

High Voltage MOSFET Follower

Rather than using a cathode follower to buffer the output of a valve stage, a better option is to use a high voltage MOSFET. They are much cheaper than valves, don't need a heater supply, and they have higher performance. The output impedance will also be much lower and output current higher because you can run a MOSFET with a higher quiescent current than most valves can safely handle. A small heatsink will usually be needed if dissipation is more than 0.5W or so (or the MOSFET can be thermally coupled to a cool part of the chassis using a silicone thermal pad). Suitable devices include the IRF830 shown, IRF820, IRF840, STF3NK80Z, etc. It is extremely important that any MOSFET follower used after a valve gain stage has good protection for the following circuitry. When the B+ (high voltage) is connected, the output will rise to the full B+ voltage until the valve's cathode warms up, and this can damage whatever is connected to the output. A capacitor is not sufficient - you need to include a resistance and a zener diode clamping circuit to ensure that the output voltage can't exceed $\pm 10\text{V}$ or so (assuming that the following circuit is transistor or opamp based). Cathode followers are rather ordinary in terms of drive capability, output impedance and linearity. When used at modest signal levels (up to 5V RMS or so), a MOSFET will far exceed the performance you can reasonably expect from a valve. You may expect the gate capacitance (CGS) to cause havoc, but it's effectively bootstrapped by the source itself. For the circuit shown, the -3dB frequency should be at least 100kHz (assuming that the valve has little or no high frequency rolloff).

ESP

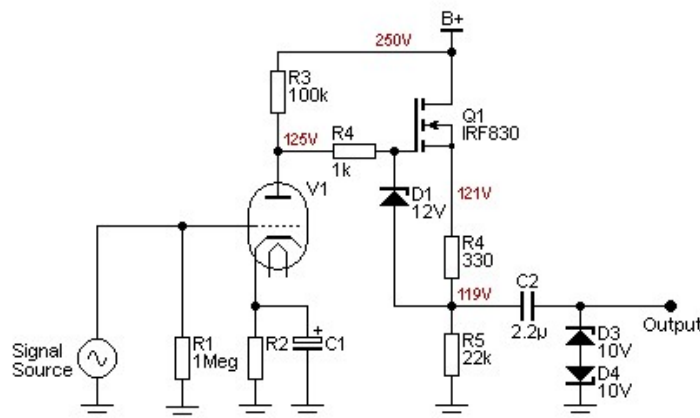


Figure 15 - MOSFET Follower

The value of the valve's cathode resistor and bypass capacitor (R2 and C1) haven't been shown because they depend on the valve used, and voltages shown are typical. With the MOSFET resistor values given, the AC output of the MOSFET follower is about 0.98 of the input, and is significantly better than a cathode follower in this respect. Without R4, there is virtually no signal loss at all, but there is also no current limiting. The current limit is around 25mA with a 330 ohm resistor. This allows more than sufficient drive to following stages, but limits the damage that can be created with high signal levels. Output impedance is 330 ohms, and is based almost entirely on the value of R4. If R5 is 22k as shown, it should be

rated for at least 1W, and the MOSFET needs a small heatsink because it will dissipate a little over 700mW with a 250V supply. Increase the value of R5 if you don't need the drive capacity provided by the 22k source resistor. Output impedance is not affected if you change the value of R5, but the ability to provide a high level signal into low impedances is reduced. The circuit above can provide well over 5V RMS into a 2.2k load impedance. Linearity can potentially be improved further by including a current source load for the MOSFET, but that shouldn't be necessary for most applications. The added complication is unlikely to provide any audible benefit, and if not done well may do more harm than good. See Project 167 for more information about protecting the following stages, and there's also a muting circuit that can be added. Most regular readers will know that I am not a fan of using 'vertical' MOSFETs (HEXFETs or other switching types) for linear circuits. This is an exception, because they are well suited to use as followers operating at high voltages. They are almost too perfect in this role, but at least you will know that any distortion comes predominantly from the preceding valve stage. Distortion as simulated is less than 0.01% with 7V RMS output and a 22k load at the output. A cathode follower will be hard pressed to even come close to that, regardless of the valve used. As a side-note, you can eliminate many of the protective parts if the MOSFET follower is used to drive a tone stack (in a guitar amp) or is used internally with other valves. For example, MOSFET followers are ideal to drive the grids of output valves, providing far greater bias stability. They also have no problems driving the grids positive (Class-AB2), which can have some decidedly adverse effects when a valve drive circuit is used. The zener diode and gate resistor are mandatory, but the limiting resistor (R4) and zeners are not required. The protection is intended to stop the valve stage(s) from destroying transistorised equipment (including opamps).

MOSFET Source Follower ad Alta Tensione

Invece di utilizzare un *cathode follower* per bufferizzare l'uscita di una sezione a valvola, una soluzione migliore è utilizzare un MOSFET ad alta tensione. I MOSFET sono molto più economici delle valvole, non richiedono un'alimentazione per il riscaldamento e offrono prestazioni superiori. L'impedenza di uscita sarà anche molto più bassa e la corrente di uscita più alta, poiché è possibile far funzionare un MOSFET con una corrente di quiescenza maggiore di quella che la maggior parte delle valvole può gestire in modo sicuro. Un piccolo dissipatore di calore è generalmente necessario se la dissipazione supera i 0,5 W circa (oppure il MOSFET può essere accoppiato termicamente a una parte fredda del telaio utilizzando un pad termico in silicone). Dispositivi adatti includono l'IRF830 mostrato, IRF820, IRF840, STF3NK80Z, ecc. È estremamente importante che ogni *MOSFET follower* utilizzato dopo una sezione di guadagno a valvola abbia una buona protezione per il circuito successivo. Quando il B+ (alta tensione) è connesso, l'uscita salirà fino alla tensione completa del B+ finché il catodo della valvola non si riscalda, e questo potrebbe danneggiare ciò che è collegato all'uscita. Un condensatore non è sufficiente: è necessario includere una resistenza e un circuito di clamp con diodo zener per garantire che la tensione di uscita non superi i $\pm 10V$ circa (presumendo che il circuito successivo sia basato su transistor o operazionale). I *cathode followers* sono piuttosto ordinari in termini di capacità di pilotaggio, impedenza di uscita e linearità. Quando utilizzato a livelli di segnale modesti (fino a circa 5V RMS), un MOSFET supererà di gran

lunga le prestazioni che si possono ragionevolmente aspettare da una valvola. Potresti aspettarti che la capacità del gate (CGS) causi problemi, ma in realtà viene "bootstrappata" dalla sorgente stessa. Per il circuito mostrato, la frequenza -3dB dovrebbe essere almeno 100kHz (presumendo che la valvola non abbia una riduzione della frequenza alta significativa).

ESP

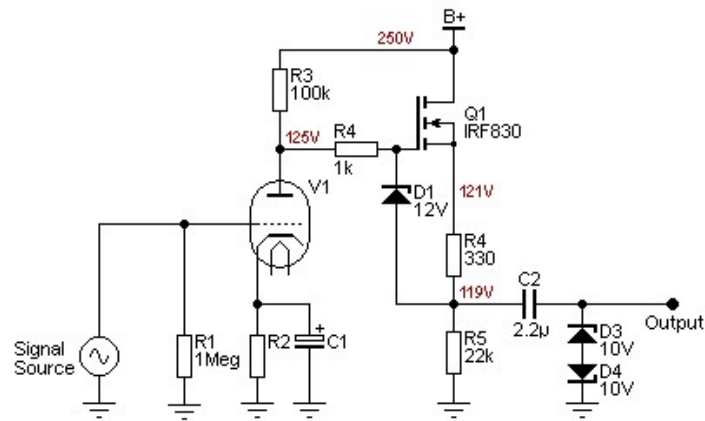


Figura 15 - Inseguitore MOSFET

Il valore del resistore di catodo e del condensatore di bypass della valvola (R2 e C1) non sono indicati poiché dipendono dalla valvola utilizzata, mentre le tensioni riportate sono tipiche. Con i valori di resistore del MOSFET indicati, l'uscita AC dell'inseguitore MOSFET è circa **0,98** rispetto all'ingresso, significativamente migliore rispetto a un inseguitore di catodo in questo aspetto.

Se si rimuove **R4**, la perdita di segnale è praticamente inesistente, ma non c'è alcuna limitazione di corrente. Con un resistore da **330 ohm**, il limite di corrente è di circa **25 mA**, sufficiente per pilotare gli stadi successivi e limitare i danni causati da segnali ad alta ampiezza.

L'impedenza d'uscita è **330 ohm**, determinata quasi esclusivamente dal valore di R4. Se **R5** ha un valore di **22k**, come mostrato, deve essere dimensionato per almeno **1 W**, e il MOSFET necessita di un piccolo dissipatore poiché dissipa poco più di **700 mW** con un'alimentazione a **250 V**.

Se non si necessita della capacità di pilotaggio fornita da R5 a 22k, si può aumentare il suo valore. Ciò non influenzerà l'impedenza d'uscita, ma ridurrà la capacità di fornire segnali ad alta ampiezza a carichi con bassa impedenza. Il circuito può comunque fornire oltre **5 V RMS** su un carico di **2,2kΩ**.

Linearità e Carico a Sorgente di Corrente

La linearità potrebbe essere ulteriormente migliorata utilizzando un carico a sorgente di corrente per il MOSFET. Tuttavia, ciò non è necessario nella maggior parte delle applicazioni, e la complessità aggiuntiva difficilmente porterà benefici udibili. Se implementata in modo scorretto, potrebbe peggiorare le prestazioni.

Protezione e Applicazioni

Consulta il **Progetto 167** per ulteriori dettagli su come proteggere gli stadi successivi e aggiungere un circuito di muting. L'inseguitore MOSFET è particolarmente adatto a operare a tensioni elevate ed è quasi "troppo perfetto" in questo ruolo. Eventuali distorsioni provengono principalmente dallo stadio valvolare precedente. La distorsione simulata è inferiore a **0,01%** con un'uscita di **7 V RMS** e un carico da **22k Ω** , prestazioni difficili da raggiungere con un inseguitore di catodo, indipendentemente dalla valvola utilizzata.

Uso in Amplificatori e Classe AB2

L'inseguitore MOSFET è ideale per pilotare:

- **Stack di tono** in amplificatori per chitarra.
- **Griglie delle valvole di uscita**, fornendo maggiore stabilità del bias e la capacità di pilotare le griglie positive (**Classe AB2**).

In questo caso, molti componenti di protezione possono essere eliminati, tranne il diodo Zener e il resistore di gate, che restano obbligatori. La protezione è progettata per evitare che lo stadio valvolare danneggi l'elettronica a transistor (inclusi gli operazionali).

Source: <https://sound-au.com/articles/followers.html#s9>