

Auswahl von Verstärkern für die EMV-Prüfung



Ein wichtiger Bestandteil der EMV-Prüfung ist der Verstärker, da er eine wesentliche Rolle bei der Erzeugung der erforderlichen Prüfsignale spielt. Die Auswahl eines geeigneten Verstärkers ist von grundlegender Bedeutung, um genaue, effiziente und wiederholbare EMV-Prüfergebnisse zu erzielen.

Verständnis der EMV-Prüfanforderungen

EMV-Prüfungen bestehen aus zwei Hauptaspekten:

- **Emissionsprüfung**
Sie bewertet die von einem Gerät ausgehenden elektromagnetischen Störungen
- **Störfestigkeitsprüfung**
Sie bewertet die Widerstandsfähigkeit des Geräts gegenüber externen elektromagnetischen Einflüssen.

Für die Störfestigkeitsprüfung müssen Hochleistungs-HF-Signale erzeugt werden, um reale elektromagnetische Störungen zu simulieren. Die Leistung des ausgewählten Verstärkers wirkt sich direkt auf die Genauigkeit, Zuverlässigkeit und Wiederholbarkeit von EMV-Prüfungen aus.

Wichtige Überlegungen bei der Auswahl eines Verstärkers

Bei der Auswahl eines Verstärkers für EMV-Prüfungen müssen mehrere Faktoren berücksichtigt werden:

- Frequenzbereich
- Ausgangsleistung
- Linearität
- Verstärkungsstabilität
- Lastanpassung
- SWR-Toleranz
- Kühlung
- Modulation
- Einhaltung von EMV-Normen

Frequenzbereich und EMV-Normen

EMV-Prüfungen erfordern Verstärker, die ein breites Frequenzspektrum abdecken, oft von kHz bis GHz, um unterschiedliche Anwendungen und Industriestandards zu unterstützen. Zu den gängigen EMV-Normen und den entsprechenden Frequenzanforderungen gehören:

• Handelsnormen

IEC 61000-4-3 (Störfestigkeit gegen Strahlung): 80 MHz ... 6 GHz, typischerweise 10 V/m bei 3 m

IEC 61000-4-6 (Störfestigkeit gegen leitungsgeführte Störungen): 150 kHz – 230 MHz, 3 bis 10 V/m (Kontakteinführung)

• militärische Normen

MIL-STD-461 RS103 (Störimpfindlichkeit): 2 MHz ... 40 GHz, erfordert 50 bis 200 V/m bei 1 m

• Luft- und Raumfahrtnormen

DO-160 Abschnitt 20 (Störanfälligkeit durch Strahlung und leitend): 100 MHz ... 18 GHz, erfordert 20 bis 200 V/m bei 1 m

• medizinische Normen

IEC 60601-1-2 (Elektromagnetische Störungen und Störfestigkeit): 150 kHz ... 2,7 GHz, erfordert 3 bis 10 V/m bei 3 m

ISO 14708-3 (Störfestigkeit aktiver implantierbarer medizinischer Geräte): 9 kHz ... 3 GHz, erfordert 10 V/m bei 1 m

• Automobilnormen

ISO 11452-2 (Störfestigkeit in Fahrzeugen): 10 kHz ... 18 GHz, erfordert 30 bis 200 V/m in 1 m Entfernung

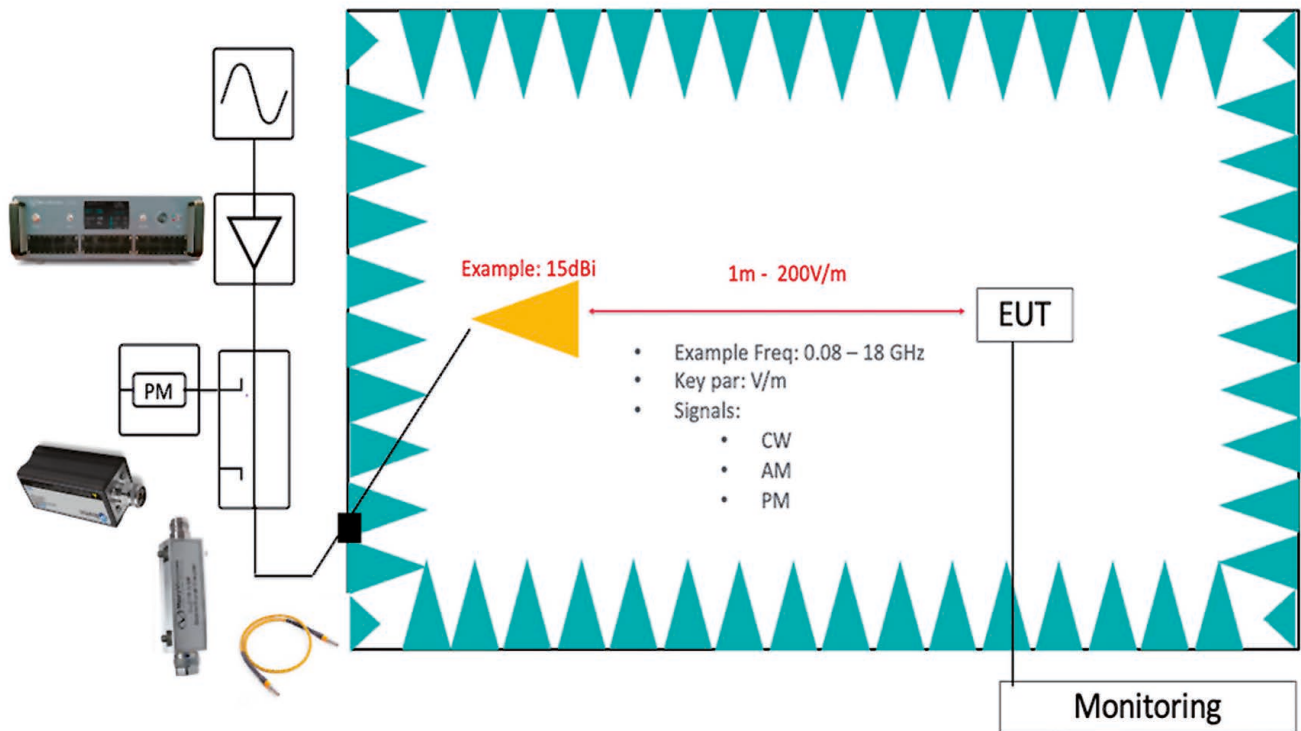
ISO 11452-4 (Bulk-Stromeinblendung für leitungsgebundene Störfestigkeit): 1 MHz ... 400 MHz, erfordert Einblendpegel von 10 bis 300 mA

Der Frequenzbereich eines Verstärkers ist oft ein limitierender Faktor bei der Realisierung einer wirklich breitbandigen Testlösung. Um diese Einschränkung zu überwinden, werden in Testbänken häufig Schaltmatrizen eingesetzt. Dieser Ansatz erhöht jedoch die Einfügungsdämpfung zwischen dem Verstärker und der Antenne und damit auch die Gesamtkosten des Systems. Die zusätzliche Einfügungsdämpfung erfordert eine höhere Ausgangsleistung des Verstärkers, um die erforderliche Feldstärke aufrechtzuerhalten. Daher sind Breitbandverstärker ideal für EMV-Prüfungen, da sie diese Einschränkungen minimieren und die Prüfeffizienz verbessern.

Quelle:
Whitepaper
„EMC Testing and Amplifier
Selection“, April 2025,
Maury Microwave
www.maurymw.com

Maury Microwave wird in Deutschland
vertreten von:
EMCO Elektronik GmbH
www.emco-elektronik.de

übersetzt von FS



Grundstruktur für Störfestigkeitsprüfungen (Immunity)

Die Einhaltung der EMV-Normen gewährleistet, dass der Verstärker die gesetzlichen Anforderungen wie FCC-, CE- und MIL-STD-Spezifikationen erfüllt.

Ausgangsleistung

Die Störfestigkeitsprüfung erfordert eine ausreichende Leistung, um die in verschiedenen Normen festgelegte elektrische Feldstärke (V/m) in der vorgegebenen Entfernung zu erzeugen. Die Beziehung zwischen der erforderlichen Feldstärke (E) und der Leistung (P) bei einer bestimmten Entfernung (d) wird durch die folgende Formel ausgedrückt:

$$P = \frac{E^2 d^2}{30G}$$

G ... Antennengewinn

Sobald P bestimmt ist, muss die Einfügungsdämpfung (IL) zwischen dem Verstärker und der Antenne berücksichtigt werden, um die erforderliche Verstärkerleistung genau zu definieren. Darüber hinaus sollten Faktoren wie das Modulations-Spitzen-zu-Durchschnitts-Verhältnis (PAR) berücksichtigt werden, um sicherzustellen, dass der Verstärker innerhalb seines linearen Bereichs arbeitet. Ein Beispiel:

- Anwendung: Automobilindustrie ISO 11452-2
- Frequenz: 6...18 GHz
- Antennengewinn (G): 15 dBi

- elektrisches Feld (E): 200 V/m

- Abstand: 1 m

- Einfügungsdämpfung (IL): 4 dB

Basierend auf diesen Parametern beträgt die minimal erforderliche Verstärkerleistung 85 W. Für ein robustes und zuverlässiges System wird die Auswahl eines Verstärkers im Bereich von 150...250 W empfohlen.

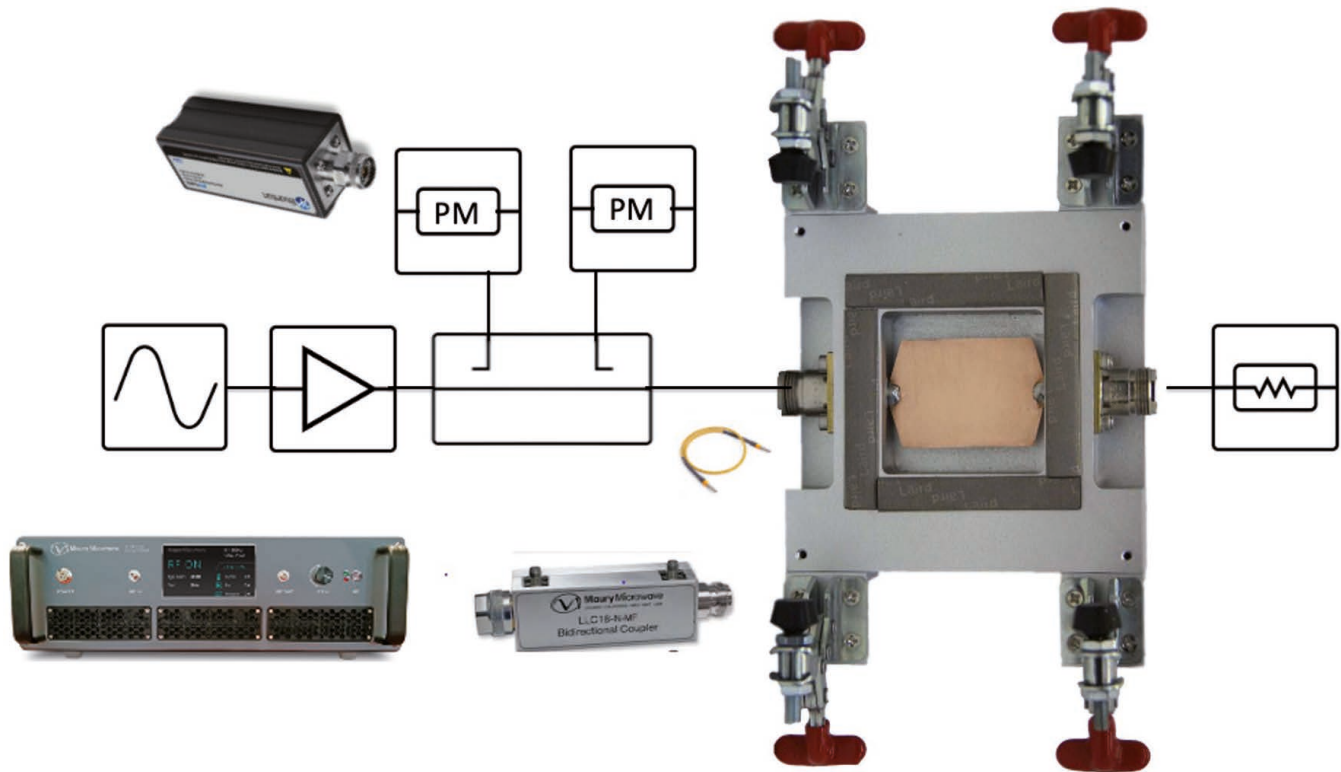
Linearität und harmonische Verzerrung (Klasse A und AB)

Ein linearer Verstärker sorgt dafür, dass das Ausgangssignal das Eingangssignal genau wiedergibt und gleichzeitig harmonische Verzerrungen und unerwünschte Spektralemissionen minimiert, die die Messungen beeinträchtigen könnten.

Verstärker der Klasse A bieten eine außergewöhnliche Linearität, sind jedoch wenig effizient, was zu einem höheren Stromverbrauch, höheren Betriebskosten und einem höheren Kühlungsbedarf führt. Im Gegensatz dazu bieten moderne Verstärker der Klasse AB ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Effizienz, Linearität und Zuverlässigkeit. Sie erreichen eine deutlich höhere Effizienz als Verstärker der Klasse A bei relativ geringer Verzerrung und eignen sich daher gut für Anwendungen, bei denen eine moderate Linearität ohne übermäßige Wärmeabgabe erforderlich ist.

Vorteile von Verstärkern der Klasse AB für EMV-Prüfungen:

- **höhere Effizienz**
Verstärker der Klasse AB arbeiten effizienter als Verstärker der Klasse A und reduzieren so den Gesamtstromverbrauch und die Wärmeabgabe.
- **ausgewogene Linearität**
Moderne Verstärker der Klasse AB sind zwar nicht so linear wie Verstärker der Klasse A, bieten jedoch eine für viele EMV-Prüfungen ausreichende Linearität bei deutlich geringerem Stromverbrauch.
- **Kosteneffizienz**
Der verbesserte Wirkungsgrad senkt die Betriebs- und Kühlkosten und macht Verstärker der Klasse AB zu einer wirtschaftlicheren Wahl.
- **geringerer Kühlbedarf**
Die geringere Wärmeabgabe erhöht die Langzeitzuverlässigkeit und reduziert den Bedarf an einer umfangreichen Kühlinfrastruktur.
- **ausreichende Leistung für viele EMV-Prüfungen**
Bei vielen leitungsgebundenen und abgestrahlten Störfestigkeitsprüfungen liegen die harmonischen Verzerrungsgrade von Verstärkern der Klasse AB innerhalb akzeptabler Grenzen, sodass sie eine praktische Wahl sind, wenn keine extreme Linearität erforderlich ist.



Vereinfachtes Setup für Streifenleitungsprüfungen

Verstärkung und Stabilität

Die Solid-State-Power-Amplifier-Technologie (SSPA) ist der TWT-Technologie (Traveling Wave Tubes, Wanderwellenröhren) überlegen. Ein EMV-Verstärker muss eine konstante Verstärkung bei geringem Rauschen und hoher Stabilität liefern, um wiederholbare Testergebnisse zu gewährleisten. Die Solid-State-Power-Amplifier-Technologie bietet eine außergewöhnliche Verstärkungsstabilität bei minimaler Rauschbeimischung und ist daher gegenüber der älteren TWT-Technologie für EMV-Anwendungen die bevorzugte Wahl.

Die Minimierung der Verstärkungscompression ist entscheidend für die Aufrechterhaltung eines stabilen Ausgangsleistungspegels während der gesamten Prüfung. Moderne GaN-basierte SSPA bieten eine weiche Verstärkungscompression, wodurch der Verstärker im Vergleich zu früheren Technologien hohe Compressionspunkte aufrechterhalten und über einen größeren Dynamikbereich effizient arbeiten kann.

Weitere Überlegungen

• Lastanpassung und SWR-Toleranz

Verstärker sollten so ausgewählt werden, dass sie die richtigen Lastbedingungen und hohe Stehwellenverhältnisse (SWRs) am Eingang bewältigen können.

• Kühlung und Wärme-Management

Hochleistungsverstärker erzeugen erhebliche Wärme, sodass geeignete Kühlmechanismen erforderlich sind. Ein Übertemperaturschutz gewährleistet langfristige Zuverlässigkeit.

• Modulationsfähigkeiten

Einige EMV-Prüfungen erfordern modulierte Signale (z.B. Pulsmodulation für Radar-Anfälligkeitstests). Der Verstärker sollte Amplituden-, Frequenz- und Pulsmodulation gemäß den Anforderungen der Prüfnorm unterstützen. Wählen Sie den Verstärker anhand der Intermodulations- und Verzerrungsleistung bei dem relativen PAR-Wert aus.

Vorzertifizierte Verstärker

Diese vereinfachen den Testaufbau und gewährleisten die Konformität. Die Maury-Mikrowellenverstärker nutzen moderne SSPA-GaN-Technologie, um herausragende Leistungsstufen mit großer Breitbandfrequenzabdeckung zu liefern. Die Modelle der Klasse AB bieten die vom Standard geforderte Linearitätsleistung mit dem Vorteil einer kompakteren und zuverlässigeren Bauweise. Einzigartige Breitband-Designs wie 2...18 GHz, 6...18 GHz und 18...40 GHz ermöglichen es EMV-Prüfständen, die Testdauer durch größere Frequenzdurchläufe zu

reduzieren. Die Breitbandoptionen reduzieren auch die Anzahl der vor dem Verstärker verwendeten Komponenten, wodurch Einfügungsverluste und die Gesamtkosten der Lösung minimiert werden.

Finden Sie Beispiele für zwei herkömmliche EM-Over-Air- und Steckverbinder-Tests mit Maury-Mikrowellenverstärkern und anderen Maury-Komponenten, die für genaue Leistungstests entwickelt wurden, darunter:

- Hochleistungs-Videobandbreiten-Sensoren
- verlustarme Breitbandkoppler
- amplituden- und phasenstabile Kabel

Fazit

Die Auswahl des richtigen Verstärkers für EMV-Prüfungen ist entscheidend für die Erzielung genauer und konformer Prüfergebnisse. Durch Berücksichtigung von Frequenzbereich, Ausgangsleistung, Linearität, Stabilität und Wärme-Management können Ingenieure zuverlässige und wiederholbare EMV-Messungen sicherstellen. Die richtige Auswahl des Verstärkers erhöht die Effizienz des Testprozesses und trägt dazu bei, die gesetzlichen Vorschriften zuverlässig einzuhalten. ◀