بسم الله الرحمن الرحيم

١٤٢٠٧٤

دانشگاه شهید بهشتی
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

جبران سازی تقویت کننده های سه طبقه به روش فیدبک مثبت

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق
گرایش الکترونیک

نام دانشجو:
حسن رکابی بنا

۱۳۸۹/۷/۲۴

استاد راهنما:
دکتر امید هاشمی پور

تاریخ دفاع:
بهمن ۸۸

۱۴۳۰۷۶

دانشگاه شهید بهشتی

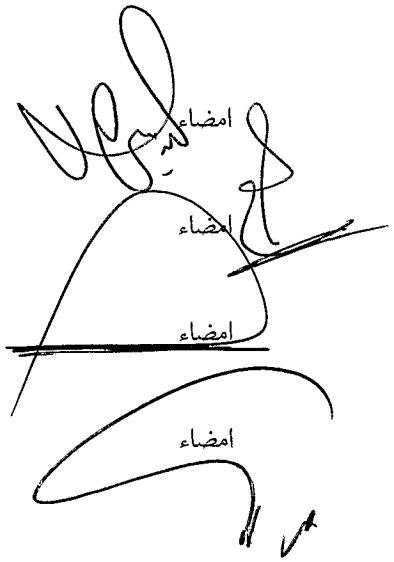
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق- گرایش الکترونیک

تحت عنوان:

جبران سازی تقویت کننده های سه طبقه به روش فیدبک مثبت

در تاریخ ۸۸/۱۱/۱۳ پایان نامه دانشجو، (حسن رکابی بنا)، توسط کمیته تخصصی داوران مورد بررسی و تصویب نهائی قرار گرفت.



۱- استاد راهنمای اول: دکتر امید هاشمی پور

۲- استاد داور (داخلی): دکتر علیرضا فتاح

۳- استاد داور (خارجی): دکتر حاج قاسم

٤- نماینده تحصیلات تکمیلی: دکتر ناظمی

کلیه حقوق مادی مرتبط بر نتایج مطالعات،

ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع

این پایان نامه متعلق به دانشگاه شهید بهشتی

می باشد.

نام ونام خانوادگی: حسن رکابی بنا

عنوان پایان نامه: جبران سازی تقویت کننده های سه طبقه به روش فیدبک مثبت

اساتید راهنما: دکتر امید هاشمی پور

اینجانب حسن رکابی بنا تهیه کننده پایان نامه کارشناسی ارشد حاضر، خود را ملزم به حفظ امانت داری و قدردانی از زحمات سایر محققین و نویسندگان بنا بر قانون Copyright می دانم. بدین وسیله اعلام می نمایم که مسئولیت کلیه مطالب درج شده با اینجانب می باشد و در صورت استفاده از اشکال؛ جداول، و مطالب سایر منابع، بلافاصله مرجع آن ذکر شده و سایر مطالب از کار تحقیقاتی اینجانب استخراج گشته است و امانتداری را به صورت کامل رعایت نموده ام. در صورتی که خلاف این مطلب ثابت شود، مسئولیت کلیه عواقب قانونی با شخص اینجانب می باشد.

نام ونام خانوادگی دانشجو: حسن رکابی بنا

امضاء وتاریخ:

فهرست مطالب

۱- پیش گفتار ۱

۱-۱- مقدمه..... ۲

۲- مروری بر روش های جبران سازی ٤

۲-۱- مقدمه..... ٥

۲-۲- فرضیات و نکات قابل توجه..... ٦

۲-۳- تقویت کننده های تک طبقه ۷

۲-۴- تقویت کننده های دو طبقه..... ۸

۲-۴-۱- جبران ساز به روش میلر ۹

۲-۴-۲- جبران ساز میلر و مقاومت خنثی کننده ۱۱

۲-۴-۳- جبران ساز میلر وحذف کننده صفر چند مسیره ۱۲

۲-۵- معیار پایداری باترورث ۱٤

۲-۶- تقویت کننده سه طبقه..... ۱٥

۲-۶-۱- جبران سازی به روش میلر تودرتو ۱٥

۲-۶-۲- جبران سازی میلر تودرتو و مقاومت خنثی کننده ۱۹

۲-۶-۳- جبران سازی میلر تودرتو چند مسیره ۲۱

۲-۶-۴- روش جبران سازی NGCC..... ۲٥

۲-۶-۵- جبران سازی میلر تودرتو و مسیر فیدفوروارد ۲۸

۲-۶-۶- جبران سازی با کنترل ضریب میرایی ۳۰

۲-۶-۷- جبران سازی فیدبک فعال ۳۳

۲-۷- خلاصه از روش های جبران سازی سه طبقه..... ۳۶

۳- جبران سازی به روش فیدبک مثبت ۳۹

۳-۱- مقدمه..... ۴۰

۳-۲- توپولوژی جبران سازی به روش فیدبک مثبت..... ۴۰

۳-۳- تابع انتقال حلقه باز و مدل سیگنال کوچک ۴۲

۳-۴- پهنای باندتقویت کننده ۴۳

۳-۵- تابع انتقال حلقه بسته..... ۴۶

۳-۶- آنالیز پایداری ۴۶

۳-۷- روابط طراحی تقویت کننده:..... ۴۷

۳-۸- توان مصرفی بهینه ۴۷

۳-۹- حداکثر نرخ تغییرات خروجی ۴۸

۳-۱۰-جمع بندی روش فیدبک مثبت..... ۴۹

۴- روش پیشنهادی در بهبودی تقویت کننده ۵۰

۴-۱- مقدمه ۵۱

۴-۲- حذف صفر سمت راست در جبران سازی به روش فیدبک مثبت ۵۱

۴-۲-۱- توپولوژی های تقویت کننده به منظور حذف صفر سمت راست..... ۵۲

۴-۳- بهبودی پاسخ فرکانسی در جبران سازی به روش فیدبک مثبت ۵۵

۴-۳-۱- توپولوژی تقویت کننده PFCCF ۵۵
۴-۳-۲- تابع انتقال حلقه باز و مدل سیگنال کوچک: ۵۷
٤-۳-۳- پهنای باند تقویت کننده: ۵۹
۴-۳-۴- تابع انتقال حلقه بسته: ٦۰
۴-۳-۵- بهینه کردن توان مصرفی ٦۱
٤-۳-٦- بهره محدود ٦۲
٤-۳-۷- ولتاژ افست خروجی ٦۳
٤-۳-۸- نسبت رد حالت مشترک ٦٤
٤-۳-۹- حداکثر نرخ تغییرات خروجی ٦٤
٤-۳-۱۰- زمان نشست: ٦۵
٤-۳-۱۱- نویز ٦۷
٤-٤- خلاصه از روش های مطرح شده ٦۸
۵- شبیه سازی ٦۹
۵-۱- شبیه سازی تقویت کننده ها ۷۰
۵-۱-۱- نتایج شبیه سازی جبران سازی به روش فیدبک مثبت ۷۰
۵-۱-۲- بهبودی حد فاز در روش فیدبک مثبت(PFCNR) ۷٤
۵-۱-۳- بهبودی پهنای باند در روش فیدبک مثبت (PFCCF) ۷۷
۵-۲- مقایسه با سایر توپولوژی ها ۸٤
٦- نتیجه گیری ۸۵

۶-۱- نتیجه گیری ۸۶

۶-۲- پیشنهاد جهت طراحی تقویت کننده به روش فیدبک مثبت ۸۷

مراجع ۸۸

چکیده

تقویت کننده های سه طبقه به دلیل دارا بودن سه قطب در فرکانس های پایین نیازمند جبران سازی هستند. به منظور جبران سازی از روش های همچون میلر تودرتو استفاده می شود اما این روش محدودیت های همچون، پهنای باند اندک و حد فاز کمتر از ۶۰ درجه را دارا است. جبران سازی به روش فیدبک مثبت، بدون افزایش توان مصرفی، پهنای باند تقویت کننده را افزایش دهد. صفر سمت راست به علت وجود مسیر فیدفوروارد خازنی پدید می آید. در این پایان نامه سعی شده است صفر سمت راست حذف شود، در نتیجه حد فاز تقویت کننده تا حدودی افزایش پیدا می کند. این روش را اصطلاحاً PFCNR نامیده شد. همچنین در روشی معرفی شده دیگری با استفاده از بافر جریان در مسیر خازن جبران سازی داخلی می توان فیدبک مثبت داخلی را تضعیف نمود و هدایت انتقالی طبقه دوم را افزایش و و هدایت انتقالی طبقه سوم را کاهش داد و در نتیجه، سبب افزایش پهنای باند تقویت کننده نسبت به جبران سازی به روش فیدبک مثبت می شود علاوه براین ، در این روش صفر سمت چپ در فرکانس پایین تری نسبت به روش جبران سازی فیدبک مثبت قرار گرفته است که با کاهش ضریب میرایی، صفر سمت چپ را به $-\xi_0\omega_{n0}$ نزدیک شده و بدون آنکه پهنای باند تقویت کننده کاهش یابد ،تقویت کننده از نظر زمانی بهبود خواهد یافت و این روش را اصطلاحاً PFCCF نامیده شد.

در شبیه سازی تقویت کننده سه طبقه از تکنولوژی $0.35\mu m$ CMOS استفاده می شود و تقویت کننده ی سه طبقه به پهنای باند 4.5MHz دست یافته است و این در حالی است که خازن بار 100pF را درایو می کند. تقویت کننده دارای منبع تغذیه ± 0.75 و توان مصرفی در حدود 0.3mW می باشد.

کلمات کلیدی: بافر جریان ، تقویت کننده سه طبقه ،جبران سازی به روش فیدبک مثبت، ، مقاومت Nulling،

فصل اول

پیش گفتار

۱-۱- مقدمه

افزایش تعداد ترانزیستورها در چیپ سبب شده است که برخی اصول در شاخه مدار مجتمع آنالوگ تغییر کند. برای چندین سال، طراحان مدار بر روی مدارات پردازش سیگنال و بهبود دقت، افست، نویز تمرکز یافتند.که این مسئله منجر به طراحی مدارات جدیدی شد. اگر چه امروزه هم، چنین مداراتی مهم به نظر می رسند، اما طراحی به سمت مداراتی با ولتاژ کم و توان مصرفی اندک پیش می رود. با منبع تغذیه کوچک بسیاری از مدارات سنتی، غیرقابل استفاده شده اند و نیاز به مدارات جایگزین هستیم.

در طراحی تقویت کننده های با پهنای باند[1] وسیع و بهره[2] بالا می توان از روش های تلسکوپیک و یا کسکدینگ استفاده نمود، اما با کاهش ولتاژ منبع تغذیه، پیاده سازی تقویت کننده های تلسکوپیک و کسکد شده پیچیده به نظر می رسد می دانیم که مدارات کسکدینگ و تلسکوپیک سبب کاهش سوئینگ خروجی می شوند. بنابراین جهت غلبه بر این مشکل در ولتاژهای پایین و همچنین کاهش بهره ذاتی ترانزیستور در ابعاد زیر میکرون ، تقویت کننده های چند طبقه معرفی شده اند.

تقویت کننده های چند طبقه به منظور دست یافتن به بهره بالا، از کسکدکردن طبقات به صورت افقی استفاده می کنند.[1] اما به دلیل، وجود چند قطب، در طراحی تقویت کننده های چند طبقه با مشکل پایداری حلقه بسته روبه روی هستیم و لذا جبران سازی تقویت کننده های چند طبقه بسیار ضروری به نظر می رسد. به همین منظور شماتیک های مختلف جبران سازی برای بهبودی پایداری تقویت کننده از نظر فرکانسی و زمانی مطرح می شوند.

تقویت کننده با بهره بالا، پهنای باند وسیع با قابلیت درایو کردن ظرفیت های خازنی بزرگ به عنوان تقویت کننده های خطا در تنظیم کننده های ولتاژ کاربرد دارند[2] که خازن بار این نوع تنظیم کننده های ولتاژ در حدود نانو و یا میکرو فاراد هستند، اصلی ترین مشکل این تقویت کننده ها، قطب های نزدیک به قطب غالب تقویت کننده و محدود بودن پهنای باند آن ها است. روشهای مختلف، از خازن های جبران سازی و یا مسیر فیدفوروارد، جهت جبران سازی تقویت کننده های چند طبقه استفاده می کنند.

---

[1] Gain Bandwith product
[2] dc Gain

بیشتر تکنیک های گزارش شده با هدف درایو کردن خازن بار بزرگ از دو خازن جبران سازی تودرتو[1] استفاده می کنند که بیشتر سطح تراشه توسط این خازن های اشغال می گردد، مخصوصاً در مواردی که خازن های جبران سازی بزرگ باشند برخی از روش های دیگر، از خازن های اکتیو جهت کاهش سطح تراشه و همچنین افزایش پهنای باند تقویت کننده استفاده می کنند[4-3].

پهنای باند تقویت کننده های چند طبقه به شدت به هدایت انتقالی و خازن های اکتیو وابسته است. این پارامترهای ذاتی به سادگی قابل تغییر نمی باشند اگر چه f_T (فرکانس بهره واحد) ترانزیستورها در تکنولوژی های زیر میکرون نسبتاً افزایش یافته است اما مداراتی که توسط این ترانزیستورها پیاده سازی می شوند و به دلیل وجود خازن های پارازیتی در فرکانس های بالا ،کار نخواهند کرد بنابراین دست یافتن به پهنای باند بیشتر مستلزم استفاده از تکنیک های جدیدی است که مسئله سرعت بالا و توان کم را حل کند

در فصل دوم مروری بر انواع روش های جبران سازی و مزیت ها و معایب آنها بررسی می شود، در فصل سوم نیز جبران سازی تقویت کننده به روش فیدبک مثبت نیز بررسی شده است، در فصل چهارم ، روش مطرح شده که روشی جدیدی در جبران سازی تقویت کنده سه طبقه به روش فیدبک مثبت است بررسی شده است و شبیه سازی نیز در فصل پنجم ذکر شده است، همچنین در فصل آخر نتایج ارائه شده است .

[1] Nested capacitors

فصل دوم

مروری بر روش های جبران سازی

۲-۱- مقدمه

با پیشرفت تکنولوژی استفاده از تقویت کننده های چند طبقه ضروری به نظر می رسند از آنجایی که اثرات کانال کوتاه منجر به کاهش امپدانس خروجی تقویت کننده و افت بهره تقویت کننده می شود تقویت کننده های تک طبقه کسکد شده ، در طراحی مداراتی با ولتاژ پائین مناسب نمی باشد. بر همین اساس روشهای مختلف جبران سازی برای تقویت کننده ی چند طبقه انتشار یافته است. بیشتر این تکنیک ها بر مبنای جداسازی قطبها و یا حذف صفر و قطبهای غیر غالب به کمک خازن و مقاومت می باشد.

برخی از توپولوژی ها بر روی پایداری تمرکز یافته اند و جزئیات طراحی همچون فرضیات اساسی در طراحی تقویت کننده موجود نمی باشد. اگر تقویت کننده پایدار نگردد طراحان مجبور هستند که پارامترهایی از شبکه جبران سازی را در نظر گیرند و به روش آزمایش و خطا به جبران سازی بپردازند بنابراین مزیت ها و معایب جبران سازی های مختلف با جزئیاتشان را در این فصل بررسی می گردد تا که بتوان به طراحان جهت انتخاب تکنیک مناسب جبران سازی، جهت درایو کردن خازن متغیر خروجی، خازن بار بزرگ و یا جریان متغیر خروجی کمک کرد.

تقویت کننده های صوتی [5,6] ،تنظیم کننده های ولتاژ [7] از جمله ی کاربردهای تقویت کننده های سه طبقه می باشند و حتی اخیراً در پیاده سازی تقویت کننده های بهره بالا و ولتاژ پایین [1] نیز از تقویت کننده سه طبقه نیز استفاده شده است.

تقویت کننده های تک طبقه به طور ذاتی پایدارند و نیاز به هیچ گونه جبران سازی ندارد. اما تقویت کننده ی دو طبقه به دلیل حضور دو قطب در فرکانس پایین از جبران سازی به روش میلر[2]جهت پایداری تقویت کننده استفاده می کند روش میلر دارا محدودیت هایی هستند که در ادامه فصل روش های دیگری جهت غلبه بر محدودیتهای این روش اشاره شده است. جهت پایداری تقویت کننده های سه طبقه عمدتاً طبقه دوم، طبقه غیرمعکوس کننده و طبقه سوم طبقه معکوس کننده است و جبران سازی به روش میلر تودرتو[3] از دو عدد خازن تو در تو استفاده می کند. این

---

[1] Operational Transconductance Amplifier
[2] Miller Compensation
[3] Nested Miller Compensation

روش پهنای باند را به شدت کاهش می دهد (پهنای باند یک چهارم تقویت کننده ی تک طبقه) و بسیاری از محققین روش های متفاوتی را مطرح کرده اند تا که به محدودیتهای ذاتی NMC غلبه کنند.

بسیاری از این توپولوژی ها از شبکه های خازن و مقاومتی جهت پایداری تقویت کننده استفاده می کنند [8-12] و برخی از آنها از یک یا چندین مسیر هدایت انتقالی به عنوان مسیر فیدفوروارد [13,14] جهت بهبودی پهنای باند و حداکثر نرخ تغییرات خروجی[1] نیز کمک می گیرند. همچنین روش های دیگر، به منظور درایو خازن بار بزرگ از یک خازن میلر و طبقه کنترل کننده ی ضریب میرایی[2][2] ، فیدبک فعال[3] [3] و یا از روش فیدبک مثبت[4] [16] استفاده می کنند.

۲-۲- فرضیات و نکات قابل توجه

در این بخش نشانه گذاری های عمومی که در دنباله استفاده خواهند شد را مطرح می کنیم و سپس فرضیات مشترک را در تمام توپولوژی را مطرح می کنیم.

- **نشانه گذاری** :g_{mi} , r_{oi} , C_{oi} به ترتیب هدایت انتقالی، مقاومت خروجی و خازن پارازیتی در خروجی هر طبقه هستند و R_L مقاومت بار و نیز C_L خازن بار می باشند. همچنین خازن های جبران سازی توسط C_{mi} مشخص شده است، تابع انتقال حلقه باز به صورت نسبت ولتاژ خروجی به ورودی، تعریف می شود، که در رابطه (۲-۱) ذکر شده است.

$$A_v(s)=\frac{V_{out}(s)}{V_{in}(s)} \qquad (۲-۱)$$

$V_{in}(s)$, $V_{out}(s)$ به ترتیب ولتاژ ورودی و ولتاژ خروجی می باشند علاوه بر این GBW بیان کننده ی پهنای باند تقویت کننده و PM° نشان دهنده ی حد فاز تقویت کننده می باشند.

---

[1] Slew Rate
[2] Damping Factor Control Frequency Compensation
[3] Active Feedback Frequency Compensation
[4] Positive Feedback Frequency Compensation
[5] Phase Margin

- **فرضیات:** به علت پیچیدگی ساختارهای جبران سازی، تابع های انتقال حلقه باز در حالت عمومی بسیار پیچیده هستند و به سادگی قابل آنالیز شدن نمی باشد در این مورد آنالیز عددی توسط کامپیوتر هم میسر نیست. اگر چه برخی پارامترهای نادیده گرفته می شوند، اما فرضیاتی، جهت ساده سازی تابع انتقال بدون کاهش دقت تابع انتقال در پیش بینی رفتار سیستم ضروری به نظر می رسد.

در این بخش دو فرض مشترک برای تمام توپولوژی های مختلف در نظر گرفته شده است:

۱- بهره تمام طبقات به مراتب از یک بیشتر است $(g_{mi}r_{oi}>>1)$

۲- خازن جبران سازی و خازن بار از خازن پارازیتی به مراتب بزرگتر است. $(C_{mi},C_L>>C_{oi})$

فرض (۱) در طراحی تقویت کننده در اکثر موارد صحیح است مگر در مواردی که مقاومت خروجی تقویت کننده اندک باشد اگر این فرض ارضا نشود آنالیز عددی توسط کامپیوتر مورد نیاز است . در طراحی تقویت کننده ها به دلیل آنکه ظرفیت های خازنی پارازیتی در تکنولوژی های جدید کوچکترند فرض (۲) نیز همواره صحیح خواهد بود.

۲-۳- تقویت کننده های تک طبقه

تقویت کننده های تک طبقه دارای پاسخ فرکانسی عالی هستند و به طور گسترده ای در بسیاری از محصولات تجاری استفاده می شوند البته در مواردی از تقویت کننده ی تک طبقه به صورت کسکد شده استفاده می شود به این معنی که ترانزیستور خروجی را جهت بالا بردن بهره تقویت کننده سری می کنند، اما حضور ترانزیستورهای کسکد شده در خروجی باعث کاهش سوئینگ خروجی و افزایش ولتاژ منبع تغذیه می شود به این دلیل تقویت کننده های تک طبقه در طراحی های ولتاژ پائین مناسب نمی باشد، به منظور غلبه کردن بر این مشکل تقویت کننده های دو طبقه معرفی می گردند.

تقویت کننده های تک طبقه فقط دارای یک قطب غالب می باشند و هیچ گونه محاسبات اضافی جهت یافتن قطب غالب مدار نیاز نمی باشد در شکل (۲-۱) تقویت کننده تک طبقه ای در حالت سیگنال کوچک نمایش داده شده است ، بهره ، قطب غالب و پهنای باند تقویت کننده به ترتیب از روابط (۲-۲)، (۲-۳) و (۲-۴) به دست می آیند. تابع تبدیل حلقه باز تقویت کننده نیز از رابطه(۲-۶) به دست می آید.

$$A_0 = g_{m1} R_L \qquad (۲-۲)$$

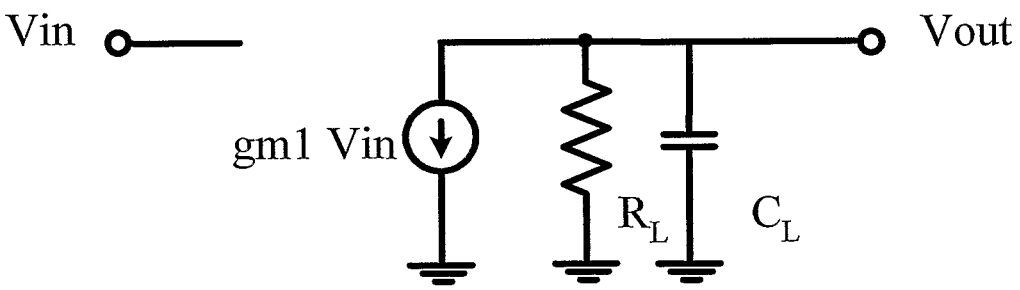
$$P_{-3dB} = \frac{1}{R_L C_L} \qquad (۲-۳)$$

$$GBW = A_0 P_{-3dB} = \frac{g_{m1}}{C_L} \qquad (۲-۴)$$

$$PM = 180 - \tan^{-1}\left(\frac{GBW}{P_{-3dB}}\right) = 90^{\circ} \qquad (۲-۵)$$

$$\frac{Vout}{Vin} = \frac{A_0}{1+\frac{s}{P_{-3dB}}} = \frac{g_{m1} R_L}{1+s(R_L C_L)} \qquad (۲-۶)$$

به دلیل وجود یک قطب در تقویت کننده تک طبقه، تقویت کننده های تک طبقه را می توان نوعی فیلتر پائین گذر دانست. همانطور که از رابطه ی (۲-۵) مشاهده می شود حد فاز تقویت کننده های تک طبقه ۹۰ درجه است و به این دلیل ، تقویت کننده ای تک طبقه پایدار و نیازی به هیچ گونه جبران سازی ندارد.



شکل ۲-۱ : مدل سیگنال کوچک تقویت کننده تک طبقه

۲-۴- تقویت کننده های دو طبقه

در بسیاری از موارد بهره تقویت کننده های تک طبقه کافی نمی باشد و اضافه کردن یک طبقه دیگر ضرورت دارد. در تقویت کننده های دو طبقه، پاسخ فرکانسی را با یک قطب غالب و باقی قطب ها از GBW دورتر در نظر می گیرند، به عبارت دیگر شیب دیاگرام بوده از قطب غالب تا GBW نباید بیشتر از 20dB/dec باشد.

تقویت کننده های دو طبقه با اضافه نمودن خازن میلر دو سر هدایت انتقالی طبقه خروجی جبران می شوند اما این روش دارای محدودیت هایی می باشد یکی از مهمترین محدودیت های آن، صفر سمت راست تقویت کننده است که البته در ادامه این بخش روش میلر و همچنین روشی جهت غلبه بر محدودیت های ذاتی میلر اشاره شده است.

۲-۴-۱- جبران ساز به روش میلر

جبران سازی میلر بر مبنای اضافه کردن یک خازن در مسیر فیدفوروارد است و این خازن هیچ اثری بر روی بهره dc تقویت کننده نخواهد داشت. روش جبران سازی میلر در شکل(۲-۲) نمایش داده شده است و تابع تبدیل حلقه باز تقویت کننده های دو طبقه به صورت کلی (۲-۷) است .

P_{-3dB} و P_2 به ترتیب قطب غالب و قطب غیر غالب تقویت کننده هستند و از روابط (۲-۸) و (۲-۹) بدست می آیند و صفر تابع تبدیل حلقه بازکه در سمت راست[1] واقع شده است نیز از رابطه (۲-۱۰) محاسبه می گردد.

$$A_{V(SMC)}=g_{m1}r_{o1}g_{m2}R_L\frac{(1+\frac{s}{Z_{RHP}})}{(1+\frac{s}{P_{-3dB}})(1+\frac{s}{P_2})} \qquad (۲-۷)$$

$$P_{-3dB}=\frac{1}{C_{m1}ro_1g_{m2}R_L} \qquad (۲-۸)$$

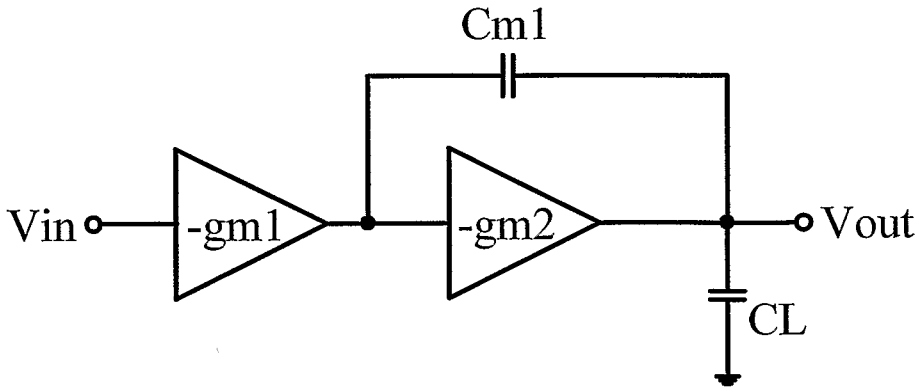
$$P_2=\frac{g_{m2}}{C_L} \qquad (۲-۹)$$

$$Z_{RHP}=\frac{g_{m2}}{C_{m1}} \qquad (۲-۱۰)$$

برای اطمینان از پایداری حلقه بسته، قطب غیر غالب و صفر سمت راست بایستی در فرکانس های بالاتر ازGBW قرار گیرند و به منظور دست یافتن به حد فاز بیش از ۶۰ درجه ، قطب غیرغالب دو برابر GBW در نظر گرفته می شود و بر این اساس، رابطه (۲-۱۱) جهت محاسبه پهنای باند تقویت کننده و رابطه (۲-۱۲) را جهت محاسبه ظرفیت خازن جبران سازی به دست می آید.

---

[1] RHP

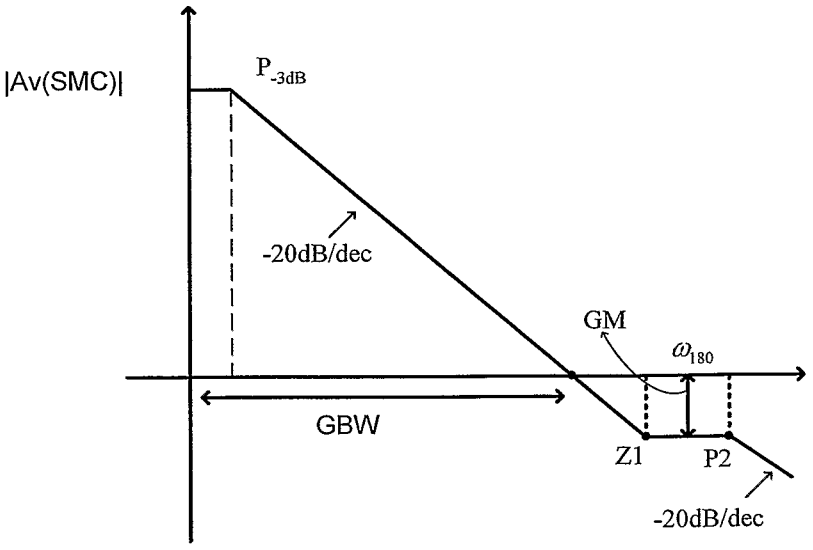


شکل۲-۲ : جبران سازی به روش میلر

$$GBW=A_0P_{-3dB}=\frac{g_{m1}}{C_{m1}}=\frac{g_{m2}}{2C_L} \qquad (۱۱-۲)$$

$$P_2=2GBW=2A_0P_1 \rightarrow \frac{g_{m1}}{C_{m1}}=\frac{g_{m2}}{2C_L} \rightarrow C_{m1}=2C_L\frac{g_{m1}}{g_{m2}} \qquad (۱۲-۲)$$

وجود صفرسمت راست در فرکانس پائین تری نسبت به قطب غیرغالب منجر به کاهش حد بهره می شود و ممکن است تقویت.کننده تحت تاثیر قطب ها و صفرهای پارازیتی ناپایدار شود. بنابراین صفر سمت راست بایستی در فرکانس بالاتری نسبت به قطب غیرغالب و GBW قرار گیرد و این مسئله در شکل (۲-۳) نمایش داده شده است. [9] با فرض دور بودن صفر سمت راست و قرار گرفتن قطب غیرغالب درفرکانس های بیش از دو برابر پهنای باند، حد فاز درحدود ۶۳ درجه دست می آید.



شکل۲-۳ : پاسخ فرکانسی تقویت کننده دو طبقه و اثر صفر کوچکتر از قطب غیر غالب