisch-erregte Synchronmaschinen
- **Eingabe**
 - Geometrie und Wicklungsdaten der Maschine
- **Voraussetzungen**
 - Kennfelddaten aus anderer Software:
 - PMOK, SPOK, SPOK-FAST, SPSYN, ASYN
- **Grenzen**
 - Die thermischen Modelle berücksichtigen bisher nur Innenläufer



VPSYN – Nachrechnung von Vollpolsynchronmaschinen

- **Umfang und Art der Berechnungen**
 - Analytisch, stationär, symmetrischer Betrieb, Hauptwellenverhalten
 - Magnetkreisrechnung, Leerlaufkennlinie
 - Kurzschlusskennlinie
 - Bemessungspunkt, Teillastpunkte, Kippunkt: Verluste, Zeigerbildgrößen
 - ESB-Elemente und Zeitkonstanten (gesättigt und ungesättigt)
 - THD-Faktor (Leerlauf)
 - M-n-Kennfelder
- **Anwendung für Maschinen(arten)**
 - Vollpolsynchronmaschinen
- **Eingabe**
 - Geometriedaten
 - Wicklungsdaten
 - Bemessungsdaten
 - Betriebsgrenzen
- **Grenzen**
 - Nur Innenläufer
 - Nur Radialflussmaschinen



TKDZ – Torsionskritische Drehzahlen

- **Umfang und Art der Berechnungen**
 - Analytisch
 - Torsionskritische Drehzahlen
- **Anwendung für Maschinenart(en)**
 - Alle Welle-Lager-Systeme
- **Eingabe**
 - Geometriedaten der Welle
 - Punktlasten
- **Grenzen**
 - Nur Innenläufer (rotierend um Längsachse)



USYM – Betriebsverhalten bei unsymmetrischer Ständerwicklung

- **Umfang und Art der Berechnungen**
 - Analytisch, stationär, unsymmetrischer Betrieb (fehlende Spulen in Ständerwicklung)
 - Stromverteilung in einzelnen Ständerzweigen
 - Teillast und Bemessungsbetrieb
- **Anwendung für Maschinenart(en)**
 - Elektrisch erregte Synchronmaschinen
 - Induktionsmaschinen
- **Eingabe**
 - Geometriedaten
 - Wicklungsdaten
 - Bemessungsdaten
 - Magnetkreisdaten z.B. aus SPSYN, VPSYN oder ASYN
- **Grenzen**
 - Nur Innenläufer
 - Nur Radialflussmaschinen
 - Keine massiven Schenkelpol- oder Vollpolläufer



UWELLE – Berechnung von Wellenspannungen

- **Umfang und Art der Berechnungen**
 - Analytische Berechnung von Wellenspannungen durch Störstellen und Unsymmetrien im Magnetkreis
 - Berücksichtigung von Dämpferwicklungen
 - Einfluss der Läuferschrägung
 - Berücksichtigung der nichtlinearen Magnetisierungskennlinie
 - Unterschiedliche Formen und Verteilungen von Störstellen im Ständerjoch
 - Frequenzabhängige Analyse der entstehenden (abgedämpften) Wellenspannungen getrennt nach Ursache
- **Anwendung für Maschinenart(en)**
 - Induktionsmaschinen mit Käfigläufer
- **Eingabe/Voraussetzung**
 - Geometrie- und Wicklungsdaten des Ständer- und Läuferaktivteils
 - Betriebspunktdateien sowie zugehörige magn. Spannungen
- **Grenzen**
 - Störstellen bisher nur im Ständer möglich
 - Nur Käfigläufer



VOPI – Voltage on Power Interfaces

- **Umfang und Art der Berechnungen**
 - Berechnung der Motorklemmenspannung gemäß IEC 61800-8
 - Berechnung abhängig von Wahl:
 - der Spannungsquelle (Netz),
 - des Gleich- und Wechselrichters,
 - des Filters,
 - der Kabelparameter und
 - der Motorleistung
 - Wahlweise Berechnung oder Vorgabe der Kabelparameter
- **Anwendung für Maschinenart(en)**
 - Umrichter gespeiste Maschinen
- **Eingabe/Voraussetzung**
 - Netzspannung und-Typ
 - Grundfrequenz
 - B6C/B2C/Active-Gleichrichter
 - 2-,3-,Multi-Level Wechselrichter
 - Filtertyp: keiner, dU/dt, Sinusfilter, Ausgangsdrossel, HF-Common-Mode-Filter
 - Kabelparameter: Kapazitäts- und Induktivitätsbelag sowie Länge / alternativ: Typ und Geometrieabmessungen des Kabels
 - Motorleistung



VPASYN – Quasistationärer Anlauf von Vollpolsynchronmaschinen

- **Umfang und Art der Berechnungen**
 - Asynchroner Anlauf, quasistationär, analytisch
 - M-n-Kennlinie unter Berücksichtigung des Gorges-Sattels
 - Asynchronmomente, Pendelmomente
 - Stab- und Ringstromverteilung
 - Wicklungs- und Dämpferstabtemperaturen
 - Hochlaufzeit
 - Stromverdrängung wird berücksichtigt
- **Anwendung für Maschinen(arten)**
 - Vollpolsynchronmaschinen mit Selbstanlauf
- **Eingabe**
 - Geometriedaten
 - ESB-Elemente (Ergebnis der VPSYN-Rechnung)
 - Thermische Daten
 - Anlaufdaten: Gegenmoment, Abkühlzeit



WAMOB – Wechselstrom-Asynchron-Motoren mit direkter Berücksichtigung der Oberwellen

- **Umfang und Art der Berechnungen**
 - Drehzahl-Drehmomentkennlinie unter Berücksichtigung der mit- und gegenlaufenden Oberwellen
 - Aufgenommene und abgegebene Leistungen
 - Strang- und Netzstrom
 - Kondensatorspannung
- **Anwendung für Maschinenart(en)**
 - Induktionsmaschinen mit Käfigläufern mit zwei- und dreisträngigen Ständerwicklungen für den Betrieb am Wechselstrom
 - Steinmetz-Stern- und -Dreieck-Schaltung
- **Eingabe**
 - Wicklungsdaten
 - Symmetrisch
 - Quasisymmetrisch
 - Beliebig unsymmetrisch
 - Geometriedaten der Maschinen
 - Bemessungsdaten
- **Grenzen**
 - Nur Käfigläufer
 - Nur Innenläufer



WET – Wicklungsentwurf-Tool

- **Umfang und Art der Berechnungen**
 - Entwurf/Analyse mehrphasiger Ganzloch- und Bruchlochwicklungen
 - Analytische Berechnung von sämtlichen Wicklungsfaktoren, der Oberwellenstreuung und der symmetrischen Komponenten der induzierten Spannung
 - Visualisierung des Görge'sdiagramms und des resultierenden Strombelagverlaufs (inkl. FFT)
 - Symmetrische und (vorgegebene) unsymmetrische Wicklungen
- **Anwendung für Maschinenart(en)**
 - Induktions- und Synchronmaschinen
- **Eingabe/Voraussetzung**
 - Wicklungsentwurf/-analyse
 - Strangzahl
 - Polpaarzahl
 - Nutzahl
 - Lagenzahl
 - Spulenweite für Zweischichtwicklungen
 - unsymmetrische Wicklungsanalyse
 - Vorgabe Zonenplan
 - ggfs. Vorgabe Windungszahl
- **Grenzen**
 - Max. zwei Wicklungslagen 

WKF – Wicklungskopfkkräfte und -versteifung

- **Umfang und Art der Berechnungen**
 - Analytische Berechnung der Wicklungskopfkkräfte
 - Empfehlung für Absteifungsmaßnahmen
 - Kurzschluss: 2-polig, 3-polig
 - Anlauf
 - Formspulen mit Resin-Rich- oder VPI-Isolierungen
- **Anwendung für Maschinenart(en)**
 - Induktionsmaschinen
 - Elektrisch erregte Synchronmaschinen (auf Wunsch ergänzend möglich)
- **Eingabe**
 - Geometriedaten der Spulen
 - Wicklungsdaten
 - Bemessungsdaten
 - Stationärer Kurzschlussstrom
- **Grenzen**
 - Nur Innenläufer
 - Nur Radialflussmaschinen
 - Keine Runddraht-Wicklungen

