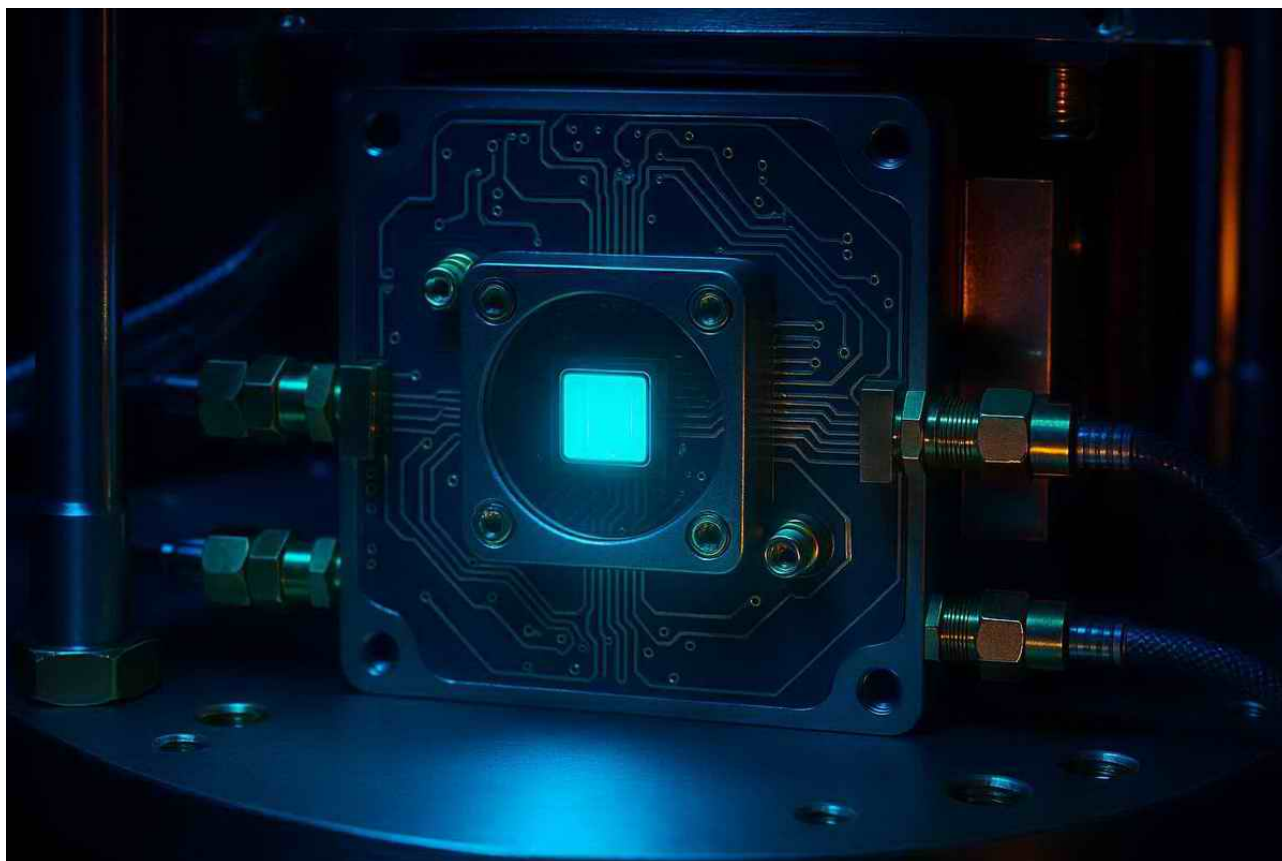


Интеллектуальный квантовый усилитель: как импульсное управление снижает энергопотребление и сохраняет кубиты



Дата публикации: 27.06.2025

Квантовые технологии входят в новую фазу развития: от лабораторных прототипов они постепенно переходят к инженерным системам, способным обрабатывать задачи, неподвластные классическим компьютерам. Однако на этом пути существует множество технических барьеров, один из которых — чрезмерное тепловыделение. Оно напрямую угрожает самой основе квантовых вычислений — суперпозиции и когерентности квантовых состояний. Теперь исследователи из Технологического университета Чалмерса в Швеции представили принципиально новое решение: сверхэффективный квантовый усилитель, который включается только в момент считывания данных с кубитов и автоматически отключается сразу после завершения сигнала.

Этот усилитель способен работать в импульсном режиме, что резко снижает его среднее энергопотребление. В лабораторных условиях устройство продемонстрировало снижение энергозатрат на 90% по сравнению с лучшими аналогами — без ущерба для точности, чувствительности и скорости работы.

Благодаря особой архитектуре и алгоритмическому управлению, основанному на методах генетического программирования, усилитель активируется всего за 35 наносекунд, чего достаточно, чтобы уловить микроволновой сигнал от кубита в момент измерения.

Для квантовой системы это имеет огромное значение. Кубиты чрезвычайно чувствительны к теплу, шуму и электромагнитным возмущениям. Даже малейшее вмешательство со стороны окружающей среды может разрушить их квантовое состояние — процесс, называемый декогеренцией. Поэтому охлаждение до температур, близких к абсолютному нулю, и снижение активных источников тепла являются критически важными задачами. Традиционные усилители, работающие непрерывно, оказываются в этом плане уязвимыми. Импульсный режим работы решает эту проблему, позволяя поддерживать «тишину» в системе до момента, когда действительно необходимо считывание.

Новое устройство построено на базе высокочувствительных полупроводниковых транзисторов, интегрированных в микроволновую схему. Оно обеспечивает усиление слабых сигналов от кубитов до уровня, при котором они становятся доступными для анализа, и при этом минимально влияет на общий тепловой режим криогенной установки. Команда Чалмерса также разработала специальную методику измерения шума и коэффициента усиления в импульсном режиме, позволившую убедительно продемонстрировать преимущества новой технологии.

Разработка имеет особую ценность для перспектив масштабирования квантовых процессоров. В современных архитектурах увеличение числа кубитов сопровождается ростом количества усилителей, что влечёт за собой экспоненциальный рост потребляемой мощности и тепловыделения. При существующем подходе это становится серьёзным ограничением. Новый усилитель, напротив, поддерживает масштабируемость, снижая нагрузку на систему охлаждения и обеспечивая стабильную работу квантовых чипов.

Кроме того, интеллектуальная система управления усилителем открывает возможности интеграции с квантовыми контроллерами следующего поколения, использующими адаптивные алгоритмы и машинное обучение. В будущем такие решения смогут оптимизировать поведение квантовых устройств в реальном времени, минимизируя потери и снижая вероятность ошибок при считывании информации.

Эта работа стала результатом многолетней исследовательской программы в рамках Центра квантовых технологий Валленберга и представляет собой важный вклад в развитие инженерии низкотемпературной квантовой электроники. Речь идёт не просто об одном компоненте, а о принципиально новой архитектуре,

позволяющей переосмыслить всю систему взаимодействия с кубитами: умнее, холоднее, быстрее.

Устройства будущего — будь то квантовые компьютеры, квантовые симуляторы, сенсоры или распределённые квантовые сети — нуждаются в экономичных и адаптивных компонентах. Новый квантовый усилитель из Чалмерса доказывает, что правильное сочетание инженерии, физики и вычислительного интеллекта может решить одну из ключевых проблем, стоящих на пути к масштабируемым квантовым системам.

Ссылка: «Pulsed HEMT LNA Operation for Qubit Readout» DOI: [10.1109/TMTT.2025.3556982](https://doi.org/10.1109/TMTT.2025.3556982).